

УДК 004.93, 621.396.6

Ю.В. Паржин, В.И. Кравченко, В.В. Князев, А.А. Серков

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ВНЕШНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТЕКТОРНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье рассмотрено применение детекторной нейронной сети (ДИНС) для распознавания параметров фронта электромагнитного импульса грозового разряда в автоматизированной системе мониторинга и анализа внешней электромагнитной обстановки. ДИНС в результате эмуляции активного перцептивного акта восприятия изображения и эмуляции процедуры встречного обучения позволяет не только выделить фронт импульса в структуре осциллографического изображения, но и запомнить измеряемые параметры распознанного сегмента изображения в концепте нейрона-детектора. Это дает возможность уменьшить ошибки измерений и увеличить скорость обработки сигналов по сравнению с рассматриваемым методом интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех.

Ключевые слова: детекторная нейронная сеть, электромагнитный импульс.

Постановка задачи исследования

Одними из основных факторов, подлежащих анализу при мониторинге внешней электромагнитной обстановки, являются электромагнитные импульсы грозовых разрядов. Поэтому актуальной научно-технической задачей является построение автоматизированной системы, способной осуществить мониторинг и анализ характеристик электромагнитных помех, возникающих во время грозовых разрядов. Система должна устранить шумы и уменьшить ошибки измерений при определении нормализованных значений этих характеристик [1]. Основными параметрами электромагнитных помех, подлежащих анализу, являются амплитуда, длительность фронта и длительность электромагнитного импульса грозового разряда.

При построении автоматизированной системы процесса мониторинга возникает задача выделения отдельных элементов (например, фронта сигнала, амплитуды и др.) в структуре большого числа (>1000) анализируемых электромагнитных импульсов и измерения их характеристик в режиме реального времени. Данная задача обычно решается с помощью методов распознавания изображений, представляющих собой осциллограммы анализируемых сигналов. Существует автоматизированная система мониторинга (рис.1), которая использует метод интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех [2]. В процессе данного анализа последовательно решаются задачи: распознавание сигнала, представленного осциллографическим изображением, его сглаживание и устранение шумов, статистическая обработка результатов анализа множества изображений. Сглаживание сигнала для устранения высокочастотных помех и случайных ошибок осуществляется путем многоитерационного ус-

реднения и аппроксимации изображения сигнала отрезками прямых. Процедура итеративного анализа на каждом этапе требует участия оператора - лица принимающего решение (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга

Недостатками данной системы является длительное время обработки и анализа изображения в результате использования итерационных процедур с участием человека и уменьшение точности измерения анализируемых характеристик в результате использования алгоритмов сглаживания (итерационного усреднения) и аппроксимации.

Особенно остро эти недостатки проявляются при анализе серий сверхкоротких электромагнитных импульсов в режиме реального времени, устранение которых целесообразно осуществить путем применения детекторных искусственных нейронных сетей (ДИНС) на этапе распознавания и анализа характеристик изображения сигнала [3].

Результаты исследований

В процессе анализа характеристик изображения электромагнитного импульса грозового разряда необходимо решить следующие задачи:

1) выделить точку начала электромагнитного импульса, которая также будет точкой начала его фронта;

2) выделить точку конца фронта импульса;

3) выделить точку максимальной амплитуды импульса;

4) выделить точку конца импульса;

4) определить характеристики электромагнитного импульса по амплитудно-временным значениям выделенных точек.

Назовем перечисленные точки критическими (критически важными для решаемой задачи) структурными точками изображения электромагнитного импульса. Необходимо сказать, что задача 3 является довольно простой и может быть эффективно решена с помощью алгоритмов, не требующих использования специальных методов распознавания.

Однако выделение фронта импульса, как и самого импульса, в структуре изображения осциллограммы требует решения проблемы сегментации изображения. Очевидно, что проблема распознавания фронта импульса может быть успешно решена с использованием известных коннекционистских ИНС, например, многослойного перцептрона с обратным распространением ошибки. Однако проблема выделения сегмента изображения с последующим восстановлением ("визуализацией") исходных значений характеристик (критических точек) данного сегмента (задача 4) является нетривиальной и не может быть решена с использованием стандартных (коннекционистских) архитектур и алгоритмов обучения ИНС. Решение данной проблемы возможно при использовании системы обработки информации на основе ДИНС, структура которой приведена на рис. 2.

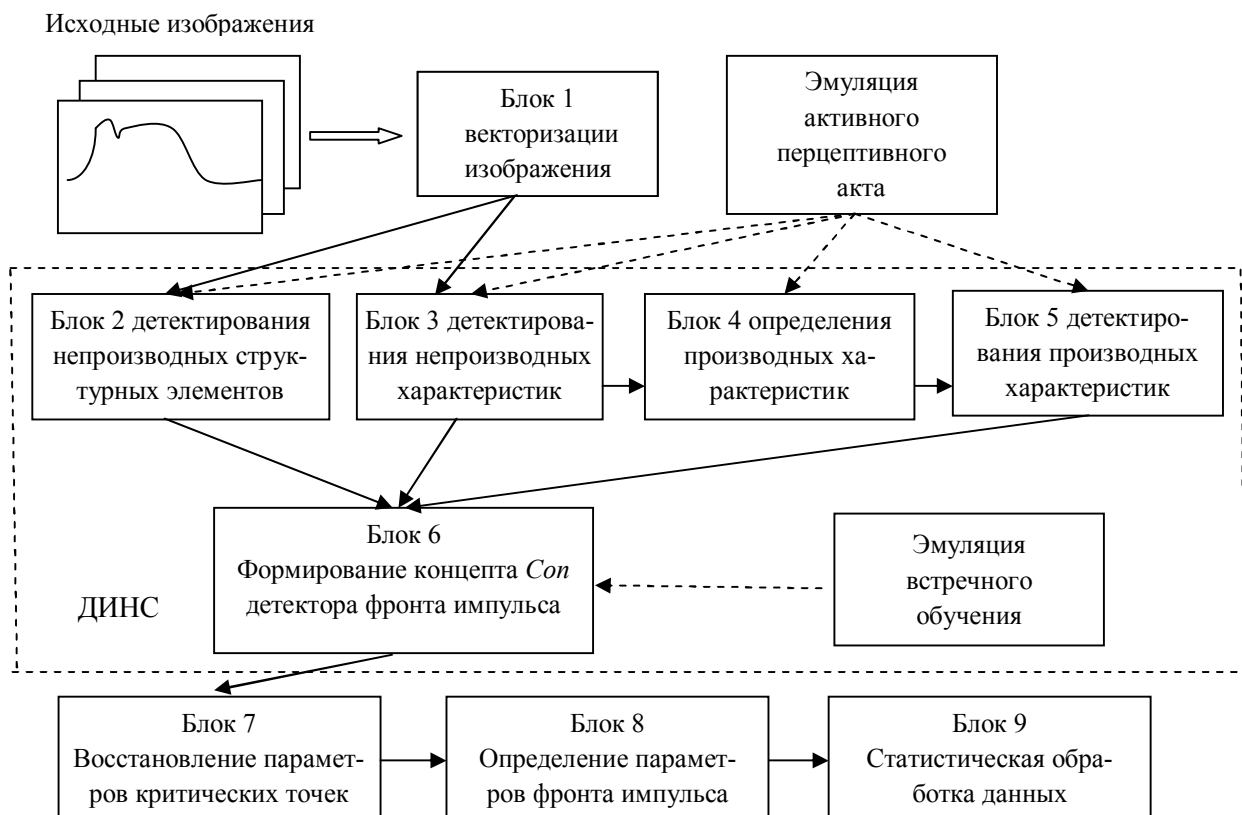


Рис. 2. Структурная схема системы для определения параметров фронта электромагнитного импульса на основе ДИНС

В данной системе с помощью ДИНС осуществляется распознавание фронта электромагнитного импульса по значениям его критических точек – производных характеристических мод, имеющих последовательную пространственно-временную связность в структуре концепта единственного нейрона-детектора фронта импульса [4]. Для распознавания всего электромагнитного импульса и выделения его из структуры входного изображения в систему необходимо добавить еще одну карту с единственным нейроном-детектором импульса (на рис. 2 не изображены). ДИНС в данной системе представлена: че-

тырьмя (по количеству типов структурных точек) картами нейронов-детекторов производных структурных элементов в блоке 2; двумя (по количеству измеряемых параметров) картами нейронов-детекторов производных характеристик структурных элементов в блоке 3; четырьмя (по количеству типов производных характеристик: 2-х качественных и 2-х количественных) картами нейронов-анализаторов производных характеристик в блоке 4; четырьмя картами нейронов-детекторов производных характеристик в блоке 5; одним нейроном-детектором вторичной структуры - фронта импульса в блоке 6.

Система обработки информации, представленная на рис. 2, функционирует следующим образом.

В процессе обучения на вход системы подается репрезентативная обучающая выборка изображений электромагнитных импульсов. Репрезентативность обеспечивается наличием всех возможных типов структурных элементов (структурных точек, кривых и отрезков) в контуре изображения сигнала. С целью сокращения размерности обучающей выборки и времени обучения, обучающая выборка состоит как из искусственно созданных изображений, так и из реальных осциллограмм. Это позволило ограничить обучающую выборку 30 изображениями, при обработке которых обеспечивается схождение концепта к аттрактору. Все изображения содержат критические структурные точки, координаты которых на количественных шкалах измерения осциллограмм (микросекунды μs по оси абсцисс n и милливольты mV по оси ординат u) определяют возможные границы изменения значений производных характеристик фронта импульса.

Для определения критических точек изображения необходимо осуществить его предварительную обработку - векторизацию контура изображения (блок 1). Процесс векторизации начинается с определения начальной точки изображения - точки "захвата" (T_3) изображения, поиск которой осуществляется в процессе сканирования поля изображения (матрицы) по столбцам. Так как изображение представлено непрерывным контуром, состоящим из отрезков кривых линий, то T_3 является также точкой начала (T_n) вектора определенной ориентации, соединяющего T_n с интересующей нас структурной точкой изображения - выбранной точкой конца вектора (T_k). Этими структурными точками будут точки максимальных перегибов (экстремумы) кривых (рис.3, а) 1-го (t_1) и 2-го (t_2) рода. Эти точки определяются в результате итеративной процедуры: данную

(текущую) точку T_n соединяем ориентированным отрезком (вектором) с выбранной точкой T_k ; в случае если следующий вектор, построенный из выбранной точки T_k , в следующую выбранную точку T_{k+1} , будет лежать в другом квадранте полярной ортонормированной системы направлений ориентации (рис. 3. б) и при этом: если смена ориентации вектора происходит по часовой стрелке и T_{k_i} имеет максимальное значение u_i среди всех анализируемых точек, то данная точка является точкой t_1 ; если смена ориентации

вектора происходит против часовой стрелки и T_{k_i} имеет минимальное значение u_i среди всех анализируемых точек, то она является точкой t_2 .

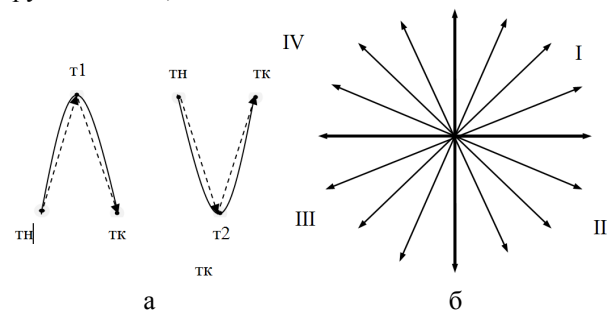


Рис. 3. а – структурные точки 1-го и 2-го рода; б – полярная ортонормированная система направлений ориентации

Таким образом, структурные точки T_n , T_k , t_1 и t_2 будут являться производными структурными элементами изображения, детектируемыми в блоке 2, а их измеряемые параметры - производными характеристиками: u_i и n_i , детектируемыми в блоке 3. Эмуляция активного перцептивного акта продемонстрирована на рис. 4.

Эмуляция активного перцептивного акта в процессе обучения ДИНС осуществляется интерактивно под управлением оператора системы. Этот процесс заключается в последовательном установлении меток фокуса внимания $M\Phi_1$, $M\Phi_2$ и $M\Phi_3$, определяющих критические структурные точки начала T_1 , пика T_2 и конца фронта импульса T_3 на изображениях обучающей выборки [3]. Причем, точка начала фронта импульса всегда будет структурной точкой t_2 с минимальным в пределах заданного интервала значением u_i . После точки начала фронта на протяжении всей длительности фронта импульса не должны встречаться структурные точки типа t_2 с уменьшающимся значением u_i . Точка пика фронта всегда будет точкой t_1

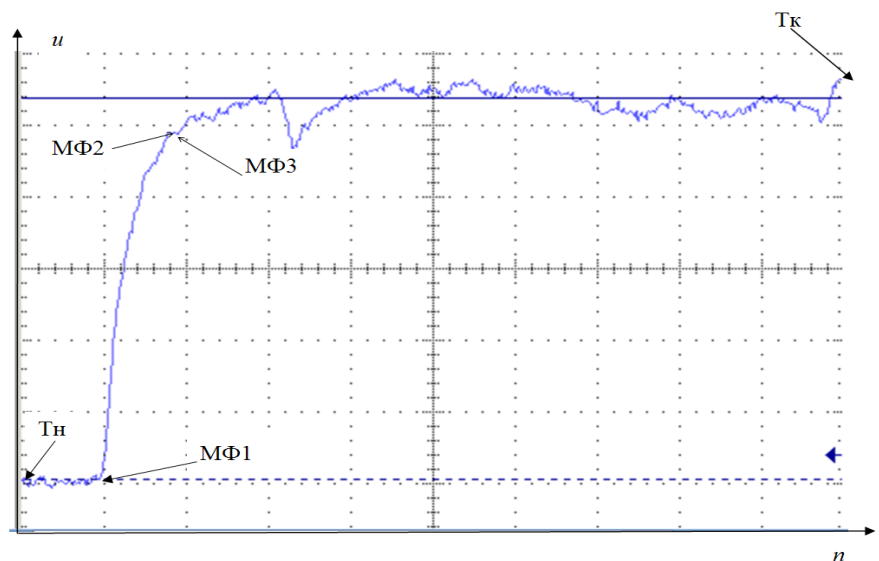


Рис. 4. Задание меток фокуса внимания $M\Phi_i$ на осциллограмме электромагнитного импульса при эмуляции активного перцептивного акта

с максимальным в пределах заданного интервала значением u_i , а точка конца фронта импульса - точкой t_2 с первым на текущем временном интервале уменьшающимся значением u_i . Последовательные метки фокуса внимания $M\Phi_i$ и $M\Phi_{i+1}$ определяют структурные точки, которые не являются непосредственно пространственно связными (т.е. они являются транзитивно связными и между ними может существовать множество структурных точек пространственно связных между собой), но производные характеристики которых подлежат сравнению нейронами-анализаторами блока 4 и последующим детектированием качественных и количественных значений производных характеристик нейронами-детекторами блока 5 [3].

Последовательные реакции нейронов-детекторов блоков 2, 3 и 5 образуют упорядоченный во времени вектор входных сигналов нейрона-детектора фронта импульса в блоке 6. В процессе эмуляции встречного обучения формируется концепт-аттрактор Con данного нейрона-детектора, структура которого показана на рис. 5.

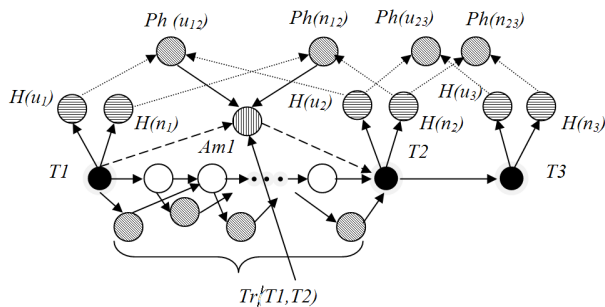


Рис. 5. Структура концепта Con нейрона-детектора фронта импульса

В структуре концепта находятся:

- структурные моды критических точек $T1, T2, T3$ (обозначены черными вершинами графа). Эти критические точки (структурные моды) маркированы метками фокуса внимания, соответственно: $M\Phi_1, M\Phi_2$ и $M\Phi_3$;

- структурные моды (белые вершины графа) структурных точек изображения (точек типа: T_n, T_k, t_1 и t_2), не являющиеся критическими точками. В примерах обучающей выборки этих вершин может быть разное количество, и они могут иметь различные значения производных характеристик. Поэтому моды производных характеристик будут выведены из концепта в процессе обучения;

- два типа характеристических мод детектируемых производных характеристик критических структурных точек (вершины графа с горизонтальной штриховкой): $H(u_i)$ и $H(n_i)$;

- характеристические моды качественных производных характеристик $Ph(u_{ij})$ и $Ph(n_{ij})$ (вершины графа с наклонной штриховкой). В структуре концепта в процессе обучения сохраняются только неизменные и общие, в данном случае для маркиро-

ванных метками фокуса внимания структурных элементов, значения качественных производных характеристик, устанавливающих отношение порядка в результате сравнения значений производных характеристик двух пространственно связных структурных элементов. В данном концепте:

для точек (структурных мод) $T1$ и $T2$:

$$\begin{aligned} Ph(u_{12}) &= H(u_1) < H(u_2); \quad u_{\min} \leq u_2 \leq u_{\max}; \\ Ph(n_{12}) &= H(n_1) < H(n_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где значение u_2 лежит в интервале допустимых значений, заданных в процессе обучения;

и для точек (структурных мод) $T2$ и $T3$:

$$\begin{aligned} Ph(u_{23}) &= H(u_2) > H(u_3); \quad u_{\min} \leq u_2 \leq u_{\max}; \\ Ph(n_{23}) &= H(n_2) < H(n_3), \end{aligned} \quad (2)$$

- ассоциативная мода $Am1$ (вершина графа с вертикальной штриховкой). Данная мода формируется автоматически в процессе обучения и определяет связность двух структурных мод (в данном концепте точек $T1$ и $T2$), маркированных метками фокуса внимания, которые не являются непосредственно (последовательно) пространственно связными в структуре изображения. В данном случае необходимость ассоциативной моды заключается в том, что в процессе распознавания не формируются метки фокуса внимания, т.е. не задаются структурные точки, производные характеристики которых необходимо сравнивать для получения значений производных характеристик. Ассоциативная мода устанавливает пространственную связность в структуре концепта двух структурных мод с необходимыми значениями сравниваемых характеристик на основе правила транзитивной связности мод $Tr(T1, T2)$ (3) при последовательном выполнении (2) и (1):

$$\begin{aligned} Tr(T1, T2) &= \\ &= \begin{cases} \forall_{i=T1}^{T2} (u_i \in t1); (H(u_i) < H(u_{i+1}) - Ph(u_{1,2})); \\ \forall_{i=T1}^{T2} (u_i \in t2); (H(u_i) < H(u_{i+1}) - Ph(u_{1,2})). \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

При выполнении условия транзитивной связности (3), концепт Con нейрона-детектора фронта импульса приобретает свойство фильтра нижних частот на сегменте фронта импульса. Это позволяет говорить об инвариантности концепта по отношению к различным высокочастотным помехам на данном сегменте изображения.

Таким образом, последовательное выполнение условий (2), (1) и (3) определяет наличие критических точек $T1, T2$ и $T3$ в структуре изображения, а концепт Con нейрона-детектора фронта импульса выполняет роль информационного фильтра. Нейрон-детектор фронта импульса возбуждается, если связные элементы входного вектора сигналов - моды совпадают с условиями возбуждения - концептом.

Реакция нейрона-детектора фронта импульса поступает на вход блока 7 восстановления параметров критических точек и свидетельствует, что в рас-

познанном фронті імпульса виділені характеристики критических точок зображення. Эти характеристики содержаться в последних строках матриц значений $H(u_i)$ и $H(p_i)$ соответствующих структурных мод критических точек. В блоке 7 осуществляется извлечение параметров критических точек осциллограммы из концепта, их интерпретация в метрике параметров электромагнитного импульса грозового разряда. Далее, в блоке 8 осуществляется вычисление значений характеристик фронта электромагнитного импульса, а в блоке 9 - статистическая обработка полученных данных.

Заклучение

Моделирование данной ДИНС осуществлялось на языке Python с использованием компьютера с процессором Intel Core i7. Результаты моделирования показали, что применение ДИНС в системе мониторинга и анализа внешней электромагнитной обстановки позволяют повысить точность результатов измерений на 5-7% по сравнению с существующей автоматизированной системой мониторинга (рис. 1), в которой используется метод интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех. После процесса обучения ДИНС, система может осуществлять распознавание и анализ характеристик электромагнитных сигналов автоматически в режиме реального времени. Применение процедуры встречного обучения ДИНС дает возможность проводить обучение в течение одной эпохи и сократить размер репрезентативной обучающей выборки до 30 изображений. Это позволяет также сократить время обучения ДИНС до 1 мин с учетом работы процедуры векторизации и до 30 мин с учетом времени эмуляции активного перцептивного акта, по сравнению

с ≈ 50 мин времени обучения сети MLP (многослойным перцептроном) или $\approx 10-20$ часами (в зависимости от реализации) необходимыми для обучения сети CNN (сверточной ИНС), которые решают подобные задачи распознавания контурных изображений (данные аналитиков компании Intel Крушинина Д., Долотова Е. и др. представлены на сайте <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/254747/>).

Работа выполнена в рамках выполнения государственных работ: "Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений для диагностики, управления и оптимизации технических и биотехнических объектов" (ДР № 0113U000449) 2014 г.; и "Забезпечення відповідності озброєння та військової техніки України сучасним вимогам стандартів НАТО з електромагнітної сумісності" 2017-2018 рр.

Список литературы

1. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. – Харьков: НТМТ, 2010. – 292 с.
2. Свідоцтво України № 24621 від 31.05.2008 про реєстрацію авторського права на твір. Компьютерная программа интерактивного анализа экспериментальных данных и генерации отчетов [Текст] / О.А. Серков, С.О. Нікітін, В.О. Кравець, Л.О. Нікітіна.
3. Паржин Ю.В. Детекторный принцип построения искусственных нейронных сетей как альтернатива коннекционистской парадигме. Системы управления, навигации та зв'язку. ПНТУ. Випуск 4(44). 2017. С. 80-101.
4. Parzhin Y. Hypotheses of neural code and the information model of the neuron-detector. Journal: ScienceOpen Research – Section: SOR-COMPSCI DOI: [10.14293/S2199-1006.1.SOR-COMPSCI.AP5T07.v1](https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-COMPSCI.AP5T07.v1), 2014. 38 p.

Надійшла до редколегії 19.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.О. Можаяев, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЗОВНІШНЬОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТЕКТОРНОЇ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Ю.В. Паржин, В.І. Кравченко, В.В. Князев, О.А. Серков

В статті розглянуто застосування детекторної нейронної мережі (ДШНМ) для розпізнавання параметрів фронту електромагнітного імпульсу грозового розряду в автоматизованій системі моніторингу та аналізу зовнішньої електромагнітної обстановки. ДШНМ в результаті емуляції активного перцептивного акту сприйняття зображення та емуляції процедури зустрічного навчання дозволяє не тільки виділити фронт імпульсу в структурі осцилографічного зображення, але й запам'ятати параметри, що вимірюються, розпізнаного сегменту зображення в концепті нейрона-детектора. Це дає можливість зменшити похибки вимірювань та збільшити швидкість обробки сигналів у порівнянні з методом інтерактивного аналізу характеристик електромагнітних переїход, що розглядається.

Ключові слова: детекторна нейронна мережа, електромагнітний імпульс.

AUTOMATION OF THE PROCESS OF MONITORING AND ANALYSIS OF THE EXTERNAL ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT BASED ON THE USE OF A DETECTOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Yu.V. Parzhin, V.I. Kravchenko, V.V. Knyazev, O.A. Serkov

The article deals with the application of the detector neural network (DNN) for recognition of the parameters of the front of the electromagnetic pulse of a lightning discharge in the automated system for monitoring and analyzing the external electromagnetic environment. DNN allows not only to isolate the pulse front in the structure of the oscillographic image, but also to memorize the measured parameters of the recognized image segment in the concept of the neuron-detector as a result of emulation of an active perceptual act of image perception and emulation of a counter-learning procedure. This makes it possible to reduce measurement errors and increase the speed of signal processing in comparison with the method of interactive analysis of electromagnetic interference characteristics.

Keywords: detector neural network, electromagnetic pulse.