

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ЗАДАНЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ ПРИ ИХ ОПИСАНИИ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛЬЮ В ВИДЕ СМЕСИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

В.М. БЕЗРУК, К.А. ЕВСЕЕВ, А.В. ЧЕБОТОВ

Рассмотрено решение задачи распознавания заданных видов модуляции радиосигналов как задачи селекции и распознавания классов радиосигналов с заданными видами модуляции при наличии класса сигналов с неизвестными видами модуляции. Предложен метод распознавания, основанный на описании классов радиосигналов с заданными видами модуляции вероятностной моделью в виде смеси распределений. Приведены результаты исследований, проведенных путем статистического моделирования на выборках радиосигналов с типовыми видами модуляции.

Solving the problem of identifying the given types of radio signal modulation as the problem of selecting and identifying classes of radio signals with the given types of modulation in the presence of a class of signals with unknown types of modulation is considered. An identification method based on the description of classes of radio signal by a probabilistic model in the form of a mixture of distribution is suggested. The results of investigations performed by statistical simulation using samples of radio signals with standard types of modulation are given.

Введение

В условиях возрастающей загрузки радиочастотного спектра при проведении автоматизированного радиоконтроля возрастает актуальность применения современных методов и средств обработки сигналов [1, 2]. Одной из важных и специфичных задач радиоконтроля является распознавание заданных видов модуляции (ВМ) радиосигналов. Эта более сложная задача по сравнению с задачей распознавания видов радиопередач радиосигналов с фиксированными видами и параметрами модуляции. Сложность обусловлена тем, что здесь распознаванию подлежат целые классы сигналов - радиосигналов с заданными ВМ и разными допустимыми значениями параметров модуляции. Решение такой задачи в общем виде неизвестно, в работе [3] рассмотрен лишь частный случай определения трех видов модуляции (амплитудной, частотной и фазовой) по виду фазового спектра для полностью известных радиосигналов. Распознавание заданных ВМ радиосигналов в реальных условиях радиоконтроля затрудняется из-за случайного характера передаваемых сообщений, действия помех, а также появления радиосигналов с новыми неизвестными ранее ВМ, для которых отсутствуют необходимые априорные сведения.

В данной работе указанную задачу предлагается решать статистическими методами распознавания сигналов как задачу селекции и распознавания классов радиосигналов с заданными ВМ при наличии класса сигналов с неизвестными ВМ. При этом общий вид алгоритма селекции и распознавания заданных сигналов, рассмотренный в работах [4, 5], конкретизирован с учетом описания классов радиосигналов с заданными ВМ вероятностной моделью в виде смеси распределений [6, 7]. Приводятся результаты исследований, полученные методом статистического моделирования на выборках радиосигналов с типовыми видами модуляции, характерными для задач радиоконтроля.

1. Постановка задачи

Полагается, что на распознавание предъявляются радиосигналы с разными видами модуляции. Необходимо выделить и распознать радиосигналы с M заданными ранее ВМ и отнести в $M+1$ -й класс радиосигналы с неизвестными ВМ. Решение о ВМ принимается по реализациям радиосигналов в виде последовательности отсчетов квадратурных составляющих $\xi(k) = (A_c(k), A_s(k))$, $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$, получаемых с выхода цифрового радиоприемного устройства (ЦРПУ). Вероятностные характеристики распознаваемых сигналов неизвестны, однако для радиосигналов с заданными ВМ могут быть получены классифицированные обучающие выборки реализаций $(\xi_r^i(k), k = 0, N-1, r = 1, n_i, i = 1, M)$. Заданы априорные вероятности предъявления сигналов P_i , причем $\sum_{i=1}^{M+1} P_i = 1$. Требуется синтезировать алгоритмы автоматического распознавания заданных ВМ радиосигналов при сформулированных условиях.

2. Вероятностная модель для описания радиосигналов с заданными видами модуляции

При решении поставленной задачи важным является выбор адекватной математической модели сигналов, которая описывает радиосигналы с заданными ВМ и на основе которой строится алгоритм их распознавания. Для конкретности будем рассматривать задачу распознавания радиосигналов с типовыми ВМ, которые приведены в таблице.

№ пп	Типовые виды модуляции радиосигналов
1	Двухпозиционная частотная манипуляция (ЧМ2)
2	Двухпозиционная фазовая манипуляция (ФМ2)
3	Четырехпозиционная фазовая манипуляция (ФМ4)
4	Амплитудная манипуляция (АТ)
5	Шестнадцатипозиционная квадратурная амплитудная манипуляция (КАМ16)
6	Немодулированная несущая (NON).

Будем полагать, что для приема радиосигналов используется цифровое радиоприемное устройство (ЦРПУ), включающее линейный тракт фильтрации и усиления, аналого-цифровой преобразователь и квадратурный детектор [8]. При этом принимаемые радиосигналы представляются последовательностью отсчетов квадратурных составляющих $A_c(k)$ и $A_s(k)$:

$$A_c(k\Delta t) = A(k\Delta t) \cos[\varphi(k\Delta t) + \varphi_0];$$

$$A_s(k\Delta t) = A(k\Delta t) \sin[\varphi(k\Delta t) + \varphi_0], \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Здесь $A(k\Delta t)$ и $\varphi(k\Delta t)$ — дискретные отсчеты медленно меняющихся амплитуды и фазы комплексной огибающей радиосигналов, взятые в дискретные моменты времени $k\Delta t$; $\Delta t = \frac{1}{\Delta F}$ — интервал дискретизации сигналов по времени, ΔF — ширина спектра радиосигнала, φ_0 — начальная фаза.

При выборе такого исходного описания для каждого радиосигнала с конкретным видом модуляции формируются характерные образы — некоторые собственные области, определяемые проекциями отсчетов квадратурных составляющих $A_c(k)$ и $A_s(k)$ в двумерном пространстве. Для иллюстрации на рис. 1 показаны проекции отсчетов квадратурных составляющих в координатах (A_c, A_s) для радиосигналов, описанных в таблице. При этом передаваемыми сообщениями служили случайные последовательности нулевых и единичных посылок, описываемые математической моделью в виде псевдослучайного телеграфного сигнала. Кроме того, радиосигналы наблюдались на фоне помехи в виде гауссовского белого шума. Нетрудно увидеть, что эти проекции определяют характерные области, форма которых отличается для радиосигналов с разными ВМ. На рис. 1 приведены также гистограммы распределений значений квадратурных составляющих сигналов по каждой из координат.

Из физического содержания поставленной задачи, а также из анализа статистических характеристик выборок типовых модулированных радиосигналов следует, что подходящей вероятностной моделью для описания радиосигналов с разным ВМ может служить модель в виде смеси распределений [6, 7]. При действии сигналов на фоне помехи в виде гауссовского белого шума и в предположении независимости отсчетов квадратурных составляющих вероятностные свойства сигналов полностью определяются одномерными плотностями вероятностей, которые представляются смесью гауссовских распределений в виде

$$w(A_c) = \sum_{i=1}^Q q_i \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(A_c - m_{ci})^2}{2\sigma_i^2} \right],$$

$$w(A_s) = \sum_{i=1}^Q q_i \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(A_s - m_{si})^2}{2\sigma_i^2} \right], \quad (2)$$

где $(q_i, i = 1, Q)$ — дискретные взвешивающие коэффициенты с распределением, определяющим вероятности

компонент в смеси; $\sigma_i^2, m_{ci}, m_{si}$ — соответственно дисперсии и математические ожидания компонент смеси (полагается, что дисперсии квадратурных составляющих одинаковы).

Параметры рассмотренной вероятностной модели — $\sigma_i^2, m_{ci}, m_{si}, q_i, i = 1, Q$, выбираются и оцениваются по обучающим выборкам сигналов конкретно для каждого ВМ и допустимого множества значений параметров модуляции (скорости передачи, разноса частот и т. д.). Адекватность выбранной вероятностной модели для описания радиосигналов с разным ВМ подтверждается объективным критерием — приемлемым для автоматизированного радиоконтроля качеством решения поставленной задачи распознавания заданных ВМ радиосигналов.

3. Алгоритм распознавания заданных видов модуляции радиосигналов

Общий вид решающего правила распознавания заданных случайных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов приведен в работах [4, 5]. Такое решающее правило получено в предположении, что распознаваемые сигналы представлены конечномерными случайными векторами $\vec{\xi}$, по реализациям которых принимается решение. Проверяются $M + 1$ -й на гипотезы, которые могут быть сделаны в отношении принимаемых сигналов: $H^i, i = \overline{1, M}$ для заданных в статистическом смысле сигналов и H^{M+1} для неизвестных сигналов, объединённых в $M + 1$ -й класс. Полагается, что плотности вероятности заданных сигналов $w(\vec{\xi}/H^i, \vec{\alpha}_i), i = \overline{1, M}$, известны с точностью до случайных векторных параметров $\vec{\alpha}_i, i = \overline{1, M}$, а для $M + 1$ -го класса плотность вероятности не задана. Известны априорные вероятности гипотез $P(H^i) = P_i$. Для заданных случайных сигналов могут быть получены их обучающие выборки, по которым оцениваются неизвестные параметры распределений $\vec{\alpha}_i, i = \overline{1, M}$.

При распознавании решение принимается в два этапа:

1) если хотя бы для одного значения $i = \overline{1, M}$ выполняется неравенство

$$P_i w(\vec{\xi}/H^i, \vec{\alpha}_i) \geq \lambda^i, \quad (3a)$$

принимается решение в пользу M заданных сигналов; если же при всех $i = \overline{1, M}$

$$P_i w(\vec{\xi}/H^i, \vec{\alpha}_i) < \lambda^i, \quad (3б)$$

принимается решение в пользу $M + 1$ -го класса;

2) при выполнении неравенства (3a) на втором этапе производится распознавание M заданных сигналов, т. е. принимается решение в пользу i -го сигнала из системы неравенств

$$P_l w(\vec{\xi}/H^l, \vec{\alpha}_l) \geq P_i w(\vec{\xi}/H^i, \vec{\alpha}_i), \quad l = \overline{1, M}, l \neq i. \quad (3в)$$

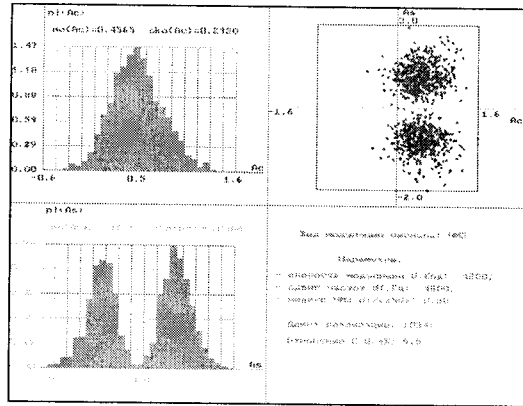
Пороговые значения λ^i можно определить из уравнения

$$P_{np}^i = \int_0^{\lambda^i} W_i(\rho_i) d\rho_i, \quad i = \overline{1, M}, \quad (4)$$

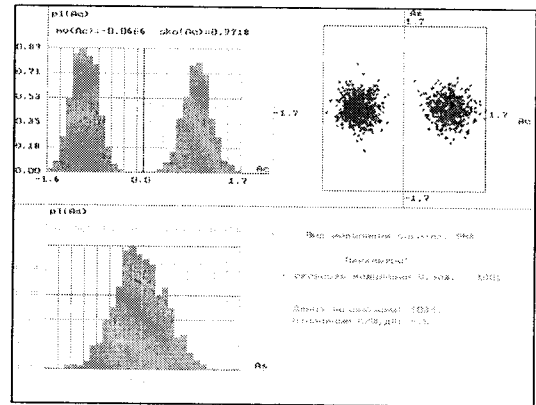
где $W(\rho_i)$ — плотность распределения значений решающей статистики $\rho_i = P_i w(\tilde{\xi} / H^i, \tilde{\alpha}_i)$, которые получаются по обучающим выборкам для i -го сигнала; P_{np}^i — требуемая вероятность правильного распознавания i -го сигнала.

Для решения задачи распознавания радиосигналов с заданными ВМ может быть использовано решающее правило (3), конкретизированное с учетом выбранной вероятностной модели сигналов в виде смеси распределений. При этом $w(\tilde{\xi} / H^i, \tilde{\alpha}_i)$ — плотности вероятностей $2N$ -мерного вектора $\tilde{\xi}$, составленного из квадратурных составляющих сигналов $A_c(n)$ и $A_s(n)$. В предположении независимости координат вектора $\tilde{\xi}$ m -мерная плотность распределения будет определяться произведением одномерных плотностей распределения

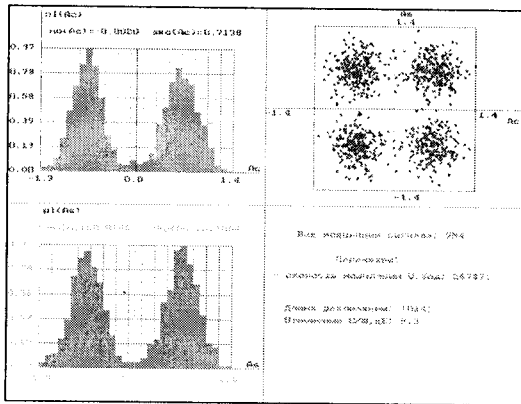
$$w(\tilde{\xi} / H^i, \tilde{\alpha}_i) = \prod_{k=1}^{2N} w(\xi_k / H^i, \tilde{\alpha}_i). \quad (5)$$



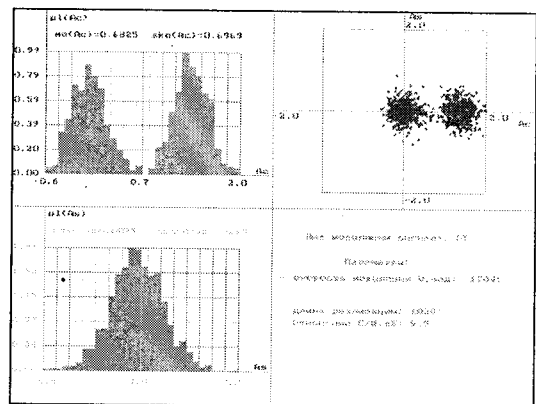
ЧМ2



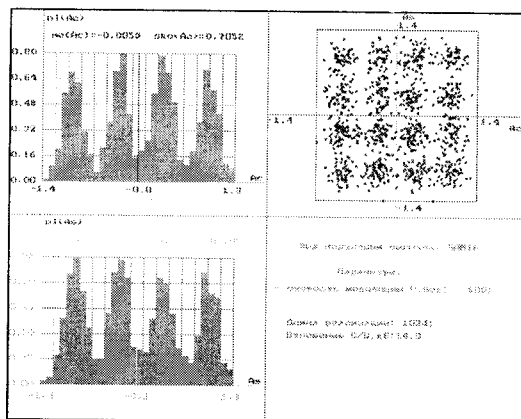
ФМ2



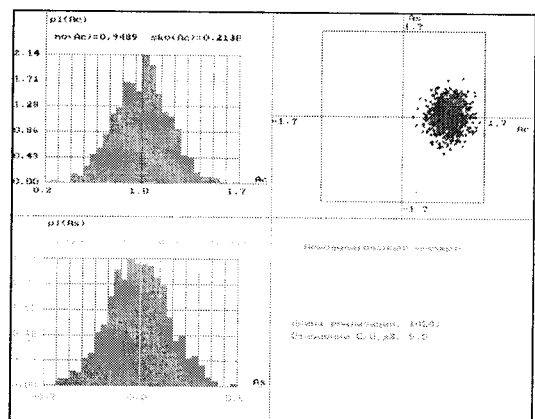
ФМ4



АТ



КАМ16



NON

Рис. 1. Проекция в двумерное пространство отсчетов квадратурных составляющих реализаций радиосигналов с разным видом модуляции, а также гистограммы их распределений (указанные проекции и гистограммы находятся соответственно в правой и левой части рисунка для каждого ВМ)

Это соответствует реальной ситуации, когда отсчеты $A_c(n)$ и $A_s(n)$ берутся через интервал дискретизации по времени Δt , равный интервалу корреляции сигнала T_k .

Кроме того, полагается, что входящие в (5) одномерные плотности распределения сигналов представляются смесями гауссовских распределений (2), что соответствует выбранной вероятностной модели для решаемой задачи распознавания заданных видов модуляции радиосигналов.

Рассмотрим вопрос оценки неизвестных параметров $\bar{\alpha}$, плотностей распределения, определяемых в данном случае параметрами компонент смеси распределений (2) — $\sigma_j^2, m_{cj}, m_{sj}, q_j, j=1, Q$ для каждого i -го сигнала. Задача выбора количества компонент и оценивания параметров компонент смеси должна решаться конкретно для каждого вида модуляции и допустимого множества параметров модуляции с использованием соответствующих классифицированных обучающих выборок сигналов.

В качестве примера рассмотрим особенности конкретизации решающего правила (3) для указанных в таблице радиосигналов. На основе анализа статистических характеристик сигналов с указанными ВМ можно записать следующие выражения для одномерных плотностей распределения радиосигналов:

$$\begin{aligned} \text{ЧМ2} - W(A_{c1}) &= \frac{1}{\sqrt{D_c} 2\pi} \exp \left[-\frac{(A_{c1} - m_{c1})^2}{2D_c} \right], \\ W(A_{s1}) &= \sum_{i=1}^2 \frac{q_{si}}{\sqrt{D_{si}} 2\pi} \exp \left[-\frac{(A_{s1} - m_{si})^2}{2D_{si}} \right]; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{ФМ2 и АТ} - W(A_c) &= \sum_{i=1}^2 \frac{q_{ci}}{\sqrt{2\pi D_{ci}}} \exp \left[-\frac{(A_c - m_{ci})^2}{2D_{ci}} \right]; \\ W(A_s) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi D_s}} \exp \left[-\frac{(A_s - m_{s1})^2}{2D_s} \right]; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{ФМ4} - W(A_c) &= \sum_{i=1}^2 \frac{q_{ci}}{\sqrt{2\pi D_{ci}}} \exp \left[-\frac{(A_c - m_{ci})^2}{2D_{ci}} \right], \\ W(A_s) &= \sum_{i=1}^2 \frac{q_{si}}{\sqrt{2\pi D_{si}}} \exp \left[-\frac{(A_s - m_{si})^2}{2D_{si}} \right]; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{КАМ16} - W(A_c) &= \sum_{i=1}^4 \frac{q_{ci}}{\sqrt{2\pi D_{ci}}} \exp \left[-\frac{(A_c - m_{ci})^2}{2D_{ci}} \right], \\ W(A_s) &= \sum_{i=1}^4 \frac{q_{si}}{\sqrt{2\pi D_{si}}} \exp \left[-\frac{(A_s - m_{si})^2}{2D_{si}} \right]; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{NON} \quad W(A_{s,c}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{s,c}}} \exp \left[-\frac{(A_{s,c} - m_{s,c})^2}{2D_{s,c}} \right]. \quad (10)$$

В работе [6] показано, что смесь одномерных гауссовских распределений является разделимой смесью, то есть по заданному распределению всей смеси можно однозначно восстановить каждое из частных распределений, образующих смесь. Этот важный вывод является принципиальным, так как дает основания утверждать, что параметры частных распределений (6)–(10) могут быть в принципе оценены по обучающим выборкам заданных радиосигналов.

Существует ряд методов для оценки неизвестных параметров плотностей распределения — метод моментов, метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия [6]. На практике рационально использовать метод моментов, который хотя и приводит к получению оценок по качеству хуже, чем с применением других методов, однако требует значительно меньше вычислительных затрат.

При выводе соотношений для оценки неизвестных параметров распределений для рассмотренных ВМ использованы следующие допущения: для ЧМ2: $m_{s2} = -m_{s1}$; для ФМ2: $m_{c2} = -m_{c1}$; для АТ: $m_{c2} = 0$; для ФМ4: $m_{c2} = -m_{c1}$ и $m_{s2} = -m_{s1}$; для КАМ16: $m_{c1} = m_{s1} = \sqrt{0.9}$; $m_{c2} = m_{s2} = 1/\sqrt{10}$, $m_{c4} = m_{s4} = -m_{c1}$, $m_{c3} = m_{s3} = -m_{c2}$. Требуемые оценки находятся после приравнивания соответствующих теоретических и эмпирических (выборочных) моментов и решения полученных систем уравнений с учетом сделанных допущений [6].

При оценивании неизвестных параметров распределений следует учитывать ряд практических особенностей. В частности, дисперсии квадратурных отсчетов зависят от соотношения сигнал-шум. Поэтому необходимо производить его оценивание по принятой реализации сигнала, что является элементом адаптации. Кроме того, для получения устойчивых образов радиосигналов, не зависящих от уровня принимаемого сигнала, отсчеты квадратурных составляющих $A_c(n)$ и $A_s(n)$, $n = \overline{0, N-1}$, необходимо нормировать:

$$A_c(k) = \frac{A_c(k)}{K}; \quad A_s(k) = \frac{A_s(k)}{K}, \quad k = \overline{0, N-1},$$

$$\text{где } K = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [A_c^2(k) + A_s^2(k)]}.$$

4. Результаты исследования метода распознавания заданных видов модуляции

С целью проверки работоспособности предложенного метода распознавания ВМ радиосигналов проведены исследования методом статистического моделирования на ЭВМ. Для этого алгоритм распознавания (3) с учетом конкретного описания плотностей распределения сигналов смесями распределений реализован в виде программного комплекса. Оценки показателей эффективности алгоритма распознавания получены путем статистических испытаний на выборках псевдослучай-

ных радиосигналов с различным ВМ, описанных в таблице. Выборки радиосигналов моделировались методом комплексной огибающей. При этом использовались сообщения в виде псевдослучайного телеграфного сигнала с разными значениями скорости манипуляции (в диапазоне 100–2400 Бод). При моделировании выборок реализаций помехи использовалась математическая модель в виде гауссовского белого шума. Для проведения исследований получены обучающие и контрольные выборки по 500 реализаций длиной $N=1024$ отсчетов для каждого сигнала. Обучающие выборки радиосигналов с заданными ВМ использовались для оценивания неизвестных параметров алгоритма распознавания ВМ. Контрольные выборки сигналов использовались для получения оценок показателей эффективности алгоритма распознавания ВМ при различных условиях работы.

Качество распознавания заданных ВМ радиосигналов оценивалось следующими показателями эффективности:

$P_{(M/M+1)}$ — средняя вероятность ошибочного принятия решения в пользу M радиосигналов с заданным ВМ при действии неизвестных сигналов из $M+1$ -го класса;

$P_{(M+1/M)}$ — средняя вероятность ошибочного принятия решения в пользу неизвестных сигналов из $M+1$ -го класса при действии M радиосигналов с заданным ВМ;

$P_{(M)}$ — средняя вероятность ошибки за счет перепутывания внутри класса радиосигналов с заданными ВМ.

В качестве M радиосигналов с заданными ВМ использовались радиосигналы со следующими ВМ: ЧМ2, АТ, КАМ16, а в качестве сигналов из $M+1$ -го класса радиосигналы с ВМ: ФМ2, ФМ4, ЧМ4. Выбор пороговых значений λ_i в решающем правиле (3) производился согласно (4) из условия обеспечения заданной вероятности ошибки $P_{(M+1/M)}$. Для этого с использованием обучающих выборок сигналов находились значения решающих статистик и оценивались плотности их распределений. Значения λ_i определяют размеры собственных областей заданных сигналов в признаковом пространстве (A_c, A_s) и соответственно влияют не только на значение $P_{(M+1/M)}$ (вероятность «пропуска»), но и на значение $P_{(M/M+1)}$ (вероятность «ложной тревоги»).

На рис. 2 приведена диаграмма обмена показателей качества распознавания $P_{(M/M+1)}$ и $P_{(M+1/M)}$, полученная при $N=1024$ и при соотношении сигнал-шум, равном 9,54 дБ. Из полученной зависимости следует, что невозможно одновременно добиться уменьшения обеих вероятностей. При снижении пороговых значений λ_i сужаются собственные области радиосигналов с заданными ВМ и уменьшается вероятность $P_{(M/M+1)}$, но вместе с тем увеличивается вероятность $P_{(M+1/M)}$.

Особый интерес представляет зависимость качества распознавания заданных ВМ радиосигналов от времени их наблюдения — длительности реализации сигнала N , которая в основном и определяет быстрдействие

алгоритма распознавания ВМ. С другой стороны, эта зависимость важна, поскольку параметром N в отличие от соотношения сигнал-шум можно управлять с целью обеспечения требуемого качества распознавания ВМ. Поэтому были исследованы зависимости вероятностей ошибок распознавания от длины реализации N при фиксированном значении соотношения сигнал-шум $q=9,5$ дБ. При исследованиях при каждом значении N пороговые значения λ_i выбирались исходя из условия обеспечения требуемой вероятности $P_{(M+1/M)}=0,05$. Полученные зависимости приведены на рис. 3. Видно, что при $N < 64$ качество распознавания существенно ухудшается, а при $N > 256$ обеспечивается приемлемое для практики качество распознавания ВМ.

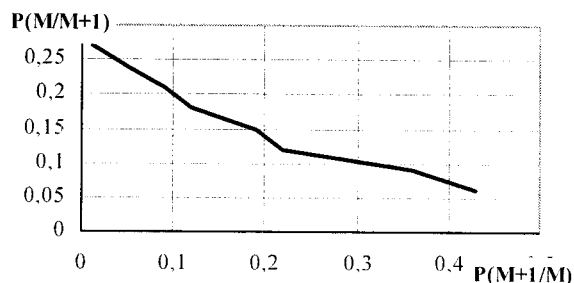


Рис. 2. Диаграмма обмена показателями качества распознавания радиосигналов с заданными ВМ при наличии неизвестных сигналов

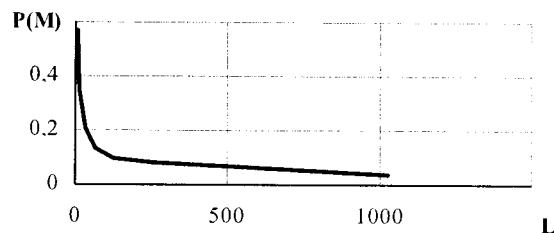


Рис. 3. Зависимость качества распознавания видов модуляции от длительности наблюдения сигналов

Исследована также зависимость качества распознавания заданных ВМ от соотношения сигнал-шум. На рис. 4 представлена зависимость качества распознавания от соотношения сигнал-шум q при фиксированной длине реализации сигналов $N=512$. Установка пороговых значений λ_i осуществлялась из условия обеспечения $P_{(M+1/M)}=0,05$.

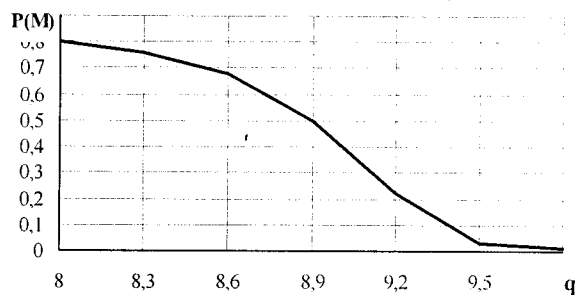


Рис. 4. Зависимость качества распознавания видов модуляции от соотношения сигнал-шум

Из полученной зависимости следует, что алгоритм распознавания обладает ярко выраженным пороговым свойством, который объясняется сильной зависимостью значений решающих статистик от соотношения сигнал-шум. Как показали исследования, при изменении соотношения сигнал-шум существенно изменяются только средние значения решающих статистик для каждого заданного сигнала, а их разброс остается примерно одинаковым. Получено, что при соотношении сигнал-шум больше 9,5 дБ средняя вероятность правильного распознавания по всем ВМ становится больше 0,9, а вероятность $P_{(M/M+1)}$ не превышает 0,02. Такие показатели качества распознавания удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к качеству распознавания ВМ при автоматизированном радиоконтроле. Следует отметить, что предложенный метод распознавания ВМ радиосигналов уже использован при проектировании комплексов РК. В частности, упрощенный вариант алгоритма распознавания ВМ реализован в комплексе автоматизированного радиоконтроля «Марс».

Выводы

1. Предложен метод решения задачи распознавания заданных видов модуляции радиосигналов при действии аддитивной помехи в виде гауссовского белого шума. Решение сводится к селекции и распознаванию радиосигналов с заданными видами модуляции и отношению в объединенный $M + 1$ -й класс сигналов с неизвестными видами модуляции.

2. Синтезирован алгоритм распознавания радиосигналов с заданными ВМ при наличии класса сигналов с неизвестными ВМ. Алгоритм получен при описании квадратурных составляющих радиосигналов с заданными видами модуляции вероятностной моделью в виде смеси гауссовских распределений. Незвестные параметры распределений оцениваются по классифицированным обучающим выборкам радиосигналов с заданными видами модуляции.

3. Проведены экспериментальные исследования рабочих характеристик предложенного алгоритма распознавания ВМ. Исследования выполнены методом статистического моделирования на ЭВМ на выборках радиосигналов с типовыми для радиоконтроля видами модуляции. Получены приемлемые для практики показатели качества распознавания ВМ

4. Предложенный метод распознавания заданных ВМ радиосигналов может быть использован при создании новых и модернизации существующих комплексов автоматизированного радиоконтроля. Для этого необходима конкретизация алгоритма распознавания задан-

ных ВМ радиосигналов для заданных видов модуляции радиосигналов, которые имеют место при автоматизированном радиоконтроле.

Литература. 1. *Справочник по радиоконтролю* /Под ред. Ж. Жоржена; Перевод с франц. — Женева: Международной союзэлектросвязи, 1995. — 442 с. 2. *Егоров Е.И., Калашников Н.И., Михайлов А.С.* Использование радиочастотного спектра и радиопомехи. — М.: Сов. радио, 1986. — 304 с. 3. *Поляков П.Ф.* Распознавание модуляции по фазовому спектру радиосигналов // Радиотехника. — Х.: Вища школа, 1968. — Вып. 6. С. 40–45. 4. *Омельченко В.А.* Основы спектральной теории распознавания сигналов. — Х.: Вища школа, 1983. — 156 с. 5. *Омельченко В.А., Балабанов В.В., Безрук В.М. и др.* Распознавание неполностью описанных случайных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов // Отбор и обработка информации. — 1992. — Вып. 8. — С. 71–80. 6. *Миленький А.В.* Классификация сигналов в условиях неопределенности. — М.: Сов. радио, 1975. — 328 с. 7. *Чабдаров Ш.М., Сафиулин Н.Э., Феоктистов А.Ю.* Основы статистической теории радиосвязи. Полигауссовы модели и методы. — Казань: КАИ, 1983. — 85 с. 8. *Побережский Е.С.* Цифровые радиоприемные устройства. — М.: Радио и связь, 1987. — 184 с.

Поступила в редколлегию 28.08.2003 г.



Безрук Валерий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: моделирование и многокритериальная оптимизация систем обработки сигналов.



Евсеев Константин Алексеевич, инженер конструкторского бюро НПП «Стальэнерго». Область научных интересов: проектирование радиоэлектронных средств связи.



Чеботов Александр Владимирович, технический директор НТЦ РТС Академии Наук Прикладной Радиоэлектроники. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в задачах проектирования автоматизированных комплексов радиоконтроля.