

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА МОДУЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ

Смирнов М.А. (slider@pochta.ru), Сергиенко А.Б. (sandy@ieee.org), Натальин А.Б. (ABNatalyin@yandex.ru).

Санкт-Петербургский Электротехнический Университет,
ул. профессора Попова 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия

Введение

В общем случае задача контроля безопасности радиосвязи подразумевает полный технический анализ сигналов, полученных из эфира. Задачу технического анализа сигналов можно разделить на три основные подзадачи в зависимости от глубины анализа:

1. определение вида модуляции;
2. определение параметров сигнала;
3. определение системы связи.

Задача определения вида модуляции требует четкого указания набора анализируемых сигналов и построения пространства признаков достаточной размерности, чтобы можно было однозначно определить принадлежность сигнала к конкретному типу. Наиболее хорошо укладываемыми в данную схему являются спектрально эффективные цифровые виды модуляции (частотная и фазовая манипуляция), хуже обстоит дело с амплитудной манипуляцией, что обусловлено низкой спектральной эффективностью данного вида модуляции. Под амплитудной манипуляцией в данном случае понимается классическая схема формирования сигнала амплитудной телеграфии, когда модулирующий сигнал является однополярным.

Для выделения признаков аналогового вида модуляции требуется достаточно большая длительность анализируемого фрагмента сигнала, что связано со свойствами модулирующих сигналов (в подавляющем большинстве случаев это человеческая речь).

Длина анализируемого фрагмента для цифровых сигналов определяется в первую очередь символьной скоростью модуляции, так как для уверенного выделения отличительных признаков требуется как минимум несколько сотен символов.

Вторая задача (определение параметров сигнала) становится наиболее важной в случае необходимости дальнейшего приема классифицированного сигнала и попытки произвести по этим данным выявление конкретной системы связи, к которой относится передаваемый сигнал.

Третья задача (определение системы связи) является самым глубоким уровнем технического анализа. Успешность завершения решения данной задачи целиком и полностью зависит от полноты и целостности информации о параметрах и свойствах системы связи, однозначно отличающих ее от других. Решение данной задачи зачастую невозможно без демодуляции и декодирования сигналов системы. Это предъявляет серьезные требования к производительности вычислительной части комплекса контроля и повышает уровень сложности программного обеспечения.

В рамках этой статьи будет рассмотрен алгоритм технического анализа, позволяющий автоматически распознавать сигналы с простыми (не составными) видами модуляции. Данный алгоритм классификации сигналов получает на входе последовательность комплексных отсчетов (синфазная и квадратурная компоненты) и информацию о частоте дискретизации сигнала. После определения вида модуляции может быть проведена оценка параметров сигнала, но рассмотрение вопросов измерения параметров известных типов радиосигналов выходит за рамки данной статьи.

Описание алгоритма

Прежде всего опишем набор ограничений, налагаемых на параметры сигналов, подлежащих классификации в рамках разрабатываемого алгоритма. Классификации подлежит следующий набор сигналов: белый шум, немодулированная несущая, сигналы с одной боковой полосой (верхней, ВБП, и нижней, НБП), амплитудно-модулированные (АМ), частотно-модулированные (ЧМ), сигналы с амплитудной телеграфией (АТ), двух- и четырехпозиционной частотной телеграфией (ЧТ2 и ЧТ4 соответственно), а также с двух- и четырехпозиционной относительной фазовой телеграфией (ОФТ2 и ОФТ4 соответственно).

Предполагается, что при аналоговых видах модуляции в качестве модулирующего сигнала используется человеческая речь. Все цифровые сигналы, за исключением АТ, отфильтрованы формирующим фильтром и имеют скорость тактирования не менее 200 Гц. Сигналы подаются на вход алгоритма классификации в виде комплексной огибающей и могут иметь несущую частоту, не равную нулю, вследствие неточной настройки приемника либо несовершенства радиоприемной аппаратуры.

Обобщенная блок-схема алгоритма классификации представлена на рис. 1. Как хорошо видно из рисунка, алгоритм имеет строго последовательную структуру, где на каждом шаге после вычисления некоего параметра принимается решение о принадлежности сигнала к одному из возможных наборов типов модуляции. По окончании работы алгоритма обязательно принимается решение либо о принадлежности сигнала к конкретному типу модуляции, либо о том, что сигнал не распознан.

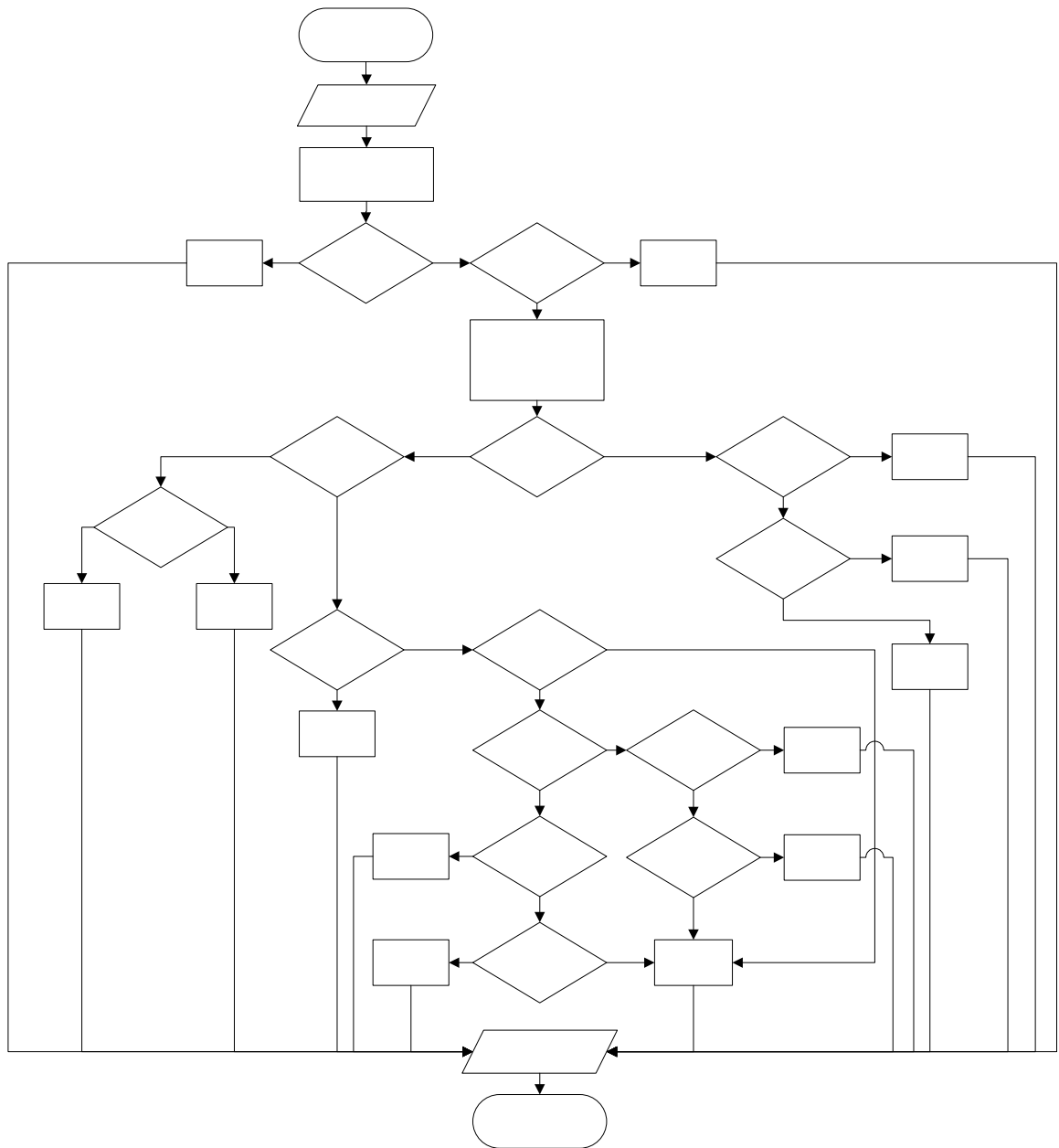


Рис. 1. Обобщенная блок-схема алгоритма технического анализа сигналов

На первом этапе алгоритм классификации отсеивает шум и немодулированную несущую. Для этих целей производится расчет модуля односторонней нормированной автокорреляционной функции комплексного входного сигнала. Усредненный коэффициент корреляции можно рассчитать по первым 100 отсчетам полученной АКФ, найдя их среднее значение (без учета нулевого коэффициента). Учитывая тот факт, что коэффициент корреляции у белого гауссового шума очень низкий, а у несущей, напротив, большой, можно легко выбрать пороги для принятия решения ($Th_{\text{шума}}$ и $Th_{\text{ГК}}$ для шума и гармонического колебания соответственно). Далее с использованием авторегрессионной модели рассчитывается оценка спектральной плотности мощности (СПМ) входного сигнала. Выбор порядка модели — вопрос весьма сложный [1], так как напрямую зависит от сигнала, СПМ, которого мы хотим оценить. Не вдаваясь в подробности, отметим, что для большинства случаев достаточно, чтобы он не превышал 40. Затем по СПМ производится оценка ширины полосы сигнала и количества пиков в ней. В случае, если ширина полосы сигнала не превышает 100 Гц, производится тестирование на стационарность по частоте и амплитуде. Тест на стационарность [2] по частоте проводится по значениям мгновенной частоты, полученным с использованием авторегрессионной модели второго порядка [3], а тест на стационарность по амплитуде — по абсолютному значению амплитуды входного комплексного сигнала. Так как человеческая речь — нестационарный во времени процесс, тест на стационарность по частоте даст отрицательный результат в случае наличия на входе классификатора ЧМ-сигнала. А стационарность по частоте и нестационарность по амплитуде приведет к принятию решения в пользу АМ-сигнала. В случае наличия стационарности по обоим критериям будет вынесено решение о наличии на входе классификатора сигнала с амплитудной

телеграфией. Для более широкополосных сигналов отрицательный результат теста на стационарность по амплитуде будет означать наличие на входе сигналов с ОБП. Разделение сигналов с ОБП на ВБП и НБП легко осуществить, произведя оценку симметрии спектра. Чтобы не пропустить широкополосные ЧМ-сигналы, сразу после теста на стационарность по амплитуде проводится тест на стационарность по частоте. Если сигнал стационарен по частоте, а количество пиков в спектре равняется единице, то выносится предположение о том, что сигнал относится к одному из видов ОФТ. Решение о конкретном типе ОФТ (ОФТ2 или ОФТ4) принимается по картине созвездия. При помощи алгоритма кластеризации [4, 5] производится оценка количества точек созвездия. Данная оценка производится только после приблизительной оценки символьной скорости, несущей частоты и окончания работы системы ФАПЧ, которая компенсирует вращение созвездия на комплексной плоскости из-за возможного наличия несущей частоты от нуля. Рассмотрение данных методик выходит за рамки данной статьи. Если же пиков два или четыре, то принимается решение о наличии соответственно двух- или четырехпозиционной частотной телеграфии. Если в спектре сигнала обнаруживается другое число пиков, принимается решение о наличии сигнала с неизвестным видом модуляции.

Заключение

Данный алгоритм был реализован и протестирован как на искусственно смоделированных, так и на реальных эфирных сигналах, и показал достаточно высокую помехоустойчивость. Наиболее хорошие результаты, как и предполагалось, достигнуты для частотно эффективных цифровых видов модуляции, и даже АТ при достаточно большом индексе модуляции распознавалась достаточно уверенно. Тонким местом данного алгоритма являются тесты на стационарность, так как выявление нестационарности в речевых сигналах требует достаточно много времени и исключения пауз между произносимыми словами, да и наличие шума сильно влияет на коэффициент стационарности.

Литература

1. С. Л. Марпл-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. — М.: Мир, 1990.
2. А. Н. Лебедев, М. С. Куприянов, Д. Д. Недосекин, Е. А. Чернявский. Вероятностные методы в инженерных задачах. — СПб.: Энергоатомиздат, 2000.
3. K. Assaleh, K. Farrell and R. J. Mammone. A new method of modulation classification for digitally modulated signals, Proc. MILCOM'92, vol. 2, pp. 712–716, 1992.
4. Seber G. A. F. Multivariate Observations. — Wiley, New York, 1984.
5. Spath H. Cluster Dissection and Analysis: Theory, FORTRAN Programs, Examples. — Halsted Press, New York, 1985

