

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АССОЦИАТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПАМЯТИ ЭТАЛОНОВ

А.Г. Африн, Т.З. Аралбаев (ГОУ ВПО "ОГУ")

Приведено математическое описание метода распознавания образов на основе меры близости Хемминга и матричного представления мер соответствия значений информативных признаков образам-эталонам. Представлена структурная схема устройства, базирующегося на методе ассоциативной организации памяти эталонов, позволяющая производить параллельную выборку данных об эталонах и повысить производительность распознавания.

Рассматриваемые устройства относятся к классу аппаратно-программных средств, реализующих структурно-логический метод распознавания образов (УРО). Эти устройства предназначены для использования в системах мониторинга и диагностики сложных промышленных объектов и могут найти применение в системах контроля и управления доступом.

Актуальность задачи разработки УРО обусловлена необходимостью повышения их производительности в режиме РВ при растущем числе информативных признаков и распознаваемых классов. Важность и специфика решения рассматриваемой задачи на текущий момент определяется возросшей необходимостью обеспечения экономичных режимов эксплуатации и обслуживания промышленных объектов, повышением интеллектуальных возможностей современных компьютеров и новыми результатами в области исследования процессов распознавания образов, а также недостаточным развитием методологической базы построения адаптивных средств распознавания образов для систем технической диагностики.

К исходным данным задачи распознавания образов относятся: множество классов образов $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n\}$; множество информативных признаков $S = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_m\}$, используемое для идентификации. Каждый из признаков представлен в некотором диапазоне изменения $d_{ij} (i=1, n; j=1, m)$ из множества диапазонов признаков $D = \{d_{ij}; i=1, n; j=1, m\}$. Каждый диапазон задан значениями минимального d_{min} и максимального d_{max} порогов изменения признака и дискретностью изменения признака внутри диапазона, а оценки вероятностей распределения значений признаков в собственных диапазонах в общем случае известны. Требуется определить организацию и архитектуру системы аппаратных и программных средств, а также алгоритм обучения и распознавания системы с учетом требований высокой производительности и достоверности при заданных ограничениях по стоимостным затратам.

Для формализации задачи построения высокопроизводительного УРО введем следующие условные обозначения:

- q^x – образ, подлежащий распознаванию;
- $\langle s_i \rangle$ – зарегистрированное значение i -ого признака, $i=1, m$;
- $\langle S^x \rangle$ – вектор зарегистрированных значений признаков qx ;
- $W\{q^x, Q_j\}$ – мера близости между q^x и j -ым образом из множества эталонов $Q, j=1, 2, \dots, n$;

- $v\{\langle s_i \rangle, d_{ij}\}$ – мера принадлежности $\langle s_i \rangle$ диапазону i -ого признака для j -ого образа;

- D_j – вектор диапазонов изменения значений признаков для образа $Q_j, j=1, n$;

- $\Phi\{\langle S^x \rangle, D_j\}$ – функционал для вычисления меры близости $W\{q^x, Q_j\}$.

В общем случае в теории и практике распознавания образов в качестве меры близости могут быть использованы: коэффициент парной корреляции, вероятностные оценки метода Байеса, мера близости Хемминга и др. В соответствии с выбранной мерой близости используют и функционал для ее вычисления. В данной работе в качестве такой меры использована мера близости Хемминга [1], определяемая как сумма попаданий значений признаков q^x в диапазоны изменения соответствующих признаков образ-эталон, при этом используются признаки с равномерным распределением значений в заданных диапазонах.

Математическая модель распознавания q^x имеет следующий вид:

$$W\{q^x, Q_j\} = \Phi\{\langle S^x \rangle, D_j\}, j=1, n; \quad (1)$$

$$\Phi\{\langle S^x \rangle, D_j\} = \sum_{i=1}^m v\{\langle s_i \rangle, d_{ij}\}; \quad (2)$$

$$v_{ij}\{\langle s_i \rangle, d_{ij}\} = \begin{cases} 1, & \text{если } \langle s_i \rangle \in d_{ij}; \\ 0, & \text{если } \langle s_i \rangle \notin d_{ij}. \end{cases} \quad (3)$$

$$q^x \in Q^*: \Phi\{\langle S^x \rangle, D^*\} \equiv \max \Phi\{\langle S^x \rangle, D_j\}, \quad (4)$$

$$Q^* \in Q, D_j \in D, j=1, n;$$

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nj} & \dots & v_{nm} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Функционал в выражениях (1) и (2) представляет собой разделяющую функцию в модели распознавания, а выражение (4) описывает возможное разделяющее правило, при котором отнесение q^x к одному из классов образов-эталон Q^* производится по максимальной величине меры близости Хемминга. В работе [2] представлены примеры УРО аналогичного типа, в которых в основе правила принятия решения лежит мажоритарный принцип.

В матрице V (5) каждая i -ая строка соответствует (ассоциирует) некоторому $\langle s \rangle$ i -ого признака. Сумма элементов j -ого столбца соответствует сумме в выражении (2).

Реализация модели возможна в виде программного средства либо аппаратно-программного устройства. Программная реализация модели прошла успешную апробацию при решении задач идентификации пользователей по биометрическим характеристикам: клавиатурному почерку и геометрическим характеристикам ладони [3]. Однако требование высокой производительности к УРО обуславливает реализацию его в виде специализированного аппаратного средства с максимально возможной степенью параллелизма выполнения операций. Анализ вычислительной сложности выражений модели показал, что наибольший удельный вес по числу операций представляет выражение (2), позволяющее определить принадлежность зарегистрированных значений вектора $\langle S^x \rangle$ векторам диапазонов изменения этих признаков для всех образов D . Число операций по выражению (3) равно произведению $m \cdot n$. Для практических задач число признаков обычно не менее 10 ед., число образов-эталонов составляет от десяти до нескольких сотен. При этом вычислительная сложность выражения (2) в основном определяет производительность УРО. В научно-технической литературе по распознаванию образов известны устройства, в основе работы которых лежит принцип последовательных проверок поступившего значения каждого признака на принадлежность всем образам базы эталонов, при этом число проверок определяется произведением $m \cdot n$ [4, 5]. Последовательный характер процедуры проверки приводит к существенному снижению производительности устройств и является их основным недостатком. Анализ структуры и принципа действия известных устройств, а также учет матричного представления параметра $W\{q^x, Q_j\}$ позволил определить гипотезу параллельной обработки массива данных V на основе записи его в виде матрицы в запоминающем устройстве (ЗУ) с ассоциативным принципом выбора v_{ij} одновременно для всех образов-эталонов и сложения результатов выборки последовательно по всем признакам для каждого образа. Данная гипотеза была успешно подтверждена и реализована в виде высокопроизводительного УРО, структурная схема которого представлена на рис. 1 [6].

Характерной особенностью устройства является подключение информационных выходов преобразователя значения признака в код адреса непосредственно к адресным входам ЗУ. Такое подключение также используется при построении быстродействующих амплитудных анализаторов сигналов. Оно позволяет реализовать принцип ассоциативной выборки из ЗУ данных, связанных с преобразованным значением признака по всем образам-эталонам за один такт обращения к памяти.

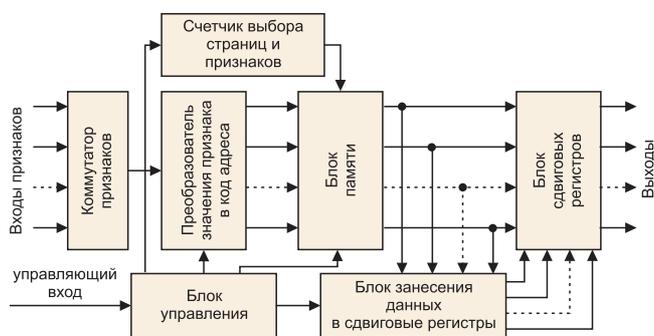


Рис. 1. Структурная схема высокопроизводительного УРО

Нет ничего более удивительного, чем упустить на пользу что-то, чем другие пренебрегли.

Дафна Краузе

венно к адресным входам ЗУ. Такое подключение также используется при построении быстродействующих амплитудных анализаторов сигналов. Оно позволяет реализовать принцип ассоциативной выборки из ЗУ данных, связанных с преобразованным значением признака по всем образам-эталонам за один такт обращения к памяти.

В качестве преобразователя значения признака в код адреса использован аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Память имеет страничную архитектуру, причем число страниц соответствует числу признаков m . Организация каждой страницы соответствует модели матрицы (5), причем каждая строка матрицы хранится в одном n -разрядном слове страницы, а адрес строки (слова) соответствует (ассоциирует) со значением признака вектора $\langle S^x \rangle$.

Блок сдвиговых регистров и блок занесения данных в сдвиговые регистры предназначены для вычисления функционала по выражению (2). Число регистров в блоке соответствует числу образов-эталонов. Число разрядов в регистре зависит от выбранного разделяющего правила и не превышает m .

Процесс обучения модели сводится к заполнению матрицы V по выражению (5). На этапе обучения модели распознавания образов на основе выражения (3) в страницы ЗУ записываются значения $v_{ij}\{\langle s_i \rangle, d_{ij}\}$ для всех образов-эталонов. Каждая ячейка блока памяти содержит данные о кодах классов образов, соответствующих конкретному значению признака распознавания, причем старшие разряды адреса каждой ячейки блока памяти определяют код признака и код адреса страницы блока памяти. Младшие разряды адреса соответствуют значениям этого признака во всем диапазоне его изменения.

При распознавании в исходном состоянии все сдвиговые регистры блока сдвиговых регистров и счетчик адресов страниц и признаков обнулены. Запуск устройства производится подачей на управляющий блок управления сигнала "пуск". При этом в счетчик адресов из блока управления поступает счетный импульс для выбора первого информационного входа устройства, к которому подключен первый признак распознавания, и выбора первой страницы блока памяти. Далее по управляющему сигналу, поступающему со второго выхода блока управления на управляющий вход АЦП, производится преобразование аналогового сигнала первого признака в цифровой код, который поступает на адресные входы младших разрядов блока памяти. По адресу, сформированному из кодов счетчика адресов и информационных кодов АЦП, хранятся коды классов образов (одного или нескольких), которым соответствуют оцифрованные значения признака. Число информационных разрядов блока памяти соответствует числу распознаваем-

Таблица. Схема хранения и выборки данных в/из ЗУ ассоциативного типа

d	$\langle S1 \rangle$	$v1j$	$v11$	$v12$	$v13$	d	$\langle S2 \rangle$	$v2j$	$v21$	$v22$	$v23$	d	$\langle S3 \rangle$	$v3j$	$v31$	$v32$	$v33$	W		
$d1$	$\langle sk1 \rangle$		1	0	1	$d2$	$\langle sk2 \rangle$		0	1	0	$d3$	$\langle sk3 \rangle$		0	0	1			
		
	$\langle s1 \rangle$		0	1	0			$\langle s2 \rangle$		1	0		0		$\langle s1 \rangle$		1	1	0	
	$\langle s0 \rangle$		1	0	1			$\langle s0 \rangle$		1	0		0		$\langle s0 \rangle$		0	0	1	
	$Q1$		0						0						0			0		
	$Q2$			1						1						0		2		
	$Q3$				0						0						1	1		

мых классов образов, причем первый (младший) разряд содержит код принадлежности первого класса образов, второй разряд – код принадлежности второго класса образов и т.д. Например, наличие единичного кода в младшем разряде свидетельствует о том, что значение признака, соответствующее адресу, по которому хранится эта единица, принадлежит первому классу образов. Соответственно наличие единицы во втором или в любом другом разряде свидетельствует о принадлежности замеренного значения соответственно второму или другому образу. Наличие единиц в двух и более разрядах свидетельствует о принадлежности данного значения признака соответствующим классам образов. Наличие нуля в информационном разряде свидетельствует о непринадлежности конкретного значения признака данному классу образов. При этом номер сдвигового регистра соответствует номеру информационного разряда блока памяти и номеру класса образов. На этом завершается процедура проверки значения первого признака на соответствие для всех классов. Далее, аналогично по сигналам блока управления через многоканальный коммутатор к информационному входу АЦП подключается информационный канал второго признака распознавания, а на адресные входы старших разрядов блока памяти поступает код адреса, определяющий вторую страницу блока памяти для значений и кодов классов второго признака распознавания. После аналого-цифрового преобразования значения второго признака и считывания из блока памяти код классов образов аналогично предыдущему коду заносится в соответствующий регистр блока сдвиговых регистров. Идентификация образа q^x производится по окончании проверки всех признаков по конечному состоянию разрядов сдвиговых регистров блока сдвиговых регистров с использованием выражения (4). При наличии ситуации, когда один или несколько признаков распознавания случайно выходят за границы диапазонов одного класса образов или попадают в диапазоны изменения других классов, в предлагаемом устройстве ошибки не происходит, поскольку результат распознавания формируется по большинству признаков.

В таблице для иллюстрации работы разработанного устройства представлена схема хранения и выборки данных в ЗУ, а также порядок вычисления общей меры близости W .

В качестве примера выбрана задача распознавания при числе информативных признаков $m = 3$ и числе возможных классов образов $n = 3$. Значения $\langle s0 \rangle - \langle sk1 \rangle$ представляют собой последовательные адреса первой страницы $\langle S1 \rangle$. Диапазон этих адресов определяет диапазон изменения первого признака $d1$. Аналогично в таблице представлены страницы ЗУ для хранения данных по второму и третьему признакам. В прямоугольниках, выделенных жирной линией, приведены возможные на момент распознавания значения признаков: $\langle s1 \rangle, \langle sk2 \rangle, \langle s0 \rangle$ – соответственно по первому, второму и третьему признакам, и соответствующие им меры близости для трех классов: $v1j, v2j$ и $v3j$. В нижней части таблицы выделены единичные значения оценок мер близости и значения результирующей меры близости для каждого класса образов (0, 2, 1). Как видно из таблицы, в данном примере исследуемый образ q^x отнесен к классу $Q2$.

Как следует из описания работы устройства, проверка принадлежности значения каждого признака производится одновременно для всех образов Q . При этом число проверок равно числу признаков распознавания m , то есть увеличение производительности предлагаемого устройства по сравнению с известными происходит в n раз и растет с увеличением числа образов множества Q .

К дополнительным отличительным достоинствам предлагаемого устройства по сравнению с известными следует отнести:

- адаптивность к изменению числа признаков распознавания и числу образов-эталонов без изменения структуры;
- возможность использования в задачах распознавания, в которых диапазоны признаков для различных эталонов могут не пересекаться, но возможны случайные выходы значений признаков за заданные диапазоны, достоверность распознавания при этом не ухудшается;
- возможность применения в задачах, когда диапазоны могут пересекаться; в данном случае для удобства обработки диапазоны выбираются равными; при этом большие диапазоны признаков, например признака $s_i (i = 1, m)$, подразделяются на равные поддиапазоны, внутри которых изменение признака s_i рассматривается как изменение отдельного признака, например s_{i1}, s_{i2} и так далее.

Описанное устройство предназначено для идентификации восьми классов образов по тридцати двум признакам. Оно построено на доступной элементной базе, в частности, в качестве коммутатора признаков выбрана сдвоенная микросхема 16-канального коммутатора K591KH3, в качестве 10-разрядного АЦП – микросхема K1113PB1A, блок ЗУ построен на базе перепрограммируемой микросхемы памяти K1624PP1 с возможностью наращивания числа эталонов по восемь образов.

Разработанное устройство предназначено для диагностирования технологического состояния алюминиевого электролизера. Оно может быть применено как средство технической диагностики объектов нефтегазодобывающего профиля, например, при проведении геологических исследований буровой скважины, для оценки технологического состояния насосно-компрессорных труб и долота буровой установки, а также в системах контроля и управления доступом в АСУТП.

Список литературы

1. *Иванов А.И.* Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. Пенза: Изд. Пензенского Гос. университета, 2000.
2. *Аралбаев Т.З.* Построение адаптивных систем мониторинга и диагностирования сложных промышленных объектов на основе принципов самоорганизации. Уфа: Изд-во "Гилем", 2003.
3. *Африн А.Г., Адигамов О.И.* О реляционном подходе к биометрической идентификации пользователя //Перспектива/ Сборник статей молодых ученых. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006.
4. *Лазаретин В.И., Ордынский М.А., Полежайченко И.Б. и др.* Устройство для распознавания образов. А.с. №860100. Опубл. 30.01.81 в Б.И. №32, МКИ G 06 K 9/00.
5. *Аралбаев Т.З.* Устройство для распознавания образов. Патент РФ на изобретение № 2195702. / Опубл. в БИ 27.12.2002, № 36.
6. *Аралбаев Т.З., Африн А.Г.* Устройство для распознавания образов. Решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2006106322/09(006840) от 28.02.2006.

Африн Алексей Григорьевич – инженер,

Аралбаев Таибулат Захарович – д-р техн. наук, ст. научный сотрудник, зав. кафедрой вычислительной техники Оренбургского государственного университета.

Контактный телефон (353-2) 55-73-52. E-mail: atz53@mail.ru info@orenufuli.ru



LabVIEW 8.5 позволяет инженерам и ученым задействовать всю мощь многоядерных

Компания National Instruments представила LabVIEW 8.5, новейшую версию среды графической разработки систем тестирования, управления и программирования встроенных систем.

Графическое программирование многоядерных систем и ПЛИС. Благодаря концепции параллельного потока данных LabVIEW созданные приложения легко переносятся на многоядерные

и ПЛИС системы при решении задач потоковой обработки данных, управления, анализа и обработки сигналов. Основанная на свойствах многопоточности, присущих и более ранним версиям, LabVIEW 8.5 более эффективно распределяет выполнение пользовательских приложений на несколько ядер. Это достигается благодаря обновленным драйверам и библиотекам, поддерживающим многопоточность, и приводит к увеличению производительности различных приложений, таких как обработка радиочастотных сигналов, высокоскоростной цифровой ввод/вывод данных и тестирование сигналов смешанного типа.

Начиная с версии 8.5, модуль LabVIEW Real-Time, предназначенный для разработки приложений жесткого РВ, поддерживает технологию симметричной многопроцессорной обработки (SMP), благодаря которой у разработчиков встроенных и промышленных систем теперь есть возможность распределять задачи по нескольким ядрам без потери детерминизма. В последней версии LabVIEW пользователи могут сами назначать ядро для обработки определенных участков кода, что позволяет точно настроить работу систем РВ и изолировать критические по времени исполнения секции на выделенном ядре. Для решения более сложных проблем отладки и оптимизации кода необходимых, при разработке многоядерных приложений РВ, предлагается NI Real-Time Execution Trace Toolkit 2.0. Этот модуль отображает временные соотношения между секциями кода, отдельными потоками и обрабатываемыми ядрами во время исполнения кода.

Благодаря неотъемлемому параллелизму LabVIEW – это идеальная платформа для разработки приложений для ПЛИС, создание которых в LabVIEW 8.5 стало еще проще. Новый мастер создания приложений для ПЛИС (FPGA Project Wizard) позволяет автоматически сгенерировать код для осуществления ввода/вывода сигналов, настроек тактирования, а также для реализации счетчиков, таймеров и квадратных датчиков. С помощью этого мастера инженеры и учёные смогут автоматически сгенерировать сложный код для высокоскоростной передачи данных с использованием механизма DMA (прямого доступа к памяти). Также в LabVIEW 8.5 улучшены функции многоканальной фильтрации и ПИД управления, необходимые в приложениях

управления механизмами, что позволяет значительно снизить затраты ресурсов ПЛИС в многоканальных задачах.

Модуль Statechart для моделирования и создания сложных систем. Диаграмма состояний – это популярное средство при разработке конечных автоматов, предназначенное для моделирования встроенных систем и систем РВ, они отражают реакцию и взаимосвязь событий. Конечные автоматы часто используются для решения задач по созданию цифровых протоколов связи, контроллеров механизмов и защитных систем. Новый модуль Statechart помогает разработчикам описывать и моделировать эти взаимосвязи событий с помощью высокоуровневого унифицированного языка моделирования UML. Модуль Statechart встроен в среду графического программирования LabVIEW, и у разработчиков есть единая платформа для создания, моделирования и воплощения систем, совмещающих знакомую концепцию диаграмм состояний с обработкой реальных сигналов на детерминированных системах РВ или ПЛИС.

Измерение и управление в машиностроении. В LabVIEW 8.5 представлен широкий спектр обновленных средств для решения задач ввода/вывода, измерения и представления результатов при создании промышленных автоматизированных систем на основе ПЛК. Новая библиотека драйверов OPC расширяет возможности взаимодействия и практически удваивает число поддерживаемых ПЛК и промышленных устройств. В LabVIEW 8.5 встроены средства для проведения виброизмерений, порядкового анализа и захвата видеоизображения для промышленных систем мониторинга и контроля. Для удобства работы с многоканальными приложениями разработан редактор множества переменных, позволяющий быстро и без усилий настраивать и редактировать сотни меток ввода/вывода с помощью гибкого интерфейса. Также в LabVIEW 8.5 предлагаются гибкие средства отображения каналов для создания надежных промышленных пользовательских интерфейсов и интерактивный подход drag-and-drop для привязывания меток ввода/вывода напрямую к пользовательскому интерфейсу на промышленных сенсорных панелях и КПК под управлением Windows CE.

Дополнительные возможности LabVIEW 8.5: поддержка процессоров Freescale ColdFire и пробный комплект с поддержкой ОС QNX; средства управления файлами проекта и слияния графического кода при командной разработке; средства низкоуровневого управления памятью для оптимизации производительности; новые библиотеки линейной алгебры BLAS; улучшенные средства нахождения границ при обработке изображений и обновленные алгоритмы для различных демодуляторов и схем кодирования каналов; средства для разработки систем управления и симуляции, например модель прогнозирующего управления и аналитическое конструирование ПИД контроллера; улучшенная поддержка скриптов м-файлов.

[Http://ni.com/russia](http://ni.com/russia)