

Шабанов-Кушнарченко Сергей Юрьевич, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: идентификация механизмов интеллекта человека, информатика. Адрес: Украина, 310058, Харьков, ул. Культуры, 11, кв. 31, тел. 40-94-46.

УДК 519.237.8

В.М. БЕЗРУК

**СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ
СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ
СИГНАЛОВ МЕТОДОМ РАБОЧИХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

При проектировании сложных систем в настоящее время широко используются многокритериальные методы формирования и выбора вариантов систем [1, 2]. Рассмотрим вопросы синтеза и анализа одного из видов информационных систем – распознавания случайных сигналов. При этом используем подход, основанный на методе рабочих характеристик [1]. На этапе синтеза структуры системы распознавания заданы ограничения, определяемые выбором вероятностной модели сигналов в виде ортогональных разложений [3]. Решение задачи синтеза сводится к нахождению оптимума по Парето совокупности показателей качества распознавания и реализационных затрат, которые характеризуют систему распознавания сигналов. Сравнение систем распознавания выполнено по их рабочим характеристикам в виде диаграмм обмена показателей качества. Используемый в статье подход отличает ее от известных работ, в которых также рассматриваются решения многокритериальных задач распознавания случайных сигналов [3, 4].

Постановка задачи

Пусть распознаванию подлежат M случайных сигналов $X^i(t), i=\overline{1, M}$, заданных на конечном интервале времени $(0, T)$. Сигналы обладают конечной энергией и допускают представление вероятностной моделью в виде ортогональных разложений [3]:

$$X^i(t) = \sum_{j=1}^{\infty} d_j^i \psi_j(t), \text{ где } d_j^i = \int_0^T X^i(t) \overline{\psi_j(t)} dt, \quad (1)$$

где $\{\psi_j(t)\}_{j=1}^{\infty}$ – полная ортонормированная система базисных функций.

Будем искать структуру системы распознавания случайных сигналов в классе систем, реализуемых средствами вычислительной техники, что определяет необходимость использования конечномерного представления сигналов в виде L -мерных случайных векторов коэффициентов разложений в (1):

$$\vec{D}^i = (d_{1,K}^i, d_{2,K}^i, \dots, d_{L,K}^i)^T.$$

Вид используемых базисных функций и их число определяют точность конечномерного представления сигналов и качество их распознавания, а также реализационные затраты.

Считаем, что плотности распределения векторов \vec{D}^i являются гауссовскими $N(\vec{D}^i/\vec{\mu}^i, R^i)$ с заданными средними векторами $\vec{\mu}^i$ и корреляционными матрицами R^i . Известны также априорные вероятности представления сигналов P_i , причем $\sum_{i=1}^M P_i = 1$.

Для оценивания качества системы распознавания введем вектор показателей эффективности и затрат:

$$\vec{K}(s) = (k_3(s), k_3(s)). \quad (2)$$

Показатель $k_3(s)$ будем определять через среднюю вероятность ошибочного распознавания сигналов P_0 , показатель $k_3(s)$ – через характеристику динамической сложности реализации системы, которая определяется в основном выбранной для распознавания размерностью N вектора \vec{D}_N , $N = \overline{1, L}$. Введенные показатели взаимосвязаны и конкурируют между собой. Поэтому нельзя добиться потенциально наилучшего значения одного из них без ухудшения другого.

В качестве критерия оптимальности выберем безусловный критерий предпочтения (БКП) – критерий Парето. При оптимизации по критерию Парето ищется согласованный оптимум введенных показателей качества (2), который определяет многомерные потенциальные характеристики (МПХ) системы распознавания.

При сформулированных условиях найдем Парето-оптимальную структуру системы распознавания сигналов и оценим многомерные потенциальные характеристики синтезированной системы.

Синтез структуры Парето-оптимальной системы распознавания сигналов

Поставленная векторная задача синтеза допускает аналитическое решение. Синтез структуры системы распознавания может быть выполнен с использованием известного метода рабочих характеристик [1], который приводит к нахождению на множестве допустимых систем S_0 оптимума показателя $k_3(s), s \in S_0$ при фиксированных, но произвольных значениях показателя $k_3(s)$.

Поскольку показатель затрат $k_3(s)$ принимает конечное множество значений $N=1,2,K,L$, то поставленная векторная задача синтеза разбивается на L скалярных оптимизационных задач. Каждая из них представляет собой известную задачу минимизации среднего риска, который при простой функции потерь определяется средней вероятностью ошибки распознавания сигналов P_0 .

При фиксированной размерности вектора D_N решением указанных задач является байессовский классификатор

$$i = \arg \max \{P_j N(D_N / \mu_N^j, R_N^j)\}, j = \overline{1, M}. \quad (3)$$

Таким образом, приходим к структуре системы распознавания, определяемой процедурами формирования конечномерного представления сигналов согласно (1) и принятия решений согласно (3). При отображении множества вариантов системы распознавания $\{S_{noN}\}_{N=1}^L$ в критериальное пространство K , определяемое оценками вектора (2), нетрудно выделить множество Парето-оптимальных оценок $P(K) = \text{opt}_{\geq} K$. Совокупность точек полученного множества Парето определяет МПХ системы распознавания сигналов, как потенциально достижимые значения одного из показателей при фиксированных значениях другого.

Для рассматриваемой задачи распознавания случайных сигналов показатели качества (2) взаимосвязаны и антагонистичны. При этом МПХ представляются многомерной диаграммой обмена (МДО) показателей в виде строго монотонной зависимости, которая является рабочей характеристикой системы распознавания сигналов $k_3 = f(k_3)$ в виде $P_0 = f(N)$.

Следует отметить, что по условиям задачи при синтезе структуры

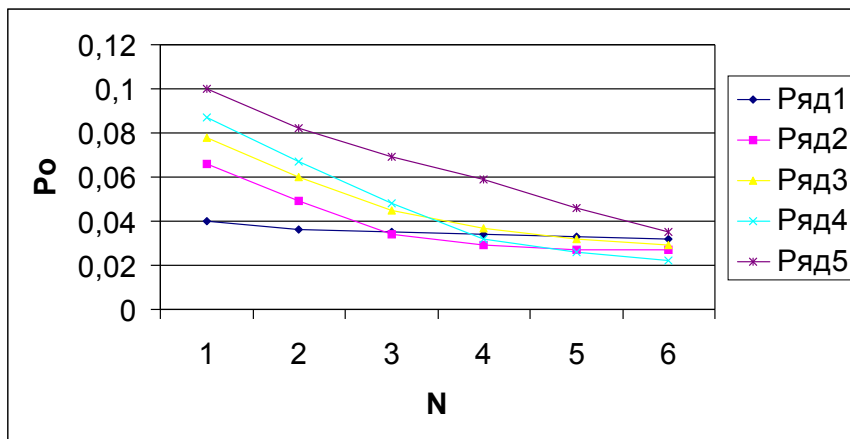
системы распознавания сигналов ортонормированный базис $\{\psi_j(t)\}_{j=1}^{\infty}$ полагается фиксированным. При изменении базиса получается другой класс вариантов Парето-оптимальной системы распознавания сигналов.

Представляет интерес выполнить сравнение классов систем распознавания сигналов. При этом будем использовать подход, связанный с понятием сравнения по БКП классов систем [5]. Полагается, что для каждого q -го класса допустимых вариантов системы распознавания найдено множество Парето-оптимальных вариантов S_{no}^q . Вводятся понятия доминирования $S_{no}^q \geq S_{no}^k$ одного класса вариантов системы распознавания над другим, эквивалентности - $S_{no}^q = S_{no}^k$ и несравнимости по БКП (отношения $S_{no}^q \geq S_{no}^k$, $S_{no}^q = S_{no}^k$ несправедливы). Аналогично, как и для отдельных вариантов системы распознавания сигналов, вводится множество нехудших (Парето-оптимальных) классов систем.

Анализ синтезированной системы распознавания

Получение аналитических выражений для МПХ систем распознавания сигналов при сформулированных условиях представляет непростую задачу. Поэтому в качестве примера рассмотрим МДО, найденные методом статистического моделирования на ЭВМ для задачи распознавания шести псевдослучайных сигналов связи с различным видом и параметрами модуляции [3].

Парето-оптимальная структура системы распознавания сигналов реализована программно на ЭВМ. По выборкам реализации путем статистических испытаний найдены МДО в виде монотонной зависимости показателей качества распознавания сигналов от размерности конечномерного представления сигналов $P_o = f(N), N = \overline{1,6}$ при $L=60$. На рисунке приведены несколько МДО, полученных для систем распознавания сигналов с использованием различных базисных функций. Каждой точке МДО соответствует вариант системы распознавания, для которого при заданном ортонормированном базисе обеспечивается минимальное значение P_o для фиксированной размерности конечномерного представления сигналов N . Найденные МДО показывают, как осуществляется своеобразный "обмен" потенциальных значений одного из показателей на другой.



Каждая из полученных МДО соответствует своему классу систем распознавания сигналов с заданным ортогональным разложением. Пользуясь ранее введенными определениями на основе МДО для пяти классов систем распознавания сигналов, нетрудно выделить результирующую МДО Парето-оптимальных классов систем. Для рассмотренной задачи распознавания псевдослучайных сигналов связи Парето-оптимальными являются классы систем распознавания $q = 1, 2, 4$. Это классы систем распознавания сигналов с ортогональными разложениями сигналов при использовании, соответственно, объединенной совокупности индивидуальных для каждого сигнала базисных функций Карунена-Лоэва ($q = 1$, при $N = 1, 2$), общих для всех сигналов базисных функций Карунена-Лоэва ($q = 2$, при $N = 3, 4$), базисных функций Хаара ($q = 4$, при $N = 5, 6$).

Выводы

1. Поставлена и решена задача синтеза Парето-оптимальной структуры системы распознавания случайных сигналов методом рабочих характеристик при учете совокупности показателей эффективности и затрат. Синтезированная структура определяется ортогональным разложением случайных сигналов и байесовским классификатором, реализованным в конечномерном пространстве информативных признаков, определяемых выбранными базисными функциями.

2. Методом статистического моделирования получены рабочие характеристики системы распознавания случайных сигналов в виде многомерных диаграмм обмена показателей эффективности и зат-

рат. Выполнено сравнение классов систем распознавания по критерию Парето, определяемых разными ортогональными разложениями случайных сигналов. В результате выявлены совокупные потенциальные свойства классов систем распознавания сигналов с учетом показателей качества распознавания и реализационных затрат.

Список литературы: 1. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. М.: Сов. радио, 1986. 288 с. 2. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные методы формирования и выбора вариантов систем. М.: Наука, 1986. 286 с. 3. Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. Харьков: Вища шк., 1983. 159 с. 4. Омельченко В.А. Многокритериальные задачи распознавания сигналов. Ч. 1. Распознавание сигналов в условиях априорной неопределенности / Отбор и передача информации. 1989. Вып. 3. С. 13-15. 5. Губонин Н.С. Об одном методе сравнения классов проектируемых систем / Автоматика и телемеханика. 1986. № 9. С. 114-123.

Поступила в редколлегию 25.12.98

Безрук Валерий Михайлович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры приема и обработки сигналов ХТУРЭ. Научные интересы: распознавание сигналов, моделирование и оптимизация систем распознавания сигналов. Увлечения и хобби: туризм, чтение литературы. Адрес: Украина, 310145, Харьков, ул. Новгородская, 20, кв. 119, тел. 30-31-83.