

**АНАЛИЗ ЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ СРЕДСТВАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

к.т.н. В.М. Безрук  
(представил проф. О.Г. Руденко)

Рассмотрены особенности практической реализации устройств распознавания сигналов средствами вычислительной техники. Приведены результаты анализа затрат по объему вычислений и памяти в режимах обучения и распознавания.

При реализации устройств распознавания в ряде прикладных задач распознаваемые объекты, явления или их состояния описываются сигналами [1, 2]. При этом необходимо выполнить следующие процедуры: получение исходного конечномерного описания  $\vec{X}$  размерности  $L$  путем дискретизации непрерывных сигналов; отображение векторов  $\vec{X}$  в  $N$ - мерное пространство информативных признаков -  $\vec{Z} = B\vec{X}$  ( $B$  - матрица информативных признаков размерности  $L \times N$ ); принятие решения о принадлежности наблюдаемых сигналов к одному из заранее установленных классов с помощью выбранного классификатора. Устройства работают в режимах обучения и распознавания. В режиме обучения по классифицированным выборкам сигналов вычисляются информативные признаки сигналов и оцениваются параметры классификатора. В рабочем режиме производится автоматическое распознавание сигналов. Для примера на рис.1 приведена структурная схема байесовского квадратичного классификатора для случая гауссовского распределения сигналов. Здесь  $\vec{m}^i, R^i, \lambda^i$  - оценки соответственно средних векторов, корреляционных матриц и пороговых значений, полученные по обучающим выборкам сигналов. Принятие решений с помощью данного классификатора сводится к вычислению  $M$  значений расстояний для наблюдаемого вектора  $\vec{X}$  и выбора минимального значения. Таким образом, при реализации устройств распознавания сигналов необходимо выполнять векторно-матричные операции, что определяет возможность их реализации вычислительными средствами. Существуют разные методы построения информативных признаков сигналов и разные виды решающих правил, определяющих классификатор. От их выбора зависят как качество распознавания сигналов, так и затраты в режимах обучения и распознавания.

В качестве характеристик затрат рационально выбрать время работы устройств в режиме обучения и распознавания, а также требуемые при этом

объемы памяти. Эти характеристики могут быть получены в результате анализа алгоритмов работы устройств распознавания численными методами.

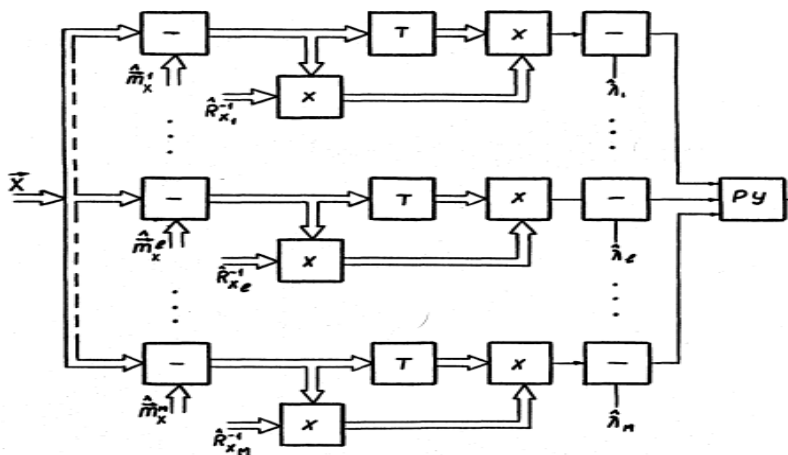


Рис. 1. Структурная схема байесовского квадратичного классификатора сигналов

Время обучения и распознавания устройства определяется как

$$T_0 = K_{c0}t_c + K_{y0}t_y + K_{c0}t_c + K_{g0}t_g;$$

$$T_p = K_{cp}t_c + K_{yp}t_y,$$

где  $t_c, t_y, t_g$  - время, затраченное на выполнение одной операции сложения, умножения и деления;  $K_{c0}, K_{y0}, K_{g0}, K_{cp}, K_{yp}$  - оценка количества операций сложения, умножения, деления, выполняемых соответственно в режиме обучения и распознавания.

Аналитические выражения для объемов вычислений, а также требуемых при этом объемов памяти в режиме обучения и распознавания  $V_0, V_p$  для различных вариантов синтезированных устройств распознавания даны в [1, 2]. Сравнительный анализ характеристик реализуемости устройств распознавания при использовании разных информативных признаков и решающих правил показывает, что наибольшими затратами по времени и требуемому объему памяти в режиме обучения обладает устройство с использованием индивидуальных признаков Карунена-Лоэва, а наименьшими - устройство с общими признаками Карунена-Лоэва. Промежуточное положение занимает устройство с дискриминантными признаками. Реализационные затраты устройства в режиме распознавания при использовании одного и того же решающего правила, но разных способов построения признаков одинаковы. При этом использование более простых решающих правил существенно уменьшает затраты, особенно в режиме распознавания.

Реализационные затраты существенно зависят от размерности исходного представления сигналов  $L$ , а также числа распознаваемых сигналов  $M$ . Поэтому введение этапа сжатия исходного конечномерного представления сигналов существенно упрощает затраты устройства в режиме распознавания. Основные затраты по времени работы и требуемому объему памяти относятся к режиму обучения. Если режим обучения может быть выполнен отдельно на мощной ЭВМ, то использование на этапе распознавания сжатого представления сигналов позволяет получить значительный выигрыш по затратам. При этом устройство в режиме распознавания может быть реализовано простыми вычислительными средствами. Этот вывод хорошо иллюстрирует сравнительный пример расчета некоторых характеристик реализуемости устройств распознавания  $S^b$ ,  $S^c$ , основанных на байесовском квадратичном классификаторе, в котором используется соответственно исходное  $\bar{X}$  и сжатое конечномерное представление сигналов  $\bar{Z} = B\bar{X}$ . Расчеты, выполненные при  $N = 0.1 \cdot L$ ;  $t_c = 10^{-5} \text{ с}$ ,  $t_y = 3 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ ,  $t_g = 5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Затраты по времени распознавания и объему памяти

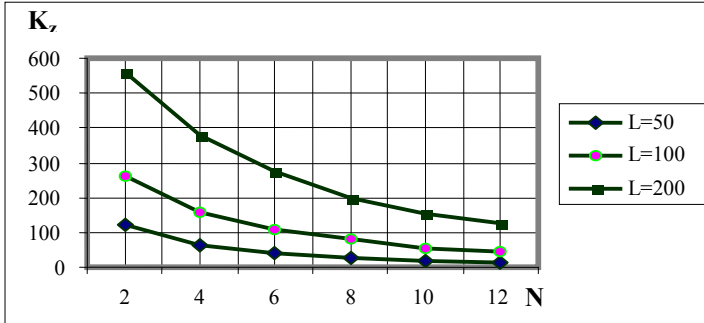
L	M	T <sub>p</sub> (сек)		V <sub>p</sub> (маш. слов)	
		S <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>	S <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>
100	10	9	0,13	101110	2220
	20	18	0,25	202120	3330
150	10	20,25	0,27	226660	4825
	20	40,5	0,52	453170	7235

Из таблицы видно, что устройство распознавания сигналов, в котором используется этап сжатия исходного представления сигналов, характеризуется существенным снижением аппаратурных и вычислительных затрат в режиме распознавания, но это упрощение обеспечивается за счет некоторого снижения качества распознавания сигналов. Представляет интерес количественно оценить выигрыш по затратам и сравнить его с проигрышем по качеству распознавания.

Степень снижения затрат при использовании устройства  $S^c$  по сравнению с устройством  $S^b$  будем оценивать коэффициентом выигрыша по затратам  $K_z = Z^b / Z^c$ . Здесь  $Z^b, Z^c$  - показатели затрат для устройств  $S^b$  и  $S^c$ , которые могут быть введены в виде взвешенной суммы нормированных значений показателей вычислительных и аппаратурных затрат в режиме распознавания:  $Z^b = k_1 V_p^b + k_2 T_p^b$ ;  $Z^c = k_1 V_p^c + k_2 T_p^c$ . Коэффициенты  $k_1, k_2$

определяются из условия относительной важности аппаратурных и вычислительных затрат.

Для примера на рис.2 приведены зависимости коэффициента выигрыша по затратам от числа информативных признаков  $K_z = f(N)$  для некоторых значений  $L$ , полученные для случая  $M=10$ . Из рис. 2 следует, что выигрыш по затратам для устройства  $S^c$  увеличивается с ростом  $L$  и может достигать



значительной величины.

Рис. 2. Зависимости коэффициента выигрыша по затратам от числа информативных признаков

Для оценки снижения качества распознавания сигналов проведены сравнительные исследования устройств распознавания  $S^b$  и  $S^c$  методом статистического моделирования на выборках псевдослучайных сигналов. Для этого введен коэффициент проигрыша по качеству распознавания  $K_e = \frac{P_e^c}{P_e^b}$ , где

$P_e^c, P_e^{cb}$  - средняя вероятность ошибки распознавания сигналов с помощью соответственно устройств  $S^c$  и  $S^b$ . Полученные зависимости  $K_e = \phi(N)$  для случая использования разных информативных признаков и решающих правил приведены в [1, 2]. Используя зависимости  $K_z = f(N)$  и  $K_e = \phi(N)$ , нетрудно построить графики, позволяющие сопоставить проигрыш по качеству распознавания с выигрышем по реализационным затратам. В качестве иллюстрации на рис.3 приведен график для случая  $L = 60, M = 6$ . Из него следует,

что для устройства распознавания  $S^c$  выигрыш по затратам почти на порядок больше проигрыша по качеству распознавания по сравнению с устройством  $S^b$ . Заметим, что при анализе затрат предполагалась реализация данных устройств на основе последовательного принципа выполнения вычислений, определяемых алгоритмом распознавания. Однако, существует теоретический и технический предел повышения быстродействия последовательного вычис-

лителя. Ограничения на значения  $L$  и  $M$  при работе устройств распознавания сигналов в реальном масштабе времени могут быть сняты при реализации устройств распознавания на основе модели коллектива вычислителей. Эта мо-

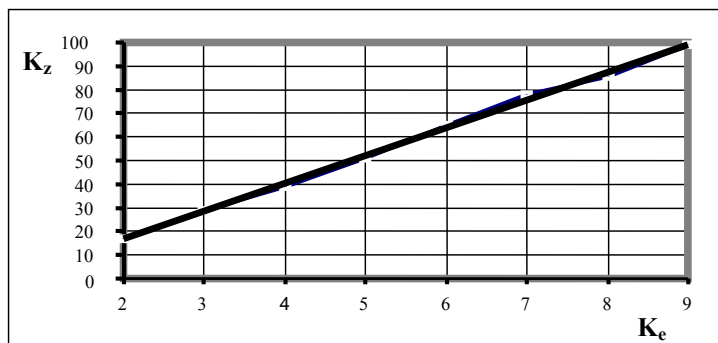


Рис. 3. Зависимость коэффициента выигрыша по затратам от коэффициента проигрыша по качеству распознавания

дель строится на принципах распараллеливания вычислительного процесса, переменной логической структуры и конструктивной однородности элементов и связей [3, 4]. При использовании этой модели вычислительное устройство представляется как совокупность последовательных вычислителей, объединенных в единую модель коллектива вычислителей. Как следует из структурной схемы устройства распознавания, изображенной на рис.1, существует возможность распараллеливания вычислительного процесса на этапе распознавания [4].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. – Харьков: Вища школа, 1983. – 156 с.
2. Омельченко В.А., Матевицкий Е.О., Балабанов В.В., Безрук В.М. Распознавание случайных сигналов по спектру // Известия ВУЗов СССР. – Сер. Радиоэлектроника. – 1979. – №12. – С.16 - 22.
3. Евреинов Э.В. Однородные вычислительные системы, структуры и среды. – М.: Радио и связь, 1981. – 208 с.
4. Безрук В.М. Мультимикроспроцессорная система распознавания сигналов связи // Цифровые устройства и микропроцессоры в системах передачи информации. – Харьков: ХИИТ. – 1987. – Вып.4. – С. 62 - 65.

*Поступила в редколлегию 25.09.2000*