

А.Г. ГУЛЯН, О.Ж. СЕВОЯН, А.М. ТАНТУШЯН

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЧЕТЫРЕХ ВИДОВ  
СИМУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ  
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Описаны разработка и применение искусственной нейронной сети (ИНС) и обоснована ее правильная и эффективная работа в среде графического программирования LabVIEW. С этой целью разработана базовая модель ИНС в среде LabVIEW, которая использовалась для автоматического распознавания нескольких видов сигналов, симулированных в реальных условиях.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, автоматическое распознавание модуляций.

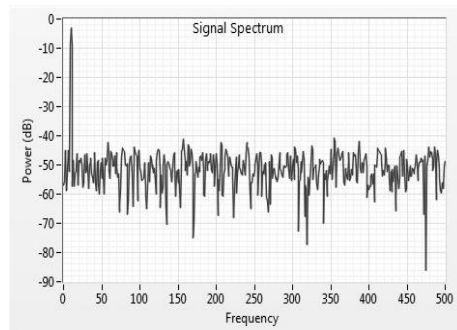
**Введение.** Для решения задачи автоматического распознавания вида модуляций в [1] было предложено использование метода ИНС. Для того чтобы обосновать, что данный метод работоспособен для решения такого вида задачи и он реализуем в среде графического программирования LabVIEW, была разработана базовая модель ИНС, которая использовалась для распознавания четырех разных видов сигналов. Этими сигналами являются Sine, Triangle, Square и Sawtooth, которые были симулированы в условиях, близких к реальным, т.е. при наличии белого гауссовского шума. Также были выбраны ключевые характеристики, извлеченные из них, которые являются входными данными разработанной сети.

Цель данной работы - показать, что полученные точные результаты проведенных тестов по распознаванию четырех видов сигналов дают основу для дальнейшей разработки и усовершенствования алгоритма в среде LabVIEW для более комплексных задач и расчетов, в особенности для задачи АРМ. Для этого в работе поэтапно описаны шаги, предпринятые для разработки базовой модели ИНС, работа алгоритма и результаты симуляций.

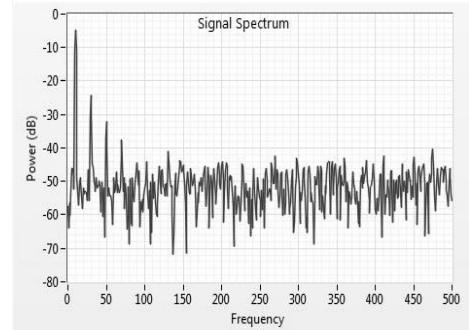
**1. Извлечение ключевых характеристик.** Ключевые характеристики представляют собой данные, которые характеризуют конкретные, индивидуальные значения входных сигналов. Ключевые характеристики выбираются в зависимости от приложения и вида классификации, которую ИНС должна провести. Е.Е. Аззоуз и А.К. Нанди в [2] привели ключевые характеристики для распознавания и аналоговых, и цифровых модуляций. Некоторые выбранные

ключевые характеристики сигнала могут быть одинаковыми для двух видов модуляций, но не существует таких двух типов модуляций, для которых все ключевые характеристики были бы одинаковыми. Следовательно, знание пороговых значений для каждой характеристики каждого вида модуляции позволяет правильно классифицировать их.

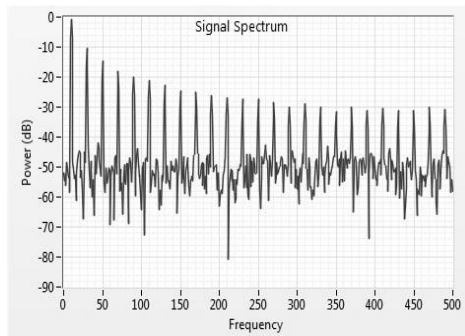
Для четырех видов сигналов Sine, Triangle, Square и Sawtooth ключевыми характеристиками были выбраны уровни их первых четырех гармоник. Выбор обосновывается тем, что у каждого вида особые уровни гармоник, и в зависимости от увеличения номера гармоники, разность между уровнями следующих гармоник сокращается индивидуальным образом.



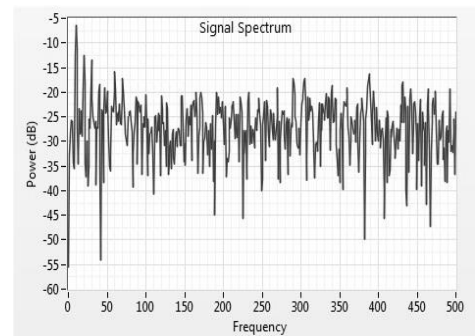
а)



б)



в)



г)

Рис. Спектры сигналов: а – Sine, б – Triangle, в - Square и г - Sawtooth

На рисунке можно увидеть спектры симулированных сигналов с частотой 10 Гц и амплитудой 1 с прибавленным гауссовским шумом. Частота и амплитуда сигналов были выбраны произвольным образом. Из рисунка (а) видно, что у синуса одна фундаментальная гармоника. Уровни гармоник сигнала Triangle, отображенного на рисунке (б), снижаются довольно резко, и разность уровней фундаментальной и второй гармоник довольно большая. Рисунок (в)

показывает, что уровни гармоник сигнала Square снижаются сравнительно плавным образом, и они довольно большие по сравнению с другими сигналами. Сигнал Sawtooth имеет гармоники на всех кратных частотах, т.е. на 2f, 3f, 4f ... и т.д. Следовательно, разность уровней гармоник незначительная.

В табл. 1 приведены уровни первых четырех гармоник каждого сигнала.

Таблица 1

Уровни первых четырех гармоник сигналов

Sine	Triangle	Square	Sawtooth
0,99848	0,81229	1,27299	0,654083
0,00481117	0,0890761	0,425666	0,318342
0,00468779	0,0317383	0,254277	0,274312
0,00439043	0,0159492	0,184412	0,230254

Как видно из таблицы, все уровни разные, что и является отличительной характеристикой сигналов. Для того чтобы подать эти значения на входы сети, нужно пронормировать их с уровнем фундаментальной гармоники. Иными словами, нужно поделить уровни всех четырех гармоник сигнала на уровень его фундаментальной гармоники. Нормировка обязательна, чтобы изменение амплитуды сигнала не имело бы значительного влияния на входные значения сети.

**2. Обучение и тестировка сети.** Разработанная базовая модель ИНС состоит из входного слоя с четырьмя нейронами, двух скрытых слоев, каждый с шестью нейронами, и выходного слоя с четырьмя выходными нейронами. Входными и выходными проверочными данными обучающих пар сети являлись пронормированные значения уровней. Таким образом, во время обучения сеть устанавливает такой набор “весов”, чтобы на выходах получить те же значения, что и на входах.

Обучение сети было проведено на основе алгоритма обратного распространения ошибки [3]. Поскольку во время обучения данные проходят этапы прямого и обратного распространения, то за общее количество итераций было взято число 32768, являющееся степенью двойки. Во время обучения сеть считает ошибку каждого выходного нейрона по формуле

$$E_k = \frac{1}{2} (y_k - t_z)^2, \quad (1)$$

где  $t_z$ - это  $z$ -й элемент требуемых выходных значений сети, а  $y_k$  –  $k$ -е полученное выходное значение. Значения ошибок сети после этапа обучения отображены в табл. 2.

Таблица 2

Ошибки выходных нейронов  $K$  для каждого сигнала

Но ошибки	Sine	Triangle	Square	Sawtooth
Ошибка $k_1$	1,22629E-5	1,22269E-5	1,30666E-5	1,2749E-5
Ошибка $k_2$	1,22765E-5	1,23371E-5	1,31654E-5	1,28466E-5
Ошибка $k_3$	1,21942E-5	1,22235E-5	1,31754E-5	1,26765E-5
Ошибка $k_4$	1,22888E-5	1,21981E-5	1,30192E-5	1,26339E-5

Из таблицы видно, что ошибки сети очень маленькие, т.е. обучение прошло довольно эффективно. После обучения для каждого вида сигналов установленные “весы” были сохранены в отдельных файлах. После того как сеть обучена и соответствующие “весы” для всех сигналов сохранены в файлах, можно перейти к тестированию.

Во время теста генерируется любой из четырех сигналов, извлекаются ключевые характеристики, которые подаются к входным нейронам сети. Поскольку сеть уже обучена и в файлах записаны “весы” для каждого вида сигналов, она тестирует входные данные по всем конфигурациям “весов” и для каждой из них считает общую ошибку сети по формуле

$$E = \sum_k E_k = \frac{1}{2} \sum_k (y_k - t_z)^2. \quad (2)$$

**3. Результаты тестов.** После того как сеть считает выходные данные, тестируя их по всем конфигурациям “весов”, и считает ошибки сети для каждой конфигурации, в массиве записываются четыре ошибки. Правильная классификация происходит методом выбора наименьшей ошибки сети. Иными словами, сеть выдает название того сигнала, с чьими “весами” общая ошибка сети была наименьшей. Результаты тестирования разработанной базовой ИНС для распознавания четырех видов сигналов при разных значениях отношения сигнал-шум приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты тестирования базовой модели ИНС для распознавания четырех видов сигналов

SNR	Sine	Triangle	Square	Sawtooth
3dB	95%	95%	100%	100%
10dB	99%	97%	100%	100%
15dB	100%	99%	100%	100%
20dB	100%	100%	100%	100%

**Заключение.** ИНС являются эффективным и точным методом для распознавания образа. Разработана базовая модель такой сети с целью дальнейшего применения этого метода для АРМ в среде графического програм-

мирования LabVIEW. Целью этой работы являлось обоснование работоспособности данного метода в среде LabVIEW и практическое применение теории.

Разработанный алгоритм использован для распознавания четырех видов сигналов Sine, Triangle, Square и Sawtooth. Точность результатов являлась основой для дальнейшего совершенствования алгоритма при решении задачи АРМ в среде LabVIEW.

Полученные результаты могут быть улучшены путем увеличения количества нейронов в скрытых слоях и/или обучения сети для многих значений отношения сигнал-шум.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулян А.Г., Севоян О.Ж., Тантушян А.М. Искусственные нейронные сети и их применение в автоматическом распознавании модуляций // Известия НАН РА и НПУА. Серия Техн. науки. - 2017. - Т. 70, N 3. - С. 358-365.
2. Azzouz E.E., Nandi A.K. Automatic Modulation Recognition of Communication Signals.- Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1996. – 214 p.
3. Rojas R. Neural Networks. A systematic introduction. - Berlin, Springer-Verlag, 1996.- 247 p.

Институт Радиофизики и Электроники НАН РА, ООО “Олимп Энджинеринг”.  
Материал поступил в редакцию 22.06.2017.

**Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ, Օ.Ժ. ՄԵՎՈՅԱՆ, Ա.Մ. ԹԱՆԹՈՒՇՅԱՆ**

#### **ՉՈՐՏ ՏԵՍԱԿԻ ՄԻՍՈՒԼԱՅՎԱԾ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՃԱՆԱԶՈՒՄԸ ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ ՆԵՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Նկարագրված են արհեստական նեյրոնային ցանցի (ԱՆՑ) մշակումը և օգտագործումը, հիմնավորված է նրա ճշգրիտ և արդյունավետ աշխատանքը LabVIEW գրաֆիկական ծրագրավորման միջավայրում: Այդ նպատակով մշակվել է ԱՆՑ բազային մոդել LabVIEW միջավայրում, որն օգտագործվել է մի քանի տեսակ ազդանշանների ճանաչման համար, որոնք սիմուլացվել են իրական պայմաններում:

**Առանցքային բառեր.** արհեստական նեյրոնային ցանցեր, մոդուլացումների ավտոմատացված ճանաչում:

**A.G. GULYAN, O.ZH. SEVOYAN, A.M. TANTUSHYAN**

#### **AUTOMATIC RECOGNITION OF FOUR TYPES OF SIMULATED SIGNALS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

The development and usage of artificial neural network (ANN) are described and its proper and effective operation in the LabVIEW graphical programming environment is substantiated. For that purpose, a basic model of ANN was developed, which was used for recognizing several types of signals, simulated in real conditions.

**Keywords:** artificial neural networks, automatic modulation recognition.