

С.Н. ДАНИЛИН, С.А. ЩАНИКОВ,
А.Д. ЗУЕВ, А.А. ИВЕНТЬЕВ

**Применение имитационного
моделирования и планирования
эксперимента при разработке
искусственной нейронной сети
распознавания сигнала**

УДК 004.383.8.032.26

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

Рассмотрены перспективы применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для распознавания инфокоммуникационных сигналов. Предложен и реализован модифицированный вариант методологии имитационного моделирования (ИМ) для исследования точности функционирования ИНС, выполняющей поставленную задачу при наличии дестабилизирующих работу факторов. ИМ проведено в соответствии с теорией планирования эксперимента. Разработанная ИНС распознает сигнал с вероятностью 99,5% при отношении сигнал-шум 15дБ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-38-00592.

Введение

Современные летательные аппараты в процессе полета обмениваются с диспетчерскими службами необходимой информацией посредством радиосигналов, в частности, о бортовом номере, государственной принадлежности, маршруте следования, количестве пассажиров и т.д. Верное распознавание передаваемых сообщений на фоне шумов и помех различной природы является важной практической задачей [1].

Анализ отечественных и зарубежных научно-технических публикаций [2,3] и собственные исследования авторов [4-6]

показали, что применение искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет решать задачу достоверного распознавания передаваемых сигналов на высоком качественном уровне по всем основным показателям (точность, быстродействие, отказоустойчивость, надежность). Преимущества ИНС перед методами и алгоритмами статистической радиотехники основаны на ряде обстоятельств. Во-первых, ИНС позволяют проводить параллельное распознавание произвольных сигналов. Во-вторых, решение задач в ИНС происходит без разделения на частные подзадачи. В-третьих, перспективная элементная база на основе нано размерных элементов (наномемристоров), позволяет достичь производительности вычислительных средств на 2-3 порядка больше существующих в настоящее время [7,8].

Современные ИНС, как и задачи решаемые ими являются трудно формализуемыми или неформализуемыми. По причине несовершенства методов инженерного проектирования технических средств на базе ИНС получаемые на этапе компьютерного моделирования значения основных показателей качества их работы значительно снижаются в условиях реальной эксплуатации [9].

Как показывает обзор отечественных и зарубежных научно-технических источников [10, 11], в настоящее время проблеме обеспечения качества функционирования ИНС в реальных условиях эксплуатации уделено не достаточно внимания в связи со сложившимся подходом к их исключительно программной эмуляции на классических ЭВМ с фон-нейманевской архитектурой и функционировании в режиме максимального снижения влияний факторов информационного и физического воздействия, что не применимо для большинства практических задач.

Количество и степень влияния названных дестабилизирующих факторов могут находиться в широких диапазонах. Учет их влияния на качество функционирования ИНС возможен за счет применения методологии имитационного моделирования (ИМ) и теории планирования эксперимента (ТПЭ).

Метод

При применении методологии ИМ, ИНС реализуется в виде компьютерной модели, позволяющей симулировать процесс

функционирования с максимальной степенью приближения к реальным условиям эксплуатации. В соответствии с [12] процесс создания имитационной модели включает в себя следующие основные фазы:

1. Разработка аналитических моделей объектов, участвующих в преобразовании информации (устройств, сигналов, процессов и пр.).

2. Разработка алгоритмов, обеспечивающих имитацию процесса преобразования информации и влияния объектов информационного воздействия.

3. Программная реализация разработанных моделей и алгоритмов, их отладка, тестирование и эксплуатация.

Применение методологии ИМ при разработке ИНС рассмотрим на примере решения задачи распознавания сигнала S-режима вторичным обзорным радиолокатором (ВОРЛ) в соответствии с требованиями ИКАО [1]. ВОРЛ является важнейшим устройством большинства систем управления воздушным движением, которые используются для целей наблюдения. Современный этап его модернизации – это внедрение режима S, дающего возможность передавать данные по линиям связи «вверх» и «вниз». В отличие от систем режима A/C, которые дают возможность запрашивать и получать ответы только в данном режиме, системы в режиме S позволяют запрашивать и получать ответы во всех режимах, включая комбинированный. Временные характеристики сигнала режима S приведены в [1].

Существующие подходы [1,13] к решению данной практической задачи подразумевают ее разбиение на подзадачи, связанные с цифровой обработкой сигналов и выделением информативных признаков. С применением ИНС сигнал можно распознавать непосредственно по выборке, исключив дополнительные преобразования. При этом аппаратная реализация ИНС с помощью современных нейроморфных систем на базе наномемристоров [7,8] позволит проводить распознавание на 1-2 порядка быстрее, что значительно повысит тактико-технические характеристики ВОРЛ, снизит энергопотребление и аппаратные затраты.

Для создания ИМ ИНС разработаны и реализованы следующие модели и алгоритмы:

1. Модель сигнала режима S.

Представляет собой выборку сигнала, состоящую из 160 цифровых отсчетов разрядностью 14 бит. Амплитуда сигнала зависит от дальности воздушного судна.

2. Модель помех.

Включает в себя модели шумов и фронтов сигнала режима S, импульсных и не синхронных помех, сигналов других режимов.

3. Модель ИНС.

Двухслойный перцептрон: количество нейронов во входном слое — 160, в скрытом слое 9, в выходном - 1. ИНС обучена методом нелинейного сопряженного градиента. В обучающую выборку для ИНС включены непосредственно распознаваемый сигнал, а так же посторонние сигналы. Желаемым результатом работы ИНС будет «1» для сигнала режима S и «-1» для всех остальных случаев. Оптимальный пороговый уровень выходного сигнала ИНС, по которому принимается решение о том, что принят сигнал в режиме S определяется экспериментально (рис. 1).

Экспериментальное исследование показало, что при пороговом значении выходного сигнала ИНС -0.8 вероятность распознавания как сигнала режима S на фоне шума, так и сигнал режима S при несинхронной помехе максимальна. Точность распознавания при уровне фронта выше 65% снижается даже при использовании такого низкого порога. Для более точной оценки проведем имитационное моделирование.

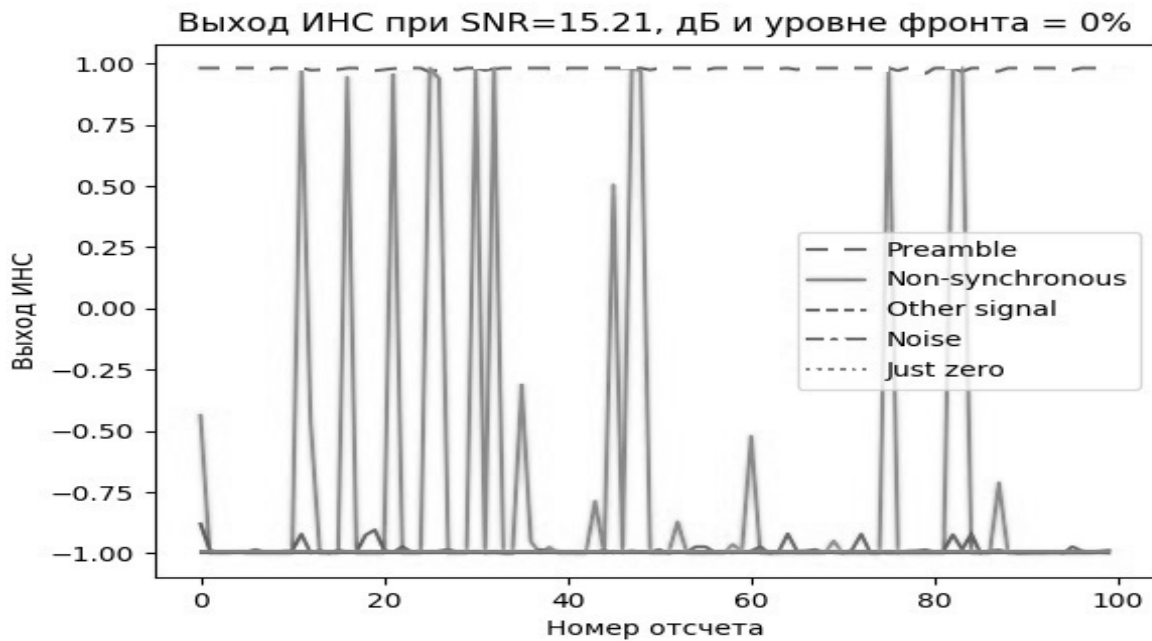


Рис. 1. Выходной сигнал ИНС в зависимости от разных типов входного сигнала (Preamble — сигнал в режиме S на фоне аддитивного шума, Non-synchronous — сигнал в режиме S на фоне несинхронной импульсной помехи, Other signal — посторонние сигналы других режимов и устройств, Noise — только шум, Just zero — отсутствие сигнала).

4. Модель системы опознавания воздушных судов в S режиме

На вход ИНС подается выборка сигнала для всей дистанции обзора ВОРЛ, на которой случайным образом располагаются ответы воздушных судов в режиме S, шумы и помехи различной природы. Когда на выходе ИНС фиксируется сигнал амплитудой выше заранее установленного порогового значения, система фиксирует факт распознавания сигнала на дистанции на фоне шумов и помех, сохраняет номер отсчета, передает сигнал в модуль расшифровки, продолжает дальше искать ответы.

5. Общий моделирующий алгоритм системы.

Данный алгоритм представлен на рисунке 2 и состоит из следующих алгоритмов:

- Алгоритм имитации ответов от самолетов в режиме S.
- Алгоритм формирования обучающей выборки.
- Алгоритм функционирования системы.
- Алгоритм оценки точности работы ИНС.
- Имитационный алгоритм.

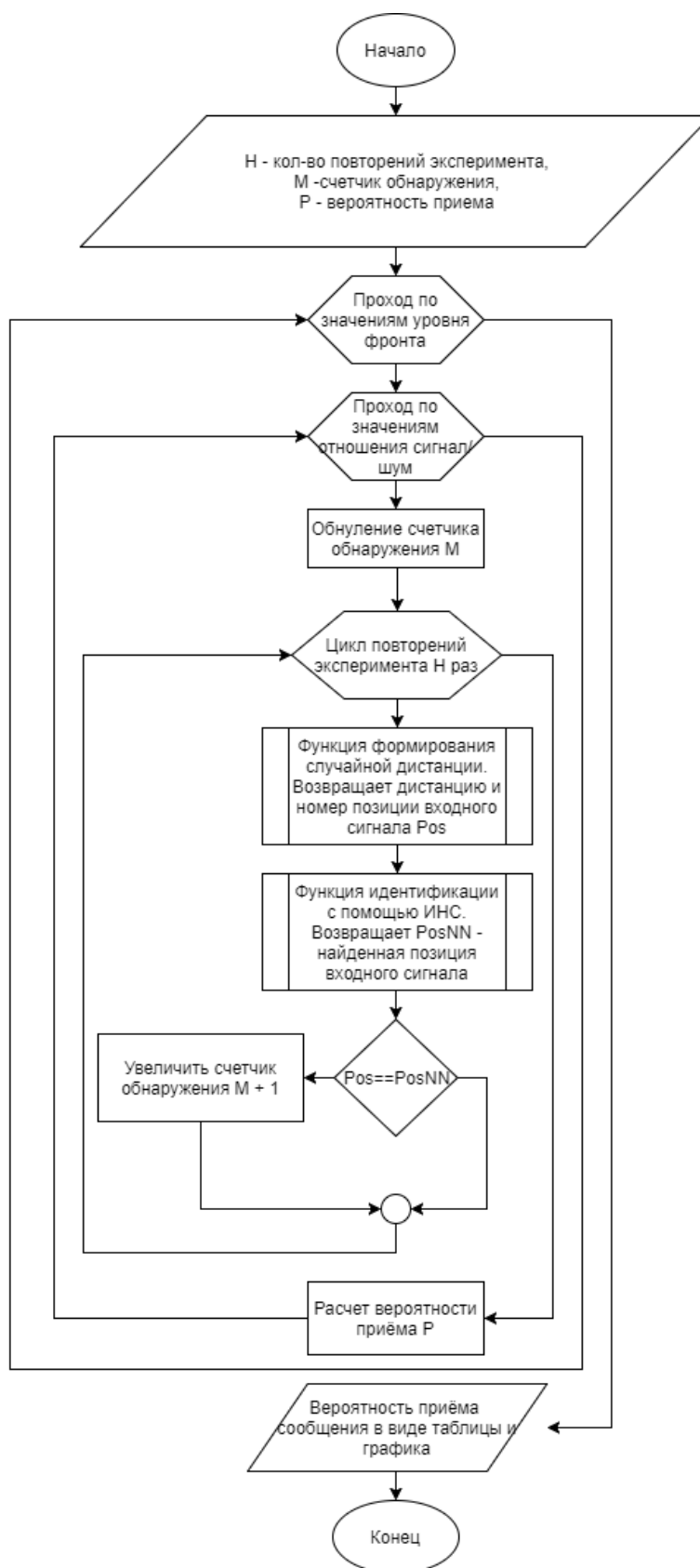


Рис. 2 Общий моделирующий алгоритм системы.

Эксперимент

Проведем имитационное моделирование системы опознавания воздушных судов в режиме S со следующими параметрами модели и планом эксперимента (таблица 1):

- 1) количество дестабилизирующих факторов – 2 (X_1 – уровень фронтов [0; 100%], X_2 – отношение сигнал шум [8.5; 19дБ];
- 2) количество повторений эксперимента – по 1000 для каждого уровня дестабилизирующего фактора;
- 3) порог опознавания равен -0.8.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента ($i=5, j=6$)

Номер эксперимента	Уровень фактора X_1	Уровень фактора X_2	Вероятность распознавания, %
1	1	1	$P_{1,1}$
2	2	1	$P_{1,2}$
...	...	1	...
i	i	1	$P_{i,1}$
...
ij	i	j	P_{ij}

Зависимость вероятности распознавания сигнала режима S на фоне шума от отношения сигнал/шум и уровня фронтов представлена на рисунке 3.

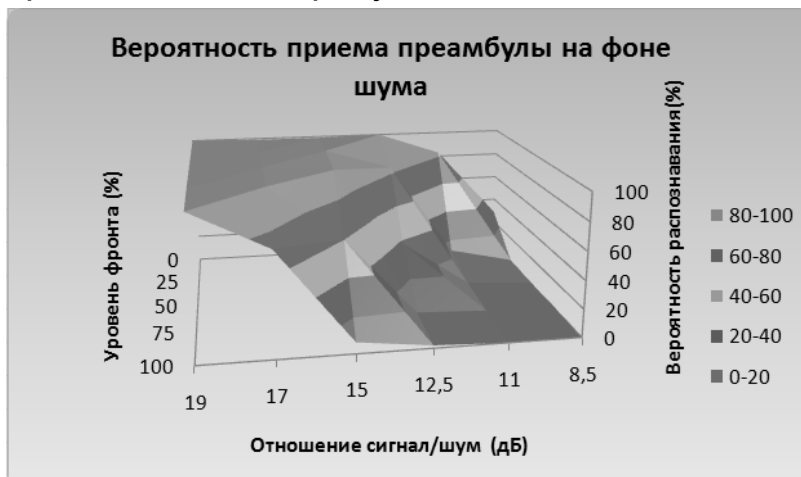


Рис. 3. Зависимость вероятности распознавания сигнала режима S на фоне шума от отношения сигнал/шум и уровня фронтов искусственной нейронной сетью.

Как видно из рисунка 3, увеличение отношения сигнал/шум положительно влияет на вероятность распознавания, в то время как уровень фронтов сигнала – отрицательно.

В результате имитационного моделирования наилучшие результаты идентификации сигнала режима S (вероятность приема 99.5%) получаются при отношении сигнал шум от 15 дБ и уровне фронта менее 50%, что соответствует предъявляемым требованиям к моделируемой системе.

Заключение

1. Проведено имитационное моделирование ИНС распознавания сигнала режима S, используемого в ВОРЛ для получения информации о воздушных судах.

2. Применение методологии ИМ позволило выбрать параметры ИНС (алгоритм обучения, количество нейронов), а так же определить точность функционирования для широкого диапазона дестабилизирующих воздействий.

3. Полученная с помощью имитационной модели информация о точности функционирования ИНС необходима для назначения функциональных допусков при разработке технических условий на проектируемое изделие.

4. На практическом примере показаны перспективы применения методологии ИМ при инженерном проектировании ИНС для разных платформ программной и аппаратной реализации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-38-00592.

Литература

1. Руководство по вторичным обзорным радиолокационным (ВОРЛ) системам. Дос 9684 AN/951. Издание третье. - Отпечатано в ИКАО. 2004. 257 с.

2. Гуляев Ю.В. Нейрокомпьютеры в системах обработки сигналов / Ю.В. Гуляев, А.И. Галушкин. – М.: Радиотехника, 2003. – 224 с.

3. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн.28.- М.: Радиотехника, 2009. – 432 с.

4. Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А. Нейросетевые алгоритмы обработки гармонических сигналов в промышленных системах технического контроля // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2014. № 4 (29). С. 43-49.

5. Данилин С.Н., Щаников С.А. Нейросетевой алгоритм контроля абсолютного значения фазового сдвига ЛЧМ-сигнала // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2016. №18. С.60-64.

6. Данилин С.Н., Щаников С.А. Алгоритм контроля относительного отклонения частоты ЛЧМ-сигнала от линейного закона с применением искусственных нейронных сетей // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 4(33). С. 10-18.г.

7. Старовойтов А.В., Галушкин А.И. Новые технологии микроэлектроники и разработки перспективных нейрокомпьютеров.// Информатизация и связь. 2017. №1. С.7-17.

8. Галушкин А.И. СуперЭВМ и мемристоры / А.И. Галушкин, Д.В. Пантюхин // Информационные технологии. 2016. Т.22, №4. С. 304-312.

9. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 496 с.

10. Данилин С.Н., Щаников С.А. Проблемы проектирования искусственных нейронных сетей на базе мемристоров с заданной точностью функционирования // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2016. №4.С. 3-11.

11. Merritt R. AI Becomes the New Moore's Law [Электронный ресурс] // EE Times. 2018. URL: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1333471 (Дата обращения: 05.12.2018).

12. Алгазинов Э.К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Алгазинов Э.К., Сирота А.А. ; под общ. ред. А.А. Сироты. -М.: Диалог-МИФИ, 2009. - 416с.

13. Смирнов М.С. Моделирование алгоритмов АЗН-В приемника в системе LabVIEW// Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2016. – № 18. – С. 48–52.

ДАНИЛИН С.Н. DSN-55@MAIL.RU

ЩАНИКОВ С.А. SEACH@INBOX.RU

ЗУЕВ А. Д. AD-NEMO@MAIL.RU

ИВЕНТЬЕВ А.А. IVENTIEVWORK@MAIL.RU