

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Թանթուշյան Արամ Միքայելի

Հեռահաղորդակցական ցանցերում ազդանշանների մոդուլացման տեսակների նույնականացման մեթոդի մշակումը և հետազոտումը

Ե.12.03 - «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր

Երևան 2019

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Тантушян Арам Микаелович

Разработка и исследование метода идентификации видов модуляций сигналов в телекоммуникационных сетях

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.03 - «Телекоммуникационные сети, устройства и системы»

Ереван 2019

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ):

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆեսոր Ա.Գ. Ղուլյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր Հ.Ա. Գոմցյան
տ.գ.թ. Դ.Գ. Զարգարյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ «Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2019թ. հունիսի 15-ին ժամը 10⁰⁰-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (Հայաստան, ք.Երևան, Տերյան 105, 0009) գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 մասնագիտական խորհրդում:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2019թ. մայիսի 4-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղոսար, տ.գ.թ.՝



Մ.Յ. Այվազյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении (НПУА).

Научный руководитель: д.ф-м.н., профессор А.Г. Гулян

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор О.А. Гомцян
к.т.н. Д. Г. Заргарян

Ведущая организация: ЗАО «Ереванский научно-исследовательский институт средств связи»

Защита диссертации состоится 15-го июня 2019г. в 10⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 046 – “Радиотехники и электроники”, действующего при Национальном политехническом университете Армении (Армения, г. Ереван, ул. Теряна 105, 0009).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 4-го мая. 2019г.

Ученый секретарь
Специализированного совета, к.т.н.:



М.Ս. Այվազյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Параллельно с быстрым развитием технологий XXI века совершенствуются и улучшаются системы и устройства телекоммуникационной связи, которые более широко и по-новому используются в таких областях, как аэронавигация, медицина, IoT технологии, беспилотные летательные аппараты и т.д. Вышеупомянутое предполагает необходимость решения задач, направленных на улучшение качества связи, обеспечение безопасности связи, ускорение передачи данных и, особенно, на эффективное распределение радиочастотного спектра и передачи данных больших объемов. Об этом свидетельствует тот факт, что многие крупные и всемирно известные телекоммуникационные компании в настоящее время занимаются разработкой систем мобильной связи «5G». Основная часть исследований таких систем относится к миллиметровому диапазону волн. В настоящее время диапазон миллиметровых волн используется относительно мало, из чего следует, что переход на сверхвысокий диапазон частот позволит применить широкие полосы пропускания, достичь очень высоких скоростей передачи данных и избежать межканальной интерференции.

В настоящее время при плотно распределенном радиочастотном спектре, сбои телекоммуникационной связи являются серьезной проблемой в таких технологиях связи, как программируемое (SDR) и когнитивное (CR) радио, а также могут играть решающую роль в сетях связи военного назначения.

Для обнаружения сигналов, являющихся причиной нарушений радиосвязи, при мониторинге радиочастотного спектра возникает необходимость обнаружения сигналов, о которых не имеется предварительной информации. Примерами таких сигналов являются сигналы, незаконно переданные нелегализованным радиопередатчиком, сигналы, которые, с точки зрения военной радиоэлектронной разведки, содержат информацию об «опасности», сигналы противника и т.д.

Одним из практических и актуальных решений этой проблемы является «слепая» демодуляция неизвестного телекоммуникационного сигнала, основной составляющей компонентой которой является система идентификации вида модуляции сигнала. Идентификация видов модуляций телекоммуникационных сигналов представляет собой систему, которая может без какой-либо предварительной информации автоматически определить вид модуляции сигнала и передать это значение демодулятору. Эти системы состоят из трех основных блоков: обработка сигнала, идентификация вида модуляции и демодуляция сигнала.

Цель и задачи работы. Целью диссертации является разработка эффективного и реализуемого в реальном времени метода автоматической идентификации видов аналоговой и цифровой модуляции телекоммуникационных сигналов.

Для достижения вышеупомянутой цели необходимо было решить следующие задачи:

1. С целью определения основных характеристик сигнала изучить физические характеристики видов аналоговых и цифровых модуляций.
2. Разработать ключевые характеристики для M-PSK и M-QAM цифровых видов модуляций.
3. Изучить и определить целесообразную и осуществимую технологию идентификации данных для применения в идентификации видов модуляций.
4. Обосновать осуществимость программного кода выбранной технологии идентификации данных в среде графического программирования LabVIEW.
5. Разработать код в LabVIEW для метода идентификации видов модуляций, который позволяет генерировать модулированные сигналы в реальном времени, извлекать ключевые характеристики сигналов и на основе этих данных, с помощью соответствующей технологии идентификации данных, осуществить распознавание вида модуляций.

Научная новизна:

1. Были изучены технологии идентификации данных и проведен сравнительный анализ, в результате чего, с расчетом нынешних технологических возможностей, для каждой технологии были установлены критерии эффективности их применения в рамках распознавания видов модуляций. Результаты исследований позволяют, в зависимости от требований и условий конкретной задачи, сделать эффективный выбор технологии.
2. Для идентификации цифровых сигналов M-PSK и M-QAM были разработаны три новых ключевых характеристик сигналов, которые одновременно выполняют функции других ключевых характеристик, применяемых для идентификации других видов модуляций. Вышеупомянутое позволило для распознавания десяти видов цифровых модуляций использовать четыре ключевые характеристики, вместо восьми.
3. Предложен новый метод принятия окончательного решения искусственной нейронной сети, что позволяет избежать дополнительных длительных расчетов.
4. Разработан метод параллельной идентификации видов аналоговых и цифровых модуляций и соответствующий программный код.

На защиту выносятся следующие научные положения.

1. Критерии выбора метода идентификации данных в системах распознавания видов модуляций, установленные в результате проведенных исследований и сравнительного анализа
2. Ключевые характеристики сигналов, разработанные для идентификации видов цифровых модуляций.
3. Новый метод принятия окончательного решения для искусственной нейронной сети.
4. Метод автоматической идентификации аналоговых и цифровых видов модуляций и соответствующий программный код.

Достоверность результатов исследования. Достоверность научных положений подтверждена на основании сравнения теоретических положений с экспериментальными результатами, полученными с помощью программного кода, разработанного в среде графического программирования LabVIEW.

Теоритическая и практическая ценность работы.

1. Разработанный программный код может служить основой для разработки более совершенного программного кода, выполняющего расчеты с помощью ПЛИС (FPGA).

2. Разработанные ключевые характеристики могут быть применены для улучшения работы существующих систем идентификации видов модуляций.

3. Результаты диссертации могут быть использованы в аналогичных системах, разработанных в рамках радиоэлектронной безопасности Республики Армения.

Апробация полученных результатов. Основные положения диссертации докладывались на ежегодной научной конференции НПУА 2018 года.

Внедрение результатов работы. Ключевые характеристики сигналов, разработанные в результате проведенных исследований и предназначенные для идентификации видов цифровых модуляций, были применены компанией OLYMP Engineering в системах Blind demodulator, эксплуатируемых в телекоммуникационных сетях Индии, что позволило повысить точность идентификации видов модуляций телекоммуникационных сигналов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных статей в местных научных изданиях, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, одного приложения и списка используемой литературы, включающего 92 наименования. Текст диссертации изложен на 118 страницах, содержит 39 рисунков и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, научнопрактическое значение, апробация полученных результатов, публикации и прикладное внедрение, а также структура и объем диссертации.

Первая глава посвящена описанию результатов и недостатков существующих методов и алгоритмов идентификации видов аналоговых и цифровых модуляций, а также методов распознавания модуляций, осуществляющихся с помощью искусственных нейронных сетей.

Во второй главе представлены технологии идентификации данных и их сравнительный анализ, которые используются для определения видов неизвестных

телекоммуникационных сигналов. Проведенный анализ является первым в своем роде, поскольку, в отличие от предыдущих работ, здесь подробно описаны преимущества и недостатки технологий идентификации данных в рамках распознавания вида модуляции телекоммуникационных сигналов. Проведенный сравнительный анализ позволяет использовать полученные результаты в других работах. Из существующих методов идентификации данных рассмотрены метод теоретического решения, метод анализа сигнального созвездия, вейвлет преобразование, метод опорных векторов и искусственные нейронные сети.

Метод теоретического решения. В рамках метода теоретического решения окончательное решение идентификации принимается путем исследования периодичности данного вида модуляции или сравнения значений ключевых характеристик обнаруженных сигналов с заранее определенной пороговой величиной.

Классификаторы теоретического определения, при отсутствии постороннего шума, могут быть эталоном для проверки точности работы других классификаторов, но, тем не менее, практическое применение этого метода ограничено, поскольку решения для оптимизации работы этих классификаторов приводят к значительным сложным расчетам.

Идентификация с помощью анализа сигнального созвездия. Другим методом распознавания вида модуляции сигнала является анализ траекторий символов сигнала и анализ сигнального созвездия. Основой для данного вида идентификации является разделение сигнала на симфазную I и квадратурную Q составляющие. Для всех сигналов QAM и PSK определяются кластерные центры идеальных символов, которые затем сравниваются с полученными данными сигнала. В результате анализа и сравнения сигнальных созвездий выбирается тот вид модуляции, который в основном совпадает с известным образцом.

Вейвлет преобразование. Вейвлет - это волноподобное колебание. С помощью вейвлет преобразования можно одновременно анализировать характеристики сигнала во временной и частотной областях, что позволяет исследовать такие особенности сигнала, которые невозможно рассчитать с помощью преобразования Фурье.

Машины опорных векторов: Машина опорных векторов (MOB) (Support Vector Machine) является относительно новой универсальной обучающейся машиной и широко используется в рамках задач распознавания образа, расчета плотности вероятности и регрессии. Основная цель этих машин - максимизировать расстояние между двумя ближайшими точками соответствующих данных, принадлежащих к двум разным классам.

Чтобы линейно разделить две группы данных, необходимо найти гиперпространство, что выполняется путем измерения максимального расстояния между двумя ближайшими точками. Для классификации данных, принадлежащих

более чем к двум классам, с помощью функций Кernels возможно сделать переход в нелинейное пространство.

Искусственные нейронные сети: Искусственная нейронная сеть (ИНС) является системой, которая при конкретных входных данных, посредством прогнозирования и распознавания, генерирует соответствующие выходные значения. Для сложных вычислительных задач используются многослойные искусственные нейронные сети, состоящие из одного входного слоя, нескольких скрытых слоев и одного выходного слоя. На рисунке 1 изображена схема ИНС, состоящая из двух скрытых слоев.

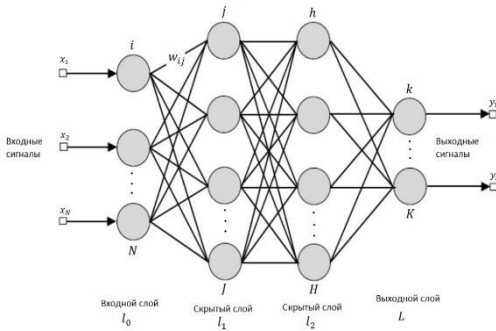


Рис. 1 Многослойная нейронная сеть

На рис. 1: $i = 1, 2, \dots, N$;
 $j = 1, 2, \dots, J$; $h = 1, 2, \dots, H$;
 $k = 1, 2, \dots, K$, где i, j, h, k номера соответствующего слоя нейронов, а l ($l = 0, 1, \dots, L$) - номер слоя:

Для работы в реальном времени ИНС необходимо пройти обучение. Цель обучения состоит в вычислении величин веса линий, соединяющих между собой нейроны последующих слоев, при которых выходные значения сети наиболее близки к требуемым величинам.

Сравнительный анализ технологий идентификации. Существует множество алгоритмов, методов идентификаций и классификаций, каждый из которых предназначен для решения конкретных задач, имеет свои особенности, сложности, преимущества и недостатки. Учитывая все вышеперечисленные критерии, необходимо выбрать технологию, с помощью которой можно получить самую высокую точность для решения задачи, лежащей в основе данной работы. В случае теоретического метода решения классификатор делает выбор путем сравнения полученных значений ключевых характеристик с механически рассчитанными пороговыми значениями этих характеристик сигналов. Механический расчет пороговых значений ключевых характеристик сигналов требует дополнительные временные ресурсы. В случае подхода теоретического определения точность идентификации зависит от четкой последовательности поступления на вход системы характеристик сигнала, что исключает возможность выполнения параллельных вычислений.

Вейвлет-преобразование само по себе осуществляется посредством сложных вычислений, и его сочетание с технологией идентификации, а также использование инструментов WAVELET Transforms в среде LabVIEW накладывает ограничения с точки зрения эффективности разработанного программного обеспечения, поэтому данная технология не рассматривается и не применяется в данной работе как метод извлечения ключевых характеристик сигнала.

Распознавание модуляции посредством анализа сигнального созвездия также не соответствует требованиям задачи данной работы, поскольку оно не применимо для аналоговых модуляций.

Опорные векторные машины обеспечивают точные результаты классификации нелинейных измерений и позволяют переходить на нелинейную классификацию с помощью различных функций Кернела. Недостатком ОВМ являются проблемы, связанные с их двоичной идентификацией, в результате чего для идентификации нескольких классов продолжительность обучения ОВМ значительно увеличивается. Необходимость выбора соответствующей функции Кернела также ограничивает функционирование ОВМ, поскольку оно требует дополнительных и длительных вычислений.

Главной и наиболее важной особенностью искусственных нейронных сетей является их способность самостоятельного обучения. Эта функция позволяет избежать сложных и трудоемких вычислений, дополнительного программирования для обучения, предварительного механического вычисления для основных характеристик каждого вида модуляций. Искусственную нейронную сеть, можно обучить большому количеству информации, что обеспечит очень высокую точность результатов. Нейронные сети легко перенастраиваются согласно требованиям задачи, путем изменения количества нейронов в скрытых слоях можно получить более высокую скорость и точность вычислений. Последовательность ключевых характеристик сигнала, передаваемых на вход сети, не существенна для ИНС, поскольку они обеспечивают параллельную обработку данных, что также значительно ускоряет расчеты и является одним из важнейших преимуществ данного метода. В отличие от других методов идентификации, ИНС обладает способностью точно отражать наиболее правильный ответ в процентном соотношении. Разработки ИНС создают перспективы для совершенствования и разработки алгоритмов решения задачи идентификации видов модуляции. Основываясь на вышеуказанных преимуществах и возможностях, ИНС считается наиболее эффективным, подходящим, современным и быстродействующим методом решения основной задачи, лежащей в основе данной работы.

В третьей главе было проведено исследование физических параметров видов модуляций, представлены существующие и разработанные в рамках данной работы ключевые характеристики сигналов. В диссертации были рассмотрены четырнадцать видов аналоговых и цифровых модуляций: DSB, LSB, USB, FM, 2ASK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM и ключевые

характеристики, предназначенные для их идентификации: γ_{max} , σ_{ap} , σ_{dp} , P , σ_{aa} , σ_{af} , E_m , φ_{dq} , A_{dq} .

Спектральная плотность мощности γ_{max} . Данная ключевая характеристика сигнала представляет собой максимальное значение спектральной плотности мощности, предназначенная для различения аналоговой частотной FM и амплитудной DSB, SSB модуляций, цифровых 2FSK и 4FSK сигналов от остальных видов цифровых модуляций. Поскольку амплитуда частотно-модулированных сигналов имеет постоянное значения, то следовательно для этих сигналов значение γ_{max} очень близко к нулю, а в случае остальных типов модуляции γ_{max} получает значения больше нуля. Данная ключевая характеристика описывается следующим уравнением:

$$\gamma_{max} = \frac{\max FFT |A(i)_{cn}|^2}{N_s}, \quad (1)$$

где $A(i)_{cn}$ центрированная и нормированная амплитуда и рассчитывается следующим образом:

$$A(i)_{cn} = \frac{A(t)_i - A_m}{A_m}, \quad (2)$$

В уравнении (2) $A(t)_i$ является i -ым значением массива значений мгновенной амплитуды, а A_m является средним значением мгновенной амплитуды и описывается следующим уравнением:

$$A_m = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} A(t)_i, \quad (3)$$

где N_s – количество точек в рассматриваемом сегменте сигнала.

Стандартная девиация абсолютной величины центрированной нелинейной составляющей мгновенной фазы: σ_{ap} . Данная ключевая характеристика описывается следующим уравнением:

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{C} \left(\sum_{A(i)_n > A_t} \Phi(i)_{NL}^2 \right) - \left(\frac{1}{C} \sum_{A(i)_n > A_t} |\Phi(i)_{NL}| \right)^2}, \quad (4)$$

где $\Phi(i)_{NL}$ центрированная нелинейная составляющая мгновенной фазы, а C количество тех точек, для которых $A(i)_n > A_t$, где $A(i)_n$ нормированная мгновенная амплитуда, а A_t - это предварительно определенное пороговое значение амплитуды, ниже которой расчеты не целесообразны из-за высокого уровня шума. Нормированная мгновенная амплитуда определяется следующим образом:

$$A(i)_n = \frac{A(t)_i}{A_m}, \quad (5)$$

Данная ключевая характеристика сигналов применяется для различения DSB вида аналоговой модуляции от остальных видов аналоговых модуляций: SSB и FM, и для отличия цифровых сигналов BPSK, 2ASK и 4ASK от остальных видов цифровых модуляций, содержащих абсолютную фазовую информацию.

Симметричность спектра мощности: P: P является ключевой характеристикой описывающей симметричность правых и левых боковых полос относительно несущей частоты. Оно используется для различения группы видов SSB модуляций (LSB, USB) от группы модуляций DSB и FM. Данная характеристика описывается следующим уравнением:

$$P = \frac{P_l - P_u}{P_l + P_u}; \quad (6)$$

В данном уравнении P_l и P_u соответственно, спектральные мощности нижнего и верхнего боковых слоев и характеризуются следующими уравнениями:

$$P_l = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X(i)|^2, \quad (7)$$

$$P_u = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X(i + f_{cn} + 1)|^2; \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8) X_c – Фурье преобразование сигнала, а $(f_{cn} + 1)$ номер точки, соответствующей несущему сигналу. Поскольку при SSB модуляции одна из боковых слоев фильтруется и нарушается симметрия спектра, то можно отличить модулированные сигналы SSB от видов модуляций DSB и FM, спектры которых симметричны относительно несущей частоты.

Стандартная девиация центрированной нелинейной составляющей мгновенной фазы: σ_{dp} : Данная ключевая характеристика описывается следующим уравнением:

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{1}{C} \left(\sum_{A(i)_n > A_t} \Phi(i)_{NL}^2 \right) - \left(\frac{1}{C} \sum_{A(i)_n > A_t} \Phi(i)_{NL} \right)^2}, \quad (9)$$

В отличие от σ_{ap} , данная характеристика применяется для различения тех сигналов, которые содержат «прямую» фазовую информацию, и сигналов, которые не содержат такую информацию. В случае цифровых сигналов 2ASK и 4ASK значение мгновенной фазы постоянная величина, поэтому данная характеристика применяется для различения 2ASK, 4ASK и остальных видов цифровых модуляций.

Стандартная девиация абсолютного значения нормированной центрированной мгновенной амплитуды: σ_{aa} . Мгновенная амплитуда цифрового 2ASK сигнала имеет два одинаковых значения с противоположными знаками, а мгновенная амплитуда 4ASK сигнала имеет четыре различных значения, что означает, что этот сигнал содержит абсолютную амплитудную информацию. Следовательно, σ_{aa} используется для различения сигналов 2ASK и 4ASK. Данная ключевая характеристика описывается следующим уравнением:

$$\sigma_{aa} = \sqrt{\frac{1}{N_s} \left(\sum_{i=1}^{N_s} A(i)_{cn}^2 \right) - \left(\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} |A(i)_{cn}| \right)^2}, \quad (10)$$

где N_s – это количество точек сегмента сигнала, а $A(i)_{cn}$ – нормированная центрированная амплитуда, которая вычисляется уравнением (2).

Стандартная девиация абсолютного значения нормированной-центрированной мгновенной частоты: σ_{af} . Для различения видов модуляции 2FSK и 4FSK применяется характеристика σ_{af} , которая описывается следующим уравнением:

$$\sigma_{af} = \sqrt{\frac{1}{C} \left(\sum_{A(i)_n > A_t} f(i)_{NC}^2 \right) - \left(\frac{1}{C} \sum_{A(i)_n > A_t} |f(i)_{NC}| \right)^2}, \quad (11)$$

где $f(i)_{NC}$ является нормированно-центрированной частотой сигнала, C – количество тех точек, для которых $A(i)_n > A_t$; в уравнении (11) $f(i)_{NC}$ описывается следующим образом:

$$f(i)_{NC} = \frac{f(i)_m}{r_s}, \quad (12)$$

где r_s частота символов, а $f(i)_m$ усредненная мгновенная частота сигнала. Поскольку нормированная-центрированная частота 2FSK сигнала имеет два одинаковых значения противоположного знака, то отсюда следует, что абсолютное значение мгновенной частоты является постоянным значением. В свою очередь, 4FSK сигнал содержит информацию об абсолютной частоте, что и является отличительной особенностью сигналов 2FSK и 4FSK.

Среднее значение нормированной мгновенной амплитуды: E_m . Данная ключевая характеристика сигнала была специально разработана для различения видов модуляций M-PSK и M-QAM. Мгновенная амплитуда цифровых модулированных сигналов M-PSK имеет постоянное значение, а в случае M-QAM вида модуляций мгновенные значения амплитуды являются переменными, например, в случае модуляции 16QAM абсолютная амплитуда имеет три разных

значения. Данное уравнение было разработано для расчета ключевой характеристики E_m :

$$E_m = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} A(i)_{n_{max}}, \quad (13)$$

где $A(i)_{n_{max}}$ нормированное значение мгновенной амплитуды сигнала, которое нормируется по максимальному значению и характеризуется следующим уравнением:

$$A(i)_{n_{max}} = \frac{A(i)}{A(i)_{max}}, \quad (14)$$

где $A(i)$ мгновенное значение амплитуды, а $A(i)_{max}$ максимальное значение мгновенной амплитуды.

Плотность распределения мгновенной фазы: φ_{dq} . Эта характеристика сигнала была разработана и предназначена для идентификации разных видов M-PSK цифровой фазовой модуляции. Данная характеристика описывает частоту повторения значений мгновенной фазы по всему диапазону значений.

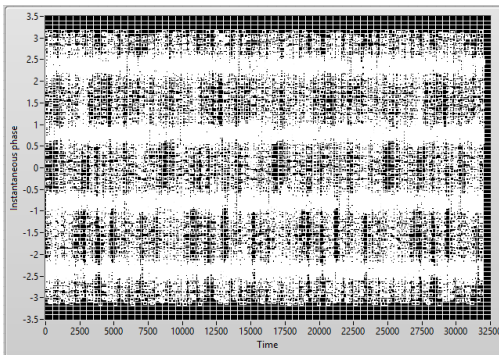


Рис. 2 График мгновенной фазы PSK сигнала, представленный через составляющие точки

На графике зависимости мгновенной фазы от времени можно четко распознать четыре горизонтальные линии, которые указывают, что мгновенная фаза сигнала изменяется четыре раза.

Следовательно, можно сделать вывод, что в случае других фазово-модулированных сигналов количество соответствующих линий будет свидетельствовать о количестве изменений в фазе сигнала, то есть о значении M . Таким образом, следующее уравнение было разработано для вычисления данной ключевой характеристики:

$$\varphi_{dq} = \sum_{i=0}^{N-1} H_i, \quad (15)$$

$$H_i = \begin{cases} 1, & h_i(\varphi) > h_{i-m}(\varphi) \\ 0, & h_i(\varphi) > h_{i-m}(\varphi) \end{cases},$$

где $h_i(\varphi)$ - это i -ый член последовательности гистограммы мгновенной фазы $h(\varphi) = \{h_0(\varphi), h_1(\varphi), \dots, h_{N-1}(\varphi)\}$, а $h_{i-m}(\varphi)$ среднее значение этой последовательности и определяется следующим уравнением:

$$h_{i-m}(\varphi) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} h_i(\varphi). \quad (16)$$

Плотность распределения мгновенной амплитуды: A_{dq} . Данная ключевая характеристика была разработана для обнаружения порядка модуляции для M-QAM вида цифровой модуляции.

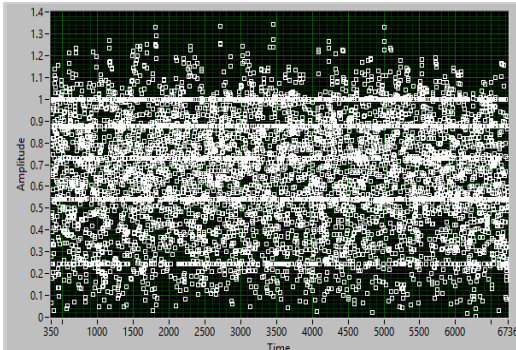


Рис. 3 График зависимости амплитуды 32QAM сигнала от времени

На рисунке 3 изображен график амплитуды модулированного сигнала 32QAM, представленный составляющими точками. На рисунке четко показаны 5 линий, которые соответствуют значениям плотности распределения

мгновенной амплитуды в заданном диапазоне. Следовательно, при рассмотрении графика мгновенной амплитуды сигнала можно увидеть количество изменений мгновенной амплитуды, соответствующих значению M данной модуляции. Данная ключевая характеристика описывается следующим уравнением:

$$A_{dq} = \sum_{i=0}^{N-1} H_i, \quad (17)$$

$$H_i = \begin{cases} 1, & h_i(A) > h_{i-m}(A) \\ 0, & h_i(A) \leq h_{i-m}(A) \end{cases},$$

где $h_i(A)$ -это i -ый член последовательности гистограммы мгновенной амплитуды $h(A) = \{h_0(A), h_1(A), \dots, h_{N-1}(A)\}$, а $h_{i-m}(A)$ среднее значение этой последовательности и описывается следующим уравнением:

$$h_{i-m}(A) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} h_i(A). \quad (18)$$

Таким образом, рассматриваемые ключевые характеристики, предусмотренные для идентификации видов цифровых сигналов, соответственно предназначены для различения следующих видов модуляций:

- γ_{max} – 2FSK, 4FSK и остальные виды цифровых модуляций
- σ_{ap} – BPSK, 2ASK, 4ASK и остальные виды цифровых модуляций
- σ_{dp} – 2ASK, 4ASK и остальные виды цифровых модуляций
- σ_{aa} – 2ASK и 4ASK виды модуляций
- σ_{af} – 2FSK и 4FSK виды модуляций
- E_m – PSK и QAM виды модуляций
- φ_{dq} – BPSK, QPSK, 8PSK виды модуляций
- A_{dq} – 16QAM, 32QAM, 64QAM виды модуляций

В результате изучения вышеупомянутых ключевых характеристик оказалось, что: (а) с помощью ключевой характеристики E_m также можно отличать сигналы M-FSK от других видов модуляций, кроме видов M-PSK, поскольку при этих видах модуляции средняя амплитуда равна 1, а при остальных - меньше 1. Виды модуляции M-FSK можно отличить от видов M-PSK с помощью информации о фазе, полученной через ключевую характеристику φ_{dq} , которая всегда имеет определенное значение для фазово-модулированных сигналов, б) через разработанную характеристику φ_{dq} можно выполнить функцию характеристик σ_{ap}, σ_{dp} предложенную Азузом и Нанди, поскольку фаза сигнала будет иметь два значения для сигнала BPSK и одно значение для сигналов 2ASK и 4ASK, что позволит отличать сигналы BPSK, 2ASK, 4ASK от других типов модуляций и виды модуляций 2ASK, 4ASK от вида модуляций BPSK, в) через разработанную характеристику A_{dq} выполнить функцию характеристик σ_{aa} , поскольку мгновенная амплитуда сигнала имеет два значения для 2ASK сигнала и 4 значения для 4ASK сигнала, что позволяет различать сигналы 2ASK и 4ASK. Следовательно, благодаря разработанным ключевым характеристикам вместо восьми характеристик, предусмотренных в данной работе для идентификации видов цифровой модуляции можно применить четыре ключевые характеристики.

Глава 4 посвящена описанию разработанного программного обеспечения и результатам экспериментов. Для проверки осуществимости выбранной технологии идентификации в среде графического программирования LabVIEW была разработана базовая модель искусственной нейронной сети, которая предназначена для выполнения простых расчетов и решения простой задачи идентификации четырех видов сигналов. В результате разработки данного кода был предложен новый метод принятия окончательного решения искусственной нейронной сети, который позволяет избежать дополнительных расчетов. После обоснования

осуществимости программного обеспечения была проведена тестовая реализация метода идентификации для аналоговых и цифровых видов модуляций.

Таким образом, усредненные значения результатов 100 экспериментов, выполненных с помощью разработанного программного обеспечения, предназначенного для идентификации аналоговых видов модуляций, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Точность идентификации аналоговых типов модуляций

SNR	DSB, %	LSB, %	USB, %	FM, %
Inf.	100	100	100	100
20 dB	100	100	100	100
15 dB	100	100	100	100
10 dB	100	100	100	100
5 dB	100	100	100	100

Как видно из результатов, представленных в Таблице 1, с помощью разработанного метода удалось добиться отличных результатов автоматической идентификации аналоговых видов модуляций.

Для каждого из рассматриваемых видов цифровой модуляций также было выполнено 100 попыток идентификации, результаты которых представлены в таблице 2.

Таблица 2. Точность идентификации цифровых модуляций

Вид модуляций	SNR=20dB	SNR=15dB	SNR=10dB	SNR=5dB
2ASK, %	100	100	99	98
4ASK, %	100	100	98	99
2FSK, %	100	100	97	97
4FSK, %	100	100	99	98
BPSK, %	100	100	100	99
QPSK, %	100	100	100	99
8PSK, %	100	100	100	98
16QAM, %	100	100	99	97
32QAM, %	100	100	98	95
64QAM, %	100	100	98	93

Таким образом, в результате экспериментальных работ, были получены точные результаты для идентификации видов цифровой модуляции. Поскольку для каждого вида модуляции было проведено одно обучение, то можно повысить точность результатов путем увеличения количества обучений, предоставляя ИНС доступ к значениям ключевых характеристик, отделенных от генерируемых сигналов в случае различных SNR.

Заключение

1. Каждый вид модуляций имеет свои физические параметры, которые могут быть рассчитаны и применены в виде ключевых характеристик сигналов. В результате расчета некоторых ключевых характеристик для двух видов модуляций возможно получить очень близкие или равные значения, но не существует таких двух видов модуляций, все описанные основные характеристики которых имеют одинаковые значения.

2. Разработаны ключевые характеристики, предназначенные для идентификации видов цифровых модуляций M-PSK и M-QAM, которые предоставляют возможность различить перечисленные виды модуляций с большой точностью. В результате разработки этих характеристик было обнаружено, что они также могут применяться для идентификации других видов цифровых модуляций, поскольку они выполняют функции ранее разработанных и широко применяемых ключевых характеристик для идентификации этих видов. Эти ключевые характеристики были внедрены компанией OLYMP Engineering в системах Blind Demodulator, применяемых в телекоммуникационных сетях Индии. Таким образом для идентификации десяти видов цифровых модуляций вместо восьми характеристик, были применены четыре, что позволило оптимизировать применяемые ключевые характеристики и избежать дополнительных расчетов.

3. Впервые был проведен сравнительный анализ технологий идентификации данных, используемых для автоматического распознавания модуляций (АРМ), в результате чего была определена подходящая, осуществимая и эффективная технология для данной работы. В рамках проведенного анализа были описаны преимущества и недостатки всех технологий, используемых для решения задачи АРМ, которые в дальнейших работах могут послужить основой для выбора подходящей технологии идентификации данных.

4. В программной среде LabVIEW разработан программный код искусственной нейронной сети, для которой был предложен новый метод принятия окончательного решения идентификации. Этот метод позволил избежать дополнительных расчетов, что стало эффективным решением для разработанного программного кода.

5. Было проведено обучение разработанной сети для аналоговых и цифровых видов модуляций с целью в дальнейшем идентифицировать виды модуляций сигналов с помощью искусственной нейронной сети. Разработанная сеть научилась различать четыре вида аналоговых модуляций всего за 7,94 секунды и десять видов цифровых модуляций за 10,14 секунды.

6. Разработан программный код метода параллельной идентификации видов аналоговых и цифровых модуляций, с помощью которого были получены точные результаты идентификации. Для аналоговых видов модуляций при SNR=5dB была получена 100% точность идентификации, а для цифровых видов модуляций при SNR=5dB самая низкая точность идентификации составила 93% для вида модуляций 64QAM. Для других видов цифровой модуляции при SNR=5dB точность идентификации в среднем составляет 97,7%.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.Г. Гулян, О.Ж. Севоян, А.М. Тантушян. Искусственные нейронные сети и их применение в автоматическом распознавании модуляций // Известия НАН РА и НПУА. Серия Тех. Науки. - 2017. - Т. 70, №3. - С. 358-365.
2. А.Г. Гулян, О.Ж. Севоян, А.М. Тантушян. Автоматическое распознавание четырех видов симулированных сигналов с помощью искусственной нейронной сети // Известия НАН РА и НПУА. Серия Тех. Науки.- 2017. - Т. 70, №4. - С. 467-471.
3. А.М. Тантушян. Методы автоматического распознавания модуляций и их сравнительный анализ // Известия НАН РА и НПУА. Серия Техн. науки. – 2018. – Т. – 71, №2., С. 195-202
4. А.М. Тантушян. Извлечение и расчет ключевых характеристик сигнала для классификации аналоговых модуляций // Вестник РАУ. Серия: Физико-математические и естественные науки. – 2018. - №2, С. 64-76
5. А.М. Tantushyan. An algorithm for analog modulation classification // Proceedings of NPUA, Information technologies, electronics, radio engineering. – 2018. - №2, p. 95-102
6. А.Г. Гулян, О.Ж. Севоян, А.М. Тантушян. Ключевые характеристики цифровых сигналов для автоматического распознавания вида манипуляций телекоммуникационных сигналов// ВЕСТНИК ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ АРМЕНИИ. Сборник научно-технических статей. - 2018. - Т. 15, №4. - С. 602-605.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ներկայումս սրընթաց զարգացող տեխնոլոգիաներին զուգահեռ բարելավվում և կատարելագործվում են հեռահաղորդակցական ցանցերը, անլար կապի համակարգերը և ռադիոտեխնիկական սարքավորումները, ինչի հետևանքով վերջիններս ավելի լայն և նոր կիրառություն են ստանում բազմատեսակ ոլորտներում: Հեռահաղորդակցական ցանցերի այսպիսի լայնածավալ կիրառությունը այս ոլորտի ինժեներների և գիտահետազոտական գործունեություն ծավալող մասնագետների համար առաջացնում են այնպիսի խնդիրներ ինչպիսիք են կապի որակի բարելավումը, անվտանգության ապահովումը, տվյալների հաղորդման արագության բարձրացումը, ռադիոհաճախականային սպեկտրի արդյունավետ բաշխումը և այլն: Ինչպես հայտնի է հեռահաղորդակցական ցանցերում կապի խանգարումների պատճառ են հանդիսանում ոչ միայն շրջակա միջավայրի կոմից առաջացած և ռադիոտեխնիկական սարքավորումների ներդրած աղմուկները այլ նաև կողմնակի անհայտ ազդանշանները: Ռադիոհաճախականային սպեկտրի մոնիթորինգի ընթացքում անհրաժեշտություն է առաջանում հայտնաբերել չլիզենցավորված ռադիոհաղորդիչների կողմից անօրինականորեն հաղորդվող, ռազմական ռադիոէլեկտրոնային հետախուզության տեսանկյունից «վտանգի» մասին տեղեկատվություն պարունակող և այլ անհայտ ազդանշանները: Վերոնշյալը արդիական խնդիր է կապի համակարգերի համար և այդ խնդրի լուծումներից մեկը անհայտ հեռահաղորդակցական ազդանշանների մոդուլացման տեսակների նույնականացումն է: Ազդանշանի մոդուլացման տեսակի նույնականացման համակարգերը նախատեսված են ավտոմատացված կերպով ճանաչել հայտնաբերված անհայտ ազդանշանի մոդուլացման տեսակը և փոխանցել այդ տեղեկատվությունը դեմոդուլյատորին: Այս համակարգերը բաղկացած են երեք հիմնական բլոկերից, որոնք են հայտնաբերված ազդանշանի մշակումը, մոդուլացման տեսակի նույնականացումը և դեմոդուլացման բլոկը: Արդյունավետ նույնականացման հիմնական գրավականները ազդանշանների հիմնական բնութարող հատկանիշների ճշգրիտ մշակումն ու առանձնացումն են: Ցանկացած մոդուլացման տեսակ ունի իր առանձնահատկությունը բնութարող հատկանիշներ, որոնց արժեքները հիմնականում տարբերվում են այլ մոդուլացման տեսակների համար հաշվարկված միևնույն հիմնական բնութարերի արժեքներից: Առաջին բլոկում իրականացվող ազդանշանների հիմնական բնութարերի արժեքների հաշվարկից հետո հարկավոր է դրանց համադրության և համապատասխան տեխնոլոգիայի միջոցով կատարել մոդուլացման տեսակի նույնականացումը: Վերոնշյալի իրականացման համար գոյություն ունեն բազմաթիվ տվյալների դասակարգման տեխնոլոգիաներ, որոնք մշակված են կոնկրետ խնդիրների լուծման համար, ունեն իրենց առավելություններն ու թերությունները, իրականացման բարդությունները:

Սույն առենախոսությունը նվիրված է անալոգային և թվային մոդուլացման տեսակների ավտոմատացված նույնականացման մեթոդի մշակմանը և

հետազոտմանը՝ ներկայիս տեխնոլոգիական զարգացման և հնարավորությունների պարագայում:

Աշխատանքի ընթացքում իրականացվել է ազդանշանների մոդուլացման տեսակների նույնականացման խնդրի շուրջ նախկինում կատարված աշխատանքների, մշակված մեթոդների և ալգորիթմների ուսումնասիրությունը, ինչի արդյունքում բացահայտվել են դեռ չլուծված և ուշադրության արժանի խնդիրները:

Մոդուլացման տեսակների նույնականացման մեթոդի մշակման նպատակով կատարվել է տվյալների նույնականացման առկա տեխնոլոգիաների ուսումնասիրություն և համեմատական վերլուծություն, ինչի արդյունքները հնարավորություն են տվել սահմանել այդ տեխնոլոգիաների մոդուլացման տեսակների նույնականացման շրջանակում կիրառման նպատակահարմարությունը և արդյունավետության չափանիշները: Արդյունքում որոշվել է տվյալ աշխատանքում իրականացվող մոդուլացման տեսակների նույնականացման մեթոդի շրջանակներում կիրառվող նույնականացման տեխնոլոգիան՝ արիեստական նեյրոնային ցանցը, և մշակվել է վերջինիս ծրագրային ապահովումը, որի համար առաջարկվել է նույնականացման վերջնական որոշման կայացման նոր մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս խուսափել լրացուցիչ ծրագրավորումից և հաշվարկներից:

Դիտարկվող թվային M-PSK, M-QAM մոդուլացման տեսակների նույնականացման համար մշակվել են նոր հիմնական բնութագրող հատկանիշներ: Այս բնութագրերը հնարավորություն են տվել օպտիմալացնել նախկինում թվային մոդուլացման տեսակների նույնականացման համար կիրառվող հիմնական բնութագրերը, քանի որ դրանք կատարում են նաև այլ մոդուլացման տեսակների ճանաչման համար օգտագործվող որոշ բնութագրող հատկանիշների գործառույթը, ինչի արդյունքում տասը մոդուլացման տեսակների նույնականացման համար ութ բնութագրերի փոխարեն կիսովել են չորսը:

Շեռահաղորդակցական ազդանշանների մոդուլացման տեսակների նույնականացման մշակված մեթոդի կիրառական փորձարկման նպատակով LabVIEW ծրագրավորման միջավայրում մշակվել է համապատասխան ծրագրային ապահովում, որի միջոցով կատարվել են նույնականացման փորձեր և անալոգային մոդուլացման տեսակների համար ստացվել են անթերի ճշտությամբ արդյունքներ, իսկ թվային մոդուլացված ազդանշանների նույնականացման դեպքում արդյունքների ճշտությունը միջինում կազմել է 95.35%:

Շեռահաղորդակցական ազդանշանների մոդուլացման տեսակների նույնականացման մշակված մեթոդի կիրառական փորձարկման նպատակով LabVIEW ծրագրավորման միջավայրում մշակվել է համապատասխան ծրագրային ապահովում, որի միջոցով կատարվել են նույնականացման փորձեր և անալոգային մոդուլացման տեսակների համար ստացվել են անթերի ճշտությամբ արդյունքներ, իսկ թվային մոդուլացված ազդանշանների նույնականացման դեպքում արդյունքների ճշտությունը միջինում կազմել է 95.35%:

SUMMARY

Currently in parallel with rapidly developing technologies, telecommunication networks, wireless telecommunication systems and radio equipment are advancing and developing, resulting in widespread and new application of the latter in different spheres. For engineers and researchers in the field such wide use of telecommunications networks creates issues such as communication quality improvement, security, speed of data transmission, effective distribution of radio frequency spectrum etc.

As it is known communication disruptions in telecommunication networks are caused not only by environmental and radio equipment noise, but also by unknown signals. During monitoring of radio frequency spectrum, it is necessary to detect signals illegally transmitted by unlicensed radio transmitters, which contain information on “danger” from the perspective of military electronic intelligence and other unknown signals. The abovementioned is a topical issue for communication systems and one of the solutions to this issue is the identification of the types of unknown telecommunication signals.

Systems of identification of modulation type of a signal are designed to automatically detect the modulation type of the detected unknown signal and transmit such information to the demodulator. These systems are composed of three main blocks: processing of detected signal, modulation type identification, and demodulation unit. The main guarantees for effective identification are the accurate processing and separation of signal key features.

Any modulation type has its key features, the values of which are essentially different from the same key feature values calculated for different types of modulation. After calculating the key feature values of the signals in the first block, identification of the modulation type through combination and appropriate technology is required.

There are numerous data classification technologies that are designed to address specific issues, have advantages and disadvantages, as well implementation complexity.

This dissertation is dedicated to the development and research of the automatic identification of analog and digital modulation types in the context of current technological development and possibilities.

Within the framework of this work the study of previous works related to the modulation type identification issue, developed methods and algorithms has been performed, as a result of which unresolved and noteworthy issues have been identified. For the purpose of developing a modulation type identification method a study of current data identification technology and comparative analysis has been performed in to develop the modulation species identification method, the results of which have allowed to define the expediency and effectiveness criteria for the application of these technologies in the identification of the types of modulation.

As a result in the given work artificial neural network identification technology has been chosen in the framework of method of identification of modulation types and software for the latter has been developed for which a new method of final identification decision is proposed, which allows to avoid additional programming and calculations.

New key features have been developed for the identification of the digital M-PSK and M-QAM modulation types. These features have enabled optimization of the key characteristics used for the identification of previously existing types of digital modulation, as they also perform the function of some key features used to identify other types of modulation. As a result, instead of eight features four features have been used for identification of ten modulation types.

For the purpose of application of the developed telecommunication signal modulation type identification method a software has been developed in the LabVIEW programming environment, which has been used to make identification experiments and results of impeccable accuracy have been obtained for analog modulation types and for digital modulated signals the accuracy of the results was 95.35% on average.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher but appears to be a personal name.