

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сергей Бабак¹⁾, Владимир Еременко²⁾

¹⁾ УНТ, 03068 Украина, г. Киев, Машиностроительный пер., 28

²⁾ НАУ, 03068 Украина, г. Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.

e-mails: ¹⁾sergii.babak@gmail.com, ²⁾nau_307@ukr.net.

Резюме: Проведен анализ методов используемых для идентификации моноимпульсных сигналов и сигналов с локально сосредоточенными параметрами. Одним из путей решения задачи идентификации данных типов сигналов является применение специализированных информационно-измерительных систем с нейросетевыми классификаторами. Описаны алгоритм работы и структура разработанной модифицированной нейронной сети ART-2. Показаны преимущества данной модифицированной сети при решении задач идентификации импульсных сигналов.

Ключевые слова: моноимпульсные сигналы, сигналы с локально сосредоточенными признаками, информативные признаки, нейронные сети, кластеры, фрагментация сигнала.

Введение

Широким классом сигналов, которые несут информацию о состоянии исследуемого объекта являются моноимпульсные сигналы и сигналы с локально сосредоточенными признаками. Примерами таких сигналов являются биологические сигналы – электрокардиограммы, реограммы, энцефалограммы, информационные сигналы дефектоскопов, сейсмические сигналы. Для таких сигналов задача выделения диагностических признаков является существенно более сложной, чем для сигналов у которых информационная составляющая равномерно распределена на интервале наблюдения, например, гармонических сигналов. Это объясняется тем, что у них диагностические признаки сосредоточены на небольших фрагментах интервала наблюдения сигнала, а сам сигнал имеет достаточно сложную форму, которую в большинстве случаев нельзя описать формальной моделью.

1. Методы, используемые для идентификации импульсных сигналов

Наиболее известными методами идентификации импульсных сигналов являются следующие:

1. Методы основанные на измерении амплитудно-временных параметров – амплитуды и длительности импульса, длительности фронтов, скорости нарастания и спада и т.д. Существенным недостатком данных методов является невозможность описания истинной формы сигнала и его локальных признаков, а также низкая помехозащищенность.

2. Методы основанные на оценивании интегральных характеристик – центра массы импульса, коэффициентов подобия, корреляционной функции [2]. Эти методы за счет осреднения обладают высокой помехозащищенностью, но еще менее чувствительны к изменению локальных признаков сигнала.

3. Методы разложения по ортогональным базисам [3]. Этот прием в общем случае позволяет получить информацию о форме импульсного сигнала, однако, он дает интегральное представление о компонентах сигнала на всей области определения, а локальные вариации признаков на ограниченных фрагментах не оказывают существенного влияния на изменение значений коэффициента разложения. Кроме того, необходимо отметить, что широко используемый базис тригонометрических функций Фурье не является оптимальным для импульсных сигналов. Более чувствительным к локальным изменениям формы импульсных сигналов является метод вейвлет-преобразования, позволяющий проводить декомпозицию сигнала со многими уровнями разложения [4].

4. Методы структурного анализа, которые предполагают сегментацию сигнала на последовательность отдельных фрагментов, отражающих чередование элементарных событий в ходе развития исследуемого процесса [5]. На основе сегментации проводится кластеризация сигналов, цепочки кластеров используются для структурного представления сигнала. Данный метод имеет низкую помехозащищенность и неприемлим для сигналов с большим разнообразием форм каждого структурного фрагмента.

5. Методы представления сигналов в фазовом пространстве, т.е. пространстве, образованном конечным набором параметров состояний [6]. Недостатками данного метода являются необходимость многократного повторения импульсного сигнала, что не всегда возможно, и анализ многомерных массивов данных.

6. Эвристические методы, в частности методы основанные на применении нейросетевых технологий, позволяющие выделять информативные фрагменты сигналов, проводить сравнение с «эталонными», полученными при обучении, пополнять базу «эталанов», проводить кластеризацию и последующую идентификацию импульсных сигналов.

2. Специализированная нейронная сеть ART-2

В процессе решения задачи идентификации моноимпульсных сигналов и сигналов с локально сосредоточенными признаками с использованием нейронных сетей возникает дилемма – необходимо в процессе работы обеспечить с одной стороны пластичность памяти нейронной сети (способность восприятия новых данных и создание новых кластеров), с другой стороны сохранить стабильность, которая гарантирует, что информация о уже известных кластерах не уничтожается и не разрушается. Данное противоречие решается использованием нейронных сетей адаптивной резонансной теории, в частности сети ART-2. Кроме того, сети ART позволяют проводить анализ непосредственно формы импульсных сигналов без предварительной обработки и в автоматическом режиме формировать набор диагностически признаков.

Сети ART [7] представляют собой векторный классификатор. Входной вектор классифицируется в зависимости от того, на какой из ранее зафиксированных сетью эталонных образов он похож. Решение по идентификации входного вектора сеть ART выражает в форме возбуждения одного из нейронов слоя распознавания. Если входной вектор не отвечает ни одному из «эталонных» образов, создается новая категория (выделяется новый нейрон и запоминается новый вектор), которая соответствует входному вектору. Если определено, что входной вектор имеет сходство с одним из ранее встречавшихся векторов (эталонных) по определенному критерию подобности, эталонный вектор в памяти нейронной сети будет изменяться (обучаться) под влиянием нового входного вектора таким образом, чтобы стать

более похожим на данный входной вектор.

Основные уравнения, которые описывают работу слоя сравнения F_1 сети ART-2 следующие:

$$p_i = u_i + \sum_j g(y_j) v_{j,i}, \quad q_i = \frac{p_i}{e + |p|}, \quad u_i = \frac{z_i}{e + |z|},$$

$$z_i = f(t_i) + b \cdot f(q_i), \quad s_i = x_i + a \cdot u_i, \quad t_i = \frac{s_i}{e + |s|},$$

где $|\bullet|$ – L_2 -норма вектора в Евклидовом пространстве; y_j – выход j -го нейрона слоя распознавания F_2 ; $v_{j,i}$ – элементы матрицы весовых коэффициентов V ; a и b – коэффициенты, которые находятся экспериментальным путем; e – параметр, который характеризует соотношение между временем работы нейронов слоев F_1 и F_2 , $0 < e < 1$; $f(x)$ – нелинейная сигнальная функция активации нейронов, может быть непрерывно дифференцируемой:

$$f(x) = \begin{cases} 2 \cdot \theta \cdot x^2, & \text{при } 0 \leq x < \theta \\ x, & \text{при } x \geq \theta \end{cases}$$

либо кусочно-линейной:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < \theta \\ x, & \text{при } x \geq \theta \end{cases}$$

Работа слоя распознавания F_2 сети ART-2 описывается следующими уравнениями:

$$T_j = \sum_i p_i w_{i,j}, \quad T_k = \max\{T_j : j = \overline{1, m}\},$$

$$g(y_k) = \begin{cases} d, & \text{при } T_k = \max(T_j) \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases}$$

где $w_{i,j}$ – элементы матрицы весовых коэффициентов W ; d – константа, которая определяется экспериментальным путем.

Таким образом, на устройство сравнения будет поступать вектор p_i :

$$p_i = \begin{cases} u_i, & \text{при неактивных нейронах слоя } F_2 \\ u_i + d \cdot v_{k,i}, & \text{при активном нейроне } k \end{cases}$$

Устройство сравнения активирует сигнал заглушения, если не будет выполнено условие:

$$\frac{\rho}{e + |r|} \geq 1,$$

где ρ – коэффициент чувствительности классифи-

катора, выбирается в интервале $[0,1]$;

r – вектор $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, характеризующий степень отличия входного вектора X от «эталонного» вектора W_k в памяти сети:

$$r_i = \frac{u_i + c \cdot p_i}{e + |u| + |c \cdot p|},$$

где c – весовой коэффициент, выбираемый согласно неравенства:

$$\frac{c \cdot d}{1 - d} \leq 1.$$

В случае правильной классификации входного вектора сигнал заглушения не активизируется, а весовые коэффициенты матриц W та V модифицируются следующим образом:

$$v_{j,i}^{new} = v_{j,i}^{old} + \Delta v_{j,i}, \Delta v_{j,i} = g(y_j) [p_i - v_{j,i}] = d \cdot (p_i - v_{j,i}),$$

$$w_{i,j}^{new} = w_{i,j}^{old} + \Delta w_{i,j},$$

$$\Delta w_{i,j} = g(y_j) [p_i - w_{i,j}] = d \cdot (p_i - w_{i,j})$$

где $v_{j,i}^{old}$, $v_{j,i}^{new}$, $w_{i,j}^{old}$, $w_{i,j}^{new}$ – весовые коэффициенты матриц V и W соответственно до и после модификации.

В начале работы сети ART-2 и при формировании нового нейрона (в случае формирования нового класса) значения соответствующих весовых коэффициентов инициализируются начальными значениями:

$$v_{j,i} = 0, w_{i,j} \leq \frac{1}{(1-d)\sqrt{N}}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, m}$$

где N – размерность входного вектора X ; m – количество нейронов в слое распознавания F_2 (количество класів в памяти).

Нейронная сеть ART-2 не чувствительна к порядку предъявления входных векторов, может работать как с бинарными, так и с непрерывными сигналами, имеет большое быстродействие, и высокую достоверность идентификации входных сигналов. К тому же сеть ART-2 имеет свойство самостоятельного исправления ошибок классификации после определенного количества циклов повторного предъявления обучающей выборки.

С целью повышения эффективности работы сети ART-2 и достоверности идентификации импульсных сигналов была разработана новая архитектура сети, алгоритм ее работы и обучения. На рис. 1 изображена структурная схема разработанной сети ART-2, где выделены блоки, которые

были изменены и дополнены по отношению к классической сети ART-2.

Во-первых, в классической реализации сети ART-2 взвешивающие коэффициенты матриц W и V имеют почти одинаковые значения, то есть имеет место дублирование значений. В разработанной сети ART-2 вместе с двумя матрицами взвешивающих коэффициентов реализован алгоритм работы, когда используется одна матрица взвешивающих коэффициентов, что тем самым уменьшает расходы памяти системы и уменьшает количество вычислительных операций (при выполнении модификации взвешивающих коэффициентов во время учебы и адресации к элементам соответствующих матриц при расчетах). В разработанной сети будет иметь место следующее соотношение:

$$V = W^T$$

Таким образом, уменьшается вдвое объем памяти и количество операций при модификации весовых коэффициентов во время обучения.

Во-вторых, в классической реализации сети ART-2 фактически выделяется один критерий оценки принадлежности входного вектора к определенному классу. В разработанной новой архитектуре нейронной сети ART-2 для вычисления двух критериев оценки принадлежности входного вектора к определенному классу были использованы две матрицы весовых коэффициентов, но значения их элементов модифицируются при учебе отличающимся от классической теории способом. Также был разработан новый алгоритм работы слоя распознавания F_2 . В предложенной сети ART-2 работа слоя распознавания описывается выражениями:

$$T_j = \sum_i x_i w_{i,j}, T_k = \max \{T_j : j = \overline{1, m}\},$$

$$g(y_k) = \begin{cases} d, & \text{при } T_k = \max_j (T_j) \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases}$$

где $w_{i,j}$ – элементы матрицы весовых коэффициентов W ; x – элементы входного вектора X .

Функционирование слоя сравнения F_1 остается без изменений. Модификация весовых коэффициентов во время обучения происходит по следующему алгоритму:

$$v_{j,i}^{new} = v_{j,i}^{old} + \Delta v_{j,i},$$

$$\Delta v_{j,i} = g(y_j) [u_i - v_{j,i}] = d \cdot (u_i - v_{j,i}),$$

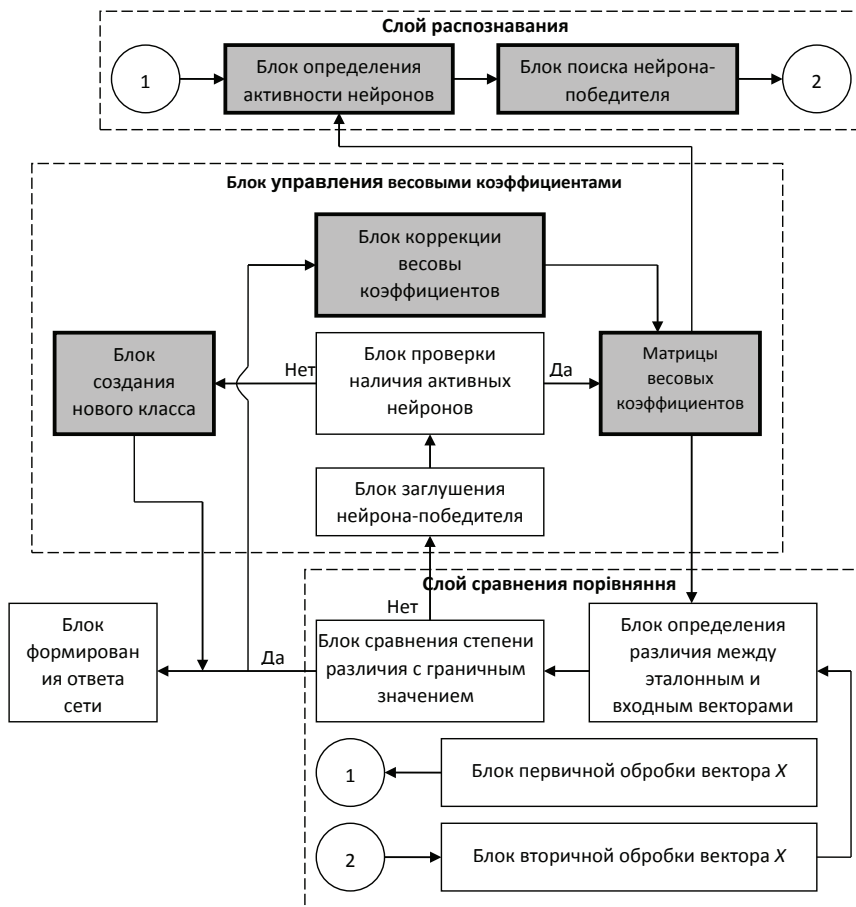


Рис. 1. Структурная схема разработанной нейронной сети ART-2

$$w_{i,j}^{new} = w_{i,j}^{old} + \Delta w_{i,j},$$

$$\Delta w_{j,i} = g(y_j) [x_i - w_{i,j}] = d \cdot (x_i - w_{i,j}),$$

где $v_{j,i}^{old}$, $v_{j,i}^{new}$, $w_{i,j}^{old}$, $w_{i,j}^{new}$ – соответственно весовые коэффициенты матриц V и W до и после модификации.

Все другие вычисления выполняются в соответствии с классическим алгоритмом сети ART-2

Заключение

Разработанная сеть ART-2 имеет следующие преимущества при решении задачи идентификации импульсных сигналов сложной формы: стабильность сохраняемой информации и воз-

можность динамически расширять собственную базу знаний системы, высокая разрешающая способность, высокая помехозащищенность, инвариантность относительно порядка предъявления входных векторов, возможность изменения скорости обучения сети, способность автоматически исправлять ошибки, допущенные на предыдущих этапах обучения, возможность работы с непрерывными сигналами.

Литература

- [1] В. Я. Розенберг. Радиотехнические методы измерения параметров процессов с систем. М.: Изд-во комитета стандартов, 1970, 307 с.
- [2] В. Б. Марченко. Ортогональные функции дискретного аргумента и их приложение в

геофизике. К.: Наукова думка, 1992, 210 с.

[3] **S. Mallat.** A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // *IEEE Pattern Anal. And Machine Intell.* – 1989, (11), № 7. P. 674 – 693.

[4] **Э. М. Браверманн, И. Б. Мучник.** Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983, 492 с.

[5] **M. Richter, T. Scyreiber.** Phase space embedding of electrocardiograms // *Physical Review.* – 1998. – Vol. 58 (6392). P. 1 – 7.

[6] **G. A. Carpenter** ART 2: Stable self-organization of pattern recognition codes for analog input patterns / G.A. Carpenter, S. Grossberg // *Applied Optics.* – 1987. – 26. P. 4919-4930.

Сведения об авторах

Бабак Сергей Виталиевич. Университет Napier Эдинбурга (1999). К.э.н. (2004); Университет новейших технологий г. Киев. Научные интересы: системы мониторинга объектов энергетики.

Еременко Владимир Станиславович. Киевский политехнический институт (1984). К.т.н. (2003), доц. (2005), Национальный авиационный университет Институт информационно-диагностических систем, кафедра информационно-измерительных систем. Научные интересы: специализированные информационно-диагностические системы.

IDENTIFICATION OF PULSED SIGNALS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

Sergey Babak¹, Vladimir Eremenko²

¹UET, 28 Engineering lane., Kyiv, 03068 Ukraine,

²NAU, 1 Komarova Ave., Kyiv, 03068 Ukraine

e-mails: ¹sergii.babak@gmail.com, ²nau_307@ukr.net

Abstract: Analyzed methods used to identify monopulse signals and signals with a locally concentrated parameters. One way of solving this problem of identification of these types of signals is the use of specialized information-measuring systems with neural network classifiers. We describe the algorithm of work and the structure of the developed modified neural network ART-2. Advantages of the modified network are shown for solving problems of identification of pulsed signals.

Key words: monopulse signals, the signals with locally concentrated signs, informative signs, neural network, clusters, fragmentation of signal.

References

[1] **V. Rozenberg.** *Radio measurement techniques processes and systems.* М.: Izdatelstvo komiteta standartov. 1970, 307 s.

[2] **V. Marchenko.** *Ortogonal fanction of a discrete argument and their application in geophisics.* К.: Naukova dumka, 1992, 210 s.

[3] **S. Mallat.** A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // *IEEE Pattern Anal. And Machine Intell.* – 1989, (11), № 7. P. 674 – 693.

[4] **E. Braverman, I. Muchnik.** *Structural methods of processing of empiric data.* М.: Nauka, 1983, 492 s.

[5] **M. Richter, T. Scyreiber.** Phase space embedding of electrocardiograms // *Physical Review.* – 1998. – Vol. 58 (6392). P. 1 – 7.

[6] **G. A. Carpenter** ART 2: Stable self-organization of pattern recognition codes for analog input patterns / G.A. Carpenter, S. Grossberg // *Applied Optics.* – 1987. – 26. P. 4919-4930.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ИМПУЛСНИ СИГНАЛИ НА ОСНОВАТА НА ТЕХНОЛОГИИТЕ НА НЕВРОННИТЕ МРЕЖИ

Сергей Бабак¹⁾, Владимир Еременко²⁾

¹⁾ УНТ, 03068 Украйна, г. Киев, Машиностроительный пер., 28

²⁾ НАУ, 03068 Украйна, г. Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.

e-mails: ¹⁾sergii.babak@gmail.com, ²⁾nau_307@ukr.net.

Резюме: Направен е анализ на методите, използвани за идентифициране на едноимпулсни сигнали и сигнали с локално съсредоточени параметри. Един от начините за решаване на задачата за идентифициране на данните на типове сигнали се явява използването на специализирани информационно-измервателни системи с невронно-мрежови класификатори. Описани са алгоритмът на работа и структурата на разработената модифицирана невронна мрежа ART-2. Показани са предимствата на дадената модифицирана мрежа за решаване на задачи за идентификация на импулсни сигнали.

Ключови думи: едноимпулсни сигнали, сигнали с локално съсредоточени признаци, информативни признаци, невронни мрежи, клъстери, фрагментация на сигнала.