

С.Н. ДАНИЛИН,
С.А. ЩАНИКОВ

**Алгоритм контроля относительного
отклонения частоты ЛЧМ-сигнала
от линейного закона с применением
искусственных нейронных сетей**

УДК 004.383.8.032.26

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

Предложен общий подход к разработке нейросетевых алгоритмов контроля параметров сигналов. Разработан алгоритм контроля относительного отклонения частоты ЛЧМ-сигнала от линейного закона с применением искусственных нейронных сетей. Показаны возможные пути снижения вероятности ошибки нейросетевых алгоритмов при контроле параметров сигналов в системах технического контроля.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-07-08330.

Введение

Неотъемлемой составной частью технологического процесса при производстве электронных средств обработки и преобразования информации является технический контроль (ТК), цель которого состоит в предотвращении попадания дефектных материалов и изделий на последующие этапы изготовления [1]. Данный процесс связан с проведением комплекса работ (регулируемые и настроечные операции) по доведению параметров производимой продукции до величин, соответствующих требованиям технических условий (ТУ), и обеспечению допуска разброса параметров, который гарантирует эффективное функционирование аппаратуры в реальных условиях эксплуатации.

Принятие решения о соответствии ТУ электронных средств формирования и обработки радиотехнических сигналов (ЛЧМ, ФКМ

и т.д.) производится на основе оценок значений их параметров (линейность закона изменения частоты, равномерность амплитудной характеристики, спектральная плотность мощности и т.д.), формируемых из данных, получаемых контрольно-измерительными приборами. С одной стороны, чем выше точность таких измерений, тем выше качество регулировки и настройки электронной аппаратуры. С другой стороны, получение более точных данных о погрешности функционирования электронной аппаратуры, экономически оправдывается при увеличении допусков на отдельные элементы и детали в целях снижения себестоимости изделий. При этом сложность алгоритмов ТК в ряде случаев либо сопоставима, либо превышает сложность алгоритмов функционирования самих устройств.

Активное развитие науки и техники и возрастающая сложность выпускаемой продукции делают актуальной задачу совершенствования средств ТК. Решение данной задачи связано с выбором наиболее оптимальных и эффективных численных методов и аппаратных реализаций вычислительных компонентов, входящих в их состав.

1. Процесс ТК устройств формирования и обработки сигналов

Процесс ТК при производстве устройств (блоков, ячеек) формирования и обработки сигналов включает в себя следующие этапы (рис. 1).

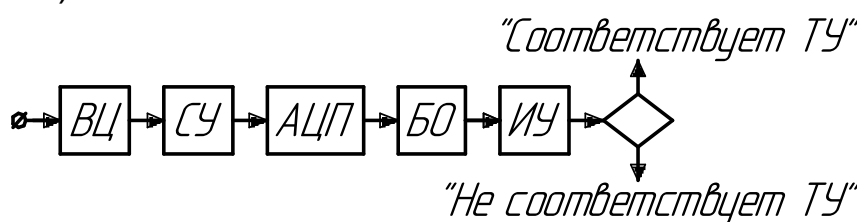


Рис. 1. ТК формирования и обработки сигналов.

Аналоговые значения сигнала через входные цепи (ВЦ) передаются на согласующее устройство (СУ) для согласования сопротивления в точке подключения, а также для изменения уровня или мощности сигнала. Далее, получаемые на выходе аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), дискретные значения принимаемой реализации передаются в блок оценивания (БО) для

выделения измеряемого параметра. Измерительное устройство (ИУ) вычисляет значения показателей качества контролируемых параметров сигналов. Превышение данных значений заранее установленного допустимого уровня является индикатором необходимости регулировки и настройки диагностируемого устройства.

Задача оценки параметров сигналов описана в [2]. Техническими условиями для устройств формирования и обработки сигналов, модулированных по частоте, (ЛЧМ) устанавливаются следующие контролируемые параметры (характеризующие их приемо-передающие способности): фазовые набег от импульса к импульсу в пачке, линейность закона изменения частоты в пределах импульса, девиация частоты ЛЧМ сигнала, спектральная плотность мощности, равномерность амплитудной характеристики, крутизна фронтов ЛЧМ импульсов, оценка вобуляционных периодов следования импульсов в пачке, оценка корреляционных функций.

2. Процесс ТК с применением искусственных нейронных сетей

Предположение об эффективности решения задачи ТК при производстве блоков формирования и обработки радиотехнических сигналов искусственными нейронными сетями (ИНС) основано на том обстоятельстве, что нейросетевые алгоритмы представляют собой частный случай методов распознавания образов (дискриминантного анализа, методов кластеризации и т.д.) [3-10]. Отличительной особенностью решения задач в нейросетевом логическом базисе является относительный подход к задаче в целом без разделения на частные подзадачи.

В работах [11-13] авторами предложены нейросетевые алгоритмы оценки параметров гармонических сигналов на основе двухслойных ИНС прямого распространения. При их разработке применены методы проектирования ИНС с заданной точностью функционирования при реальных дестабилизирующих воздействиях, описанные в [14-16]. На основании проведенных исследований, в работах [17-19] предложен общий подход к разработке нейросетевых алгоритмов контроля параметров гармонических сигналов, суть которого заключается в следующем. ИНС необходимо обучить на распознавание случаев, в которых

значения параметров принимаемой реализации сигнала выходят за границы поля допуска. Обучающей выборкой является массив дискретных значений сигнала с допустимыми и не допустимыми уровнями погрешностей значений контролируемых параметров. Рассмотрим нейросетевой алгоритм контроля относительного отклонения частоты ЛЧМ-сигнала $S(t)$ (1) от линейного закона.

$$S(t) = A(t) \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (1)$$

где $A(t)$ – огибающая импульса, зависящая от времени t ; ω_0 – центральная частота колебаний; $\varphi(t)$ – фазовая функция колебания.

3. Нейросетевой алгоритм

Закон линейности изменения частоты ЛЧМ сигнала (1) можно представить как

$$f(t) = b \cdot t + f_0, \quad (2)$$

где $f_0 = (f_{\max} + f_{\min})/2$ – среднее значение частоты сигнала;

$b = (f_{\max} - f_{\min})/T_c$, T_c – длительность импульса;

f_{\max} , f_{\min} – максимальное и минимальное значения несущей частоты импульса на интервале времени $-0,5T_c \leq t \leq 0,5T_c$;

Для обучения ИНС (рис. 2) необходимо подготовить обучающую выборку, которая состоит из двух массивов – *inputs* и *targets*.

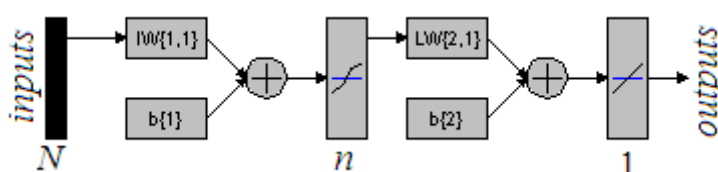


Рис. 2. Модель ИНС в MATLAB.

Входной массив *inputs* (рис. 3) – это массив дискретизированных нормированных значений ЛЧМ-импульсов (1), при относительных отклонениях частот от линейного закона σ_f в пределах [0 20%].

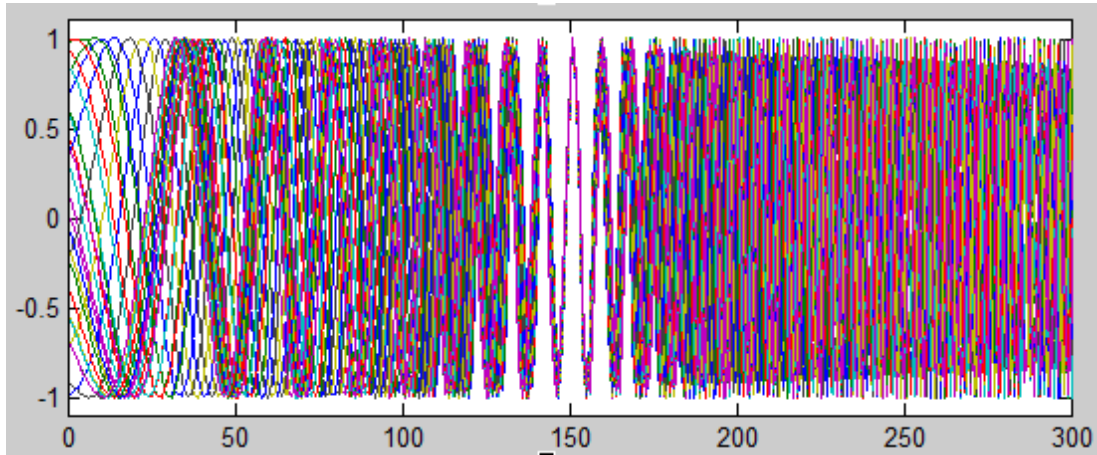


Рис. 3. Входной сигнал для обучения ИНС *inputs*.

Желаемый выходной массив *targets* (рис. 4) – это массив, состоящий из 0 для номеров элементов соответствующих значениям массива *inputs* при $\sigma_{f \text{ доп}} \leq 10\%$ (максимально допустимое значение σ_f) и 1 для номеров элементов соответствующих значениям массива *inputs* при $\sigma_{f \text{ доп}} > 10\%$.

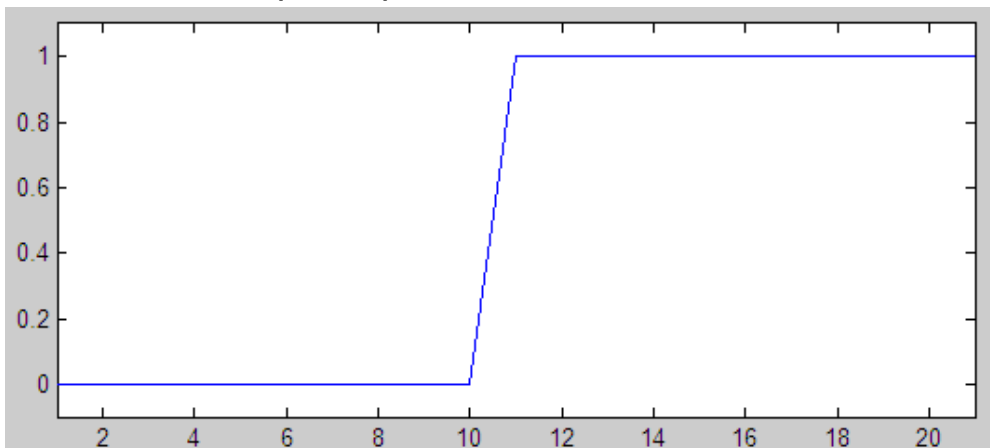


Рис. 4. Желаемый выходной массив *targets* для обучения ИНС.

После обучения искусственной нейронной сети формируется выходной массив ИНС *outputs*, который представляет собой массив, того же размера что и массив *targets*, содержащий достигнутые в процессе обучения выходные значения.

Процесс исследования рассмотрим на примере искусственной нейронной сети со следующими параметрами: двухслойная нейронная сеть прямого распространения, функция активации первого слоя тангенциальная (*tansig*), второго слоя – линейная

(purelin); обучение алгоритмом Левенберга-Марквардта с регуляризацией по Байесу (функция MATLAB - TRAINBR).

Симулируем работу ИНС, подавая на вход значения массива *targets* по 1000 раз для каждого варианта погрешности в законе линейности частоты ЛЧМ-сигнала ($N=21$) (рис.5) при отношении сигнал/шум $q_{с/ш}=50$ дБ (всего $N*1000=21000$ повторений).

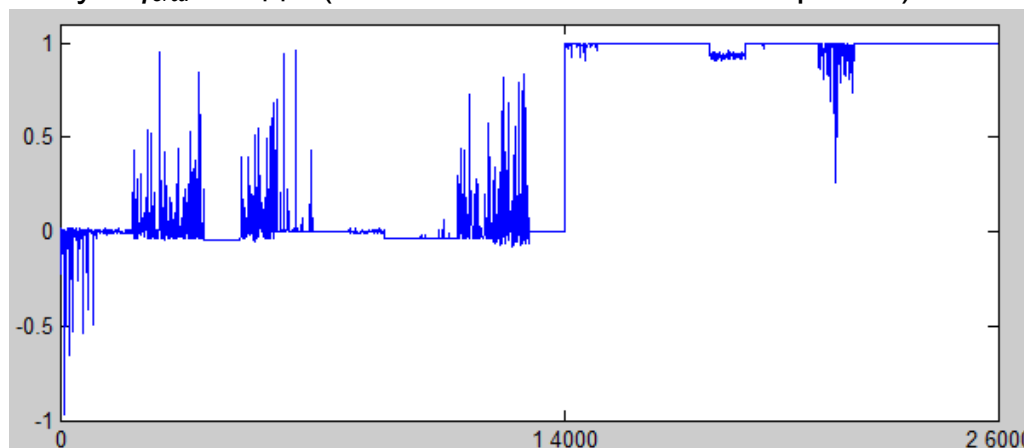


Рис. 5. Результат симулирования работы ИНС.

Как показано на рис. 5 выходные значения ИНС находятся на интервале $[-1;1]$. Поэтому для того, чтобы определить вероятность ошибки работы ИНС $P_{ош}$ необходимо установить пороговое значение Π (рис. 6) между наступлением событий: *A* – принятие решения о регулировке диагностируемого блока в случае, когда параметры обработанных ЛЧМ-импульсов находятся в пределах поля допуска; *B* – принятие решения об отсутствии необходимости в регулировке в случае, когда параметры обработанных ЛЧМ-импульсов находятся за пределами поля допуска.

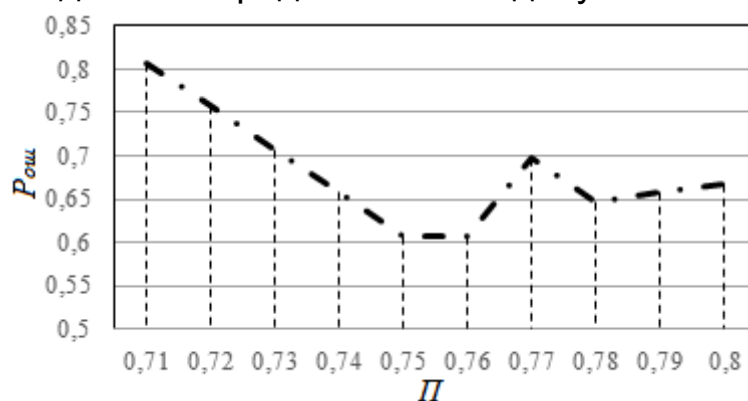


Рис. 6. Вероятность ошибки $P_{ош}$ ИНС в зависимости от значения Π условия наступления событий *A* и *B*.

В соответствии с рис. 6 вероятность ошибки ИНС $P_{ош}=0,6071\%$ при $\Pi=0,75$ и $0,76$. Повторим вышеописанный эксперимент 100 раз (всего $N*1000*100=2100000$ раз) для того чтобы установить точное значение порога Π , обеспечивающего наименьшую вероятность ошибки (рис. 7)

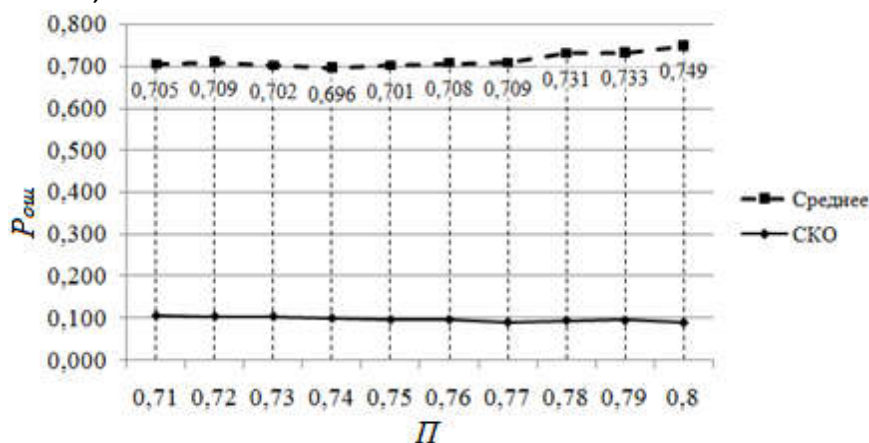


Рис. 7. Среднее значение вероятности ошибки $P_{ош}$ ИНС и СКО при 2600000 повторениях в зависимости от значения Π .

В соответствии с рис. 7 наименьшее значение вероятности ошибки ИНС $P_{ош}$ при данных условиях достигается при $\Pi=0,74$ – $P_{ош} = 0,6960\%$. Возможным вариантом снижения вероятности ошибки ИНС $P_{ош}$ является принятие решения о наступлении событий A и B более чем по двум ЛЧМ-импульсам.

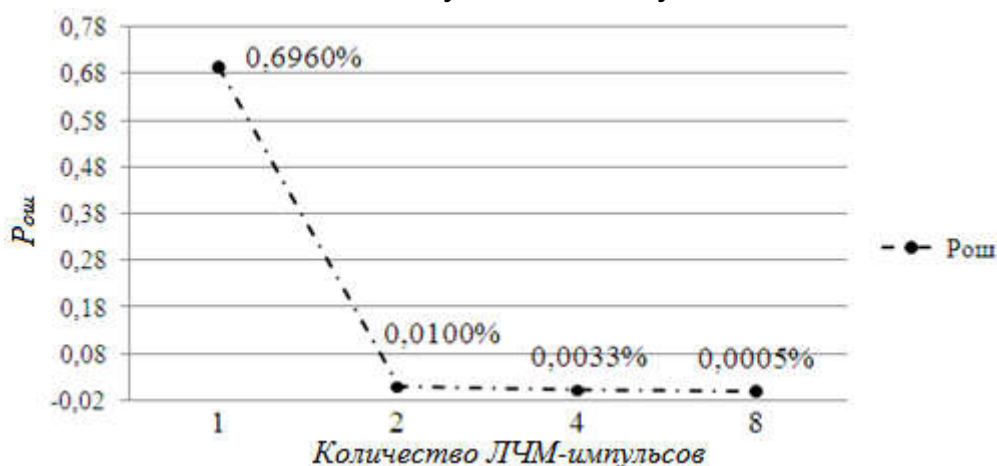


Рис. 8. Вероятность ошибки $P_{ош}$ ИНС при разном количестве ЛЧМ-импульсов.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что при принятии решения по 8 ЛЧМ-импульсам вероятность ошибки ИНС $P_{ош}=0,0005\%$.

Заключение

1. Предложен общий подход к разработке нейросетевых алгоритмов контроля параметров сигналов с заданной точностью вычислений.
2. Разработан алгоритм контроля относительного отклонения частоты ЛЧМ-сигнала от линейного закона с применением искусственных нейронных сетей
3. Показаны возможные пути снижения вероятности ошибки нейросетевых алгоритмов при контроле параметров сигналов в системах ТК.

Литература

1. Воронин В.В. Диагностирование технических объектов / В.В. Воронин. – Хабаровск: Изд-во Хабаровского гос. техн. ун-та, 2002. – 157 с.
2. Храмов К.К., Жиганов С.Н. Исследование характеристик цифровых фильтров в программно-аппаратном устройстве оценки параметров модуляции ЛЧМ-сигналов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. №3. С.30–34.
3. Нейрокомпьютеры в системах обработки сигналов: коллективная монография / Под ред. Ю. В. Гуляева и А. И. Галушкина. - М.: Радиотехника, 2003. - 176 с.
4. Галушкин, А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010 – 496 с.
5. Жизняков А.Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений: монография / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008, 121 с.
6. Садыков С.С. Алгоритм построения выпуклой оболочки бинарного изображения и формирование его безразмерных признаков / С.С. Садыков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 2 (23). С.77-85.
7. Андрианов Д.Е., Соколов М.С. Использование топологических правил при пространственном анализе картографических объектов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 9. С. 14-19.
8. Жизняков А.Л., Привезенцев Д.Г., Фомин А.А. Классификация изображений на основе локальных признаков самоподобия // Ползуновский вестник. 2011. № 3-1. С. 12-14.
9. Садыков С.С., Савичева С.В. Распознавание плоских объектов при их наложении // Информационные технологии. 2013. № 2. С. 43-46.
10. Варламов А.Д., Шарапов Р.В. Использование нейронных сетей в задачах мониторинга экзогенных процессов дистанционными методами // Геоинформатика. 2014. № 4. С. 62-68.
11. Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А., Пантелеев С.В. Алгоритм выбора параметров искусственной нейронной сети при оценке амплитуды гармонических сигналов с учетом дестабилизирующих воздействий // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2014. № 16. С. 70-73.

12. Данилин С.Н., Щаников С.А. Алгоритм выбора параметров искусственной нейронной сети с учетом внутренних и внешних дестабилизирующих воздействий // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 3(32). С. 18-24.

13. Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А. Обеспечение точности функционирования нейросетевого устройства оценки параметров гармонических сигналов в радиосистемах // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. №3. С. 12-17.

14. Danilin S.N., Makarov M.V., Shchanikov S.A. Design of artificial neural networks with a specified quality of functioning // International Conference "Engineering & Telecommunication - En&T 2014". 2014. PP. 67-71. (DOI: 10.1109/EnT.2014.38)

15. Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А. Комплексный показатель качества работы ИНС // Информационные технологии. №5, 2013. с.57-59.

16. Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А. Алгоритм проектирования нейронных сетей с минимальной разрядностью // Известия ТулГУ. Технические науки. № 1, 2013. с. 245-251.

17. Danilin S.N., Makarov M.V., Shchanikov S.A. Infocommunication systems parameter monitoring by means of artificial neural network devices // 2014 24th Int Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". 2014. pp. 318-319. IEEE 318 Catalog Number: CFP14788. (DOI: 10.1109/CRMICO.2014.6959412)

18. Danilin S.N., Makarov M.V., Shchanikov S.A. Numerical simulation of neural network components of controlling and measuring systems // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014 International Conference on. 2014. pp. 1-4. (DOI: 10.1109/MEACS.2014.6986873).

19. 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.

ДАНИЛИН С.Н. DSN-55@MAIL.RU

ЩАНИКОВ С.А. SEACH@INBOX.RU