

УДК 519.87

О.Ф. МИХАЛЬ

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛАБО СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБРАЗОВ НА ЛОКАЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМАХ

Введение.

Задача *распознавания слабо структурированных образов* (РССО), приобрела актуальность в связи с развитием систем технического зрения для робототехники. Интеллектуальный контекст задачи (обучаемость систем РССО) связан с использованием методов *нечеткой логики* (НЛ) [1]. Представление информации на основе *лингвистических переменных* (ЛгП) соответствует парадигмам человеческого мышления, что является аспектом искусственного интеллекта. Прогресс в технических системах с использованием принципов НЛ сопровождается повышением уровня технических требований ко вновь разрабатываемым нечетким системам, прежде всего в части производительности. Перспективен принцип *локальной параллельности* (ЛП) [2, 3], позволяющий существенно экономить ресурсы используемой вычислительной системы. Цель настоящей работы - описание организации систем РССО, построенной на ЛП алгоритмах НЛ.

1. Распознавание образов.

Структурированность – есть наделенность структурой. На интуитивном уровне под структурой понимается совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях [4]. В математике – *структура* есть родовое название, объединяющее понятия, применимые к множествам, произвольной природы. Для определения структуры задают *отношения*, в которых находятся элементы множеств, и постулируют, что отношения удовлетворяют аксиомам структуры [5]. Объекты могут быть структурированы в большей или меньшей степени, в зависимости от числа устойчивых связей. Термин “слабая структурированность” понимается нами далее в интуитивном смысле, с учетом следующего разъяснения.

Описание предметной области (ПО) есть интеллектуальный процесс, включающий отображение множества объектов ПО на элементы модели, и перевод связей между объектами на язык отношений между элементами модели. Элементы модели есть распознаваемые образы – отображения объектов ПО из пространства ПО в *перцепционное пространство* (ПП) (пространство восприятия); связи и отношения – это *распознавательные признаки* (РПр), наблюдаемые в ПП. Объект ПО всегда тождественен самому себе. ПП ограничено техническими характеристиками системы. Поэтому устойчивые связь объектов ПО отображаются во множество РПр неадекватно. Т.о. понятие слабой структурированности приобретает смысл: образ может быть назван слабо структурированным, если не все свойства соответствующего объекта ПО отображены в виде РПр при отражении пространства ПО в ПП. Поэтому, применительно к системам РССО, структурированность есть свойство распознающей системы, а не ПО.

Система РССО имеет датчики для восприятия пространства ПО с находящимися в нем объектами и получения образов объектов в ПП. Информация, находящаяся в ПП, обрабатывается: полученные значения интерпретируются как РПр. Знания, накапливаются в *экспертной системе* ЭС. Система обучается на наборах РПр тестовых объектов; затем заполняется наборами РПр образцовых объектов; наконец, посредством сравнения РПр, идентифицирует образ распознаваемого объекта с одним из образцовых. Этим определяются три альтернативных режима работы РССО: обучение, заполнение базы данных (БД)

и собственно распознавание. Рассмотрим более подробно структуру и процесс обучения ЭС со ссылками на рис. 1(а-и). Имеется обучающая последовательность из n объектов $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$, каждый из которых характеризуется m РПр $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{im}$. РПр определяются посредством замеров, производимых на образах объектов в блоке РПр. Т.о., для ЭС i -й объект A_i существует в виде набора значений РПр P_{ij} ($j=1,2,\dots,m$). На рис. 1(а) значения замеров j -го РПр для всех n объектов представлены в виде отсчетов по оси абсцисс, которые группируются ($G_1, G_2, \dots, G_5$) в соответствии со структурой объектов обучающей последовательности. Группируемость наблюдается на рис. 1(а) “визуально”, в виде областей сгущения отсчетов. Если обучающая последовательность является *репрезентативной*, группирование отражает определенные свойства ПО по j -му РПр. При этом любой следующий вводимый отсчет (P_{xy}) в интуитивном смысле может быть соотнесен с одной из образовавшихся групп: $P_{xy} \in G_3$. “Визуально” это будет проявляться как сохранение областей сгущения.

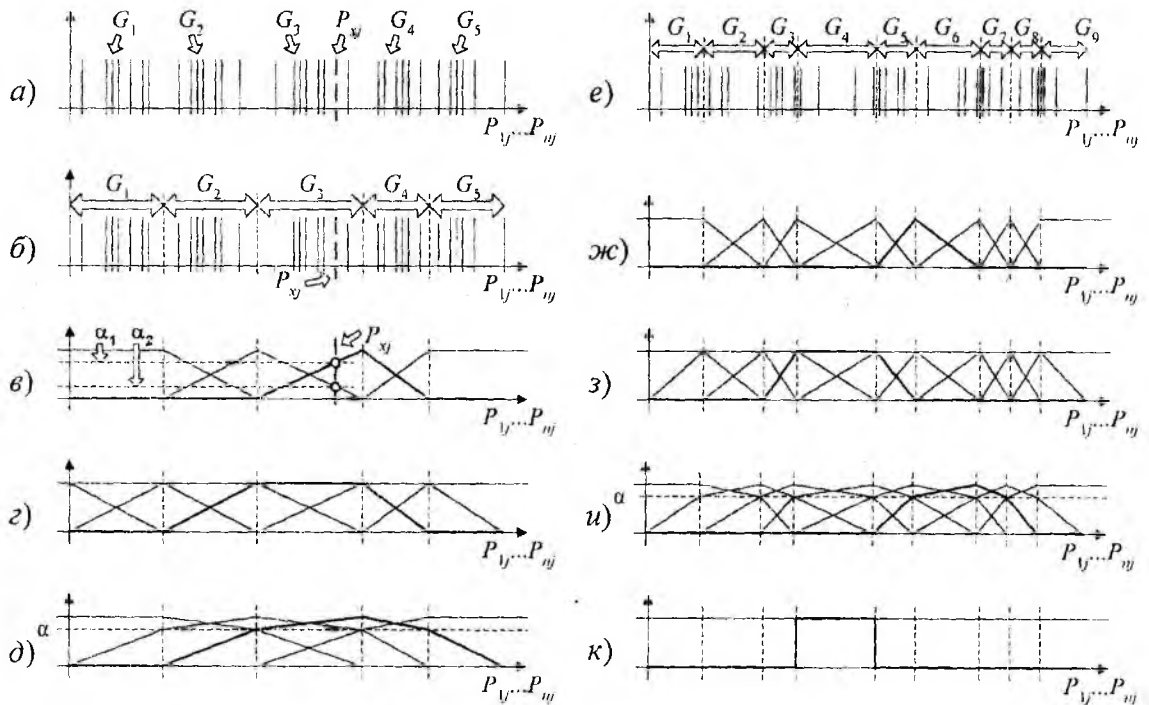


Рис. 1. Группировка значений j -го распознавательного признака (а, б, е) и построение профилей функций принадлежности термов лингвистической переменной (в-д, ж-к).

На рис. 1, б, е представлены два варианта разбиения. Исходными здесь являются заданное количество групп отсчетов p , не пересекаемость ($G_k \cap G_l = \emptyset$; $k, l=1,2,\dots,p$; $k \neq l$) и по возможности одинаковое количество N_r ($r=1,2,\dots,p$) отсчетов в группах: $N_1=N_2=\dots=N_{(m-pq)}=q+1$, $N_{(m-pq+1)}=N_{(m-pq+2)}=\dots=N_p=q$; где $q=[m/p]$; квадратными скобками обозначено взятие целой части числа. На рис. 2, б – $p=5$, на рис. 1, е – значение $p=9$. В обоих случаях $m=32$. Соответственно, $q=6$ (б) и $q=3$ (е). Объемы групп, как показано, при этом составляют (7, 7, 7, 6, 6) (б) и (4, 4, 4, 4, 4, 4, 3, 3, 3) (е) отсчетов. Границы между группами определены как полусуммарные значения соседних отсчетов, отнесенных к разным группам. Процедура группировки отличается однозначностью при $p \leq m$. При $p > m$ процедура теряет смысл: часть групп остаются пустыми, следовательно нет возможности построить границы раздела между ними.

Остальные графики рис. 1 иллюстрируют процесс построения профилей функций принадлежности (ФП), применяемых в НЛ [1] для описания нечетких объектов и ситуаций.

Представлены, в частности, треугольный (ϵ , ζ), трапециидальный (z , 3) и сложный “двугруженный” (∂ , u) профили ФП. Профили строятся по сгруппированным данным (b , e) и в нечетко-логическом смысле интерпретируются как термы ЛгП, соответствующей j -му РПр. По построению, треугольных профилей ($p-1$) штук, трапециидальных ($p-2$), “двугруженных” – ($p-3$), поскольку указанные профили строятся, соответственно, по двум, трем и четырем соседствующим группам отсчетов. Выбор уровня α при построении “двугруженных” профилей (∂ , u) должен осуществляться с привлечением дополнительных соображений. В остальном, нормировка оси ординат соответствует представлениям НЛ.

Выбор вида ФП для использования в ЭС определяется особенностями ПО, требованиями к точности ее описания и др. Допустим простейший прямоугольный профиль ФП (κ), но применительно к ЭС он мало интересен, т.к. соответствует четкому случаю. Ниже рассмотрены ФП треугольного профиля (ϵ , ζ), экономные при описании и обработке. Так, система, иллюстрируемая рис. 1 ϵ , ζ , допускает не менее двух альтернатив.

После рассмотрения всей обучающей последовательности, разбиение на группы закончено, определены границы между группами, построены профили ФП термов ЛгП отдельных РПр, - система обучена: обладает набором критериев для классификации образцовых объектов.

2. Локально-параллельная экспертная система. Предварительный вариант.

НЛ система на ЛП алгоритмах тем эффективнее, чем меньше в ней промежуточных конкатенаций – деконкатенаций. Для этого НЛ операции должны быть упорядочены по форматам представления входных и выходных данных. Рассмотрим вариант ЛП реализации ЭС с БЗ применительно к задаче РССО, представленной выше.

Объект A_i характеризуется m РПр P_{ij} ($j=1,2,\dots,m$), по каждому из которых строится ЛгП. При заполнении БД каждый из образцовых объектов A_i “промеряется” по каждому из РПр P_{ij} . Результат – значение РПр – попадает в один из интервалов G . Этим объекту A_i по РПр P_{ij} ставится в соответствие несколько термов ЛгП, соответствующей РПр P_{ij} ; а именно, термы с ненулевым значением ФП. При треугольных профилях таких термов не более двух. В ЛП представлении каждый из термов изображается в виде конкатенации значений РПр на каждом из интервалов G . Так, значение P_{xy} (рис. 1 a) попадает в интервал G_3 (b), при этом имеется два ненулевых терма (ϵ),

$$(00\dots0)(00\dots0)(\alpha_1)(00\dots0)(00\dots0)_2; (00\dots0)(00\dots0)(\alpha_2)(00\dots0)(00\dots0)_2; \quad (1)$$

(числа условно представлены в двоичной системе счисления, отдельные сегменты выделены скобками), в которых P_{xy} соответствуют ненулевые значения ФП: α_1 и α_2 . В таком виде к ним применимы ЛП операции НЛ. Поскольку $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$, запись (1) информационно избыточна. Ситуация однозначно описывается указанием номера интервала и одного из значений ФП, т.е. парой (G, α) . Указанные данные целесообразно конкатенировать в РгП. Элементы в паре (G, α) несут разную нагрузку по точности значения, соответствующего РПр: G указывает группу (грубый признак), α – уточняет значение внутри группы (точный признак). Поиск по БД целесообразно вести сначала по G (сужение области поиска), а затем по α (уточнение в рамках суженной области). Для реализации такой схемы удобно конкатенировать G и α в разные РгП. Каждое РгП будет содержать при этом информацию по нескольким РПр.

На рис. 2 представлены профили термов ЛгП, соответствующих трем РПр. Вертикальными пунктирными линиями обозначены значения РПр, измеренные для нескольких объектов. Четыре из них ($A_1 - A_4$) образцовые, образующие БД, пятый (A_5) и шестой (A_6) – распознаваемые. Интервалы значений РПр, в которые попали отсчеты значений A_i ($i=1,2,\dots,6$), обозначены под осью абсцисс литерами G_j (j – номер интервала слева направо).

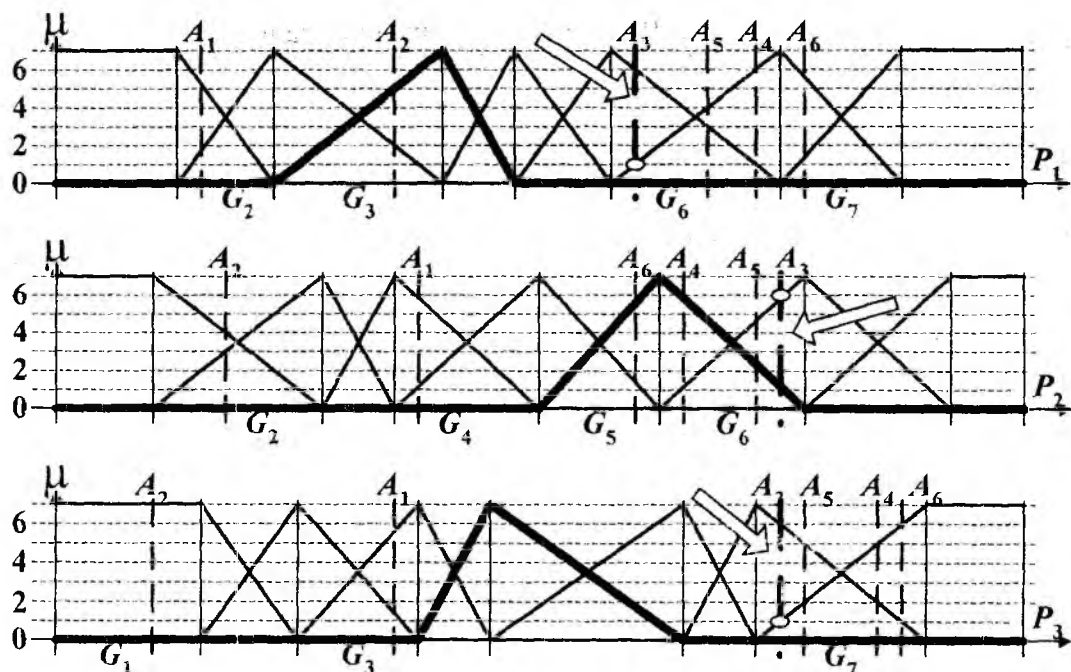


Рис. 2. Профили термов лингвистических переменных распознавательных признаков $P_1 - P_3$, с отсчетами значений, соответствующих объектам $A_1 - A_6$.

Конкатенации значений РП_р имеют вид (см. левую колонку, одинарную индексацию):

$$\begin{aligned}
 A_1(G) &= A_{11}(G) = (010)(100)(011)_2; & A_{21}(G) &= (001)(011)(011)_2; \\
 A_2(G) &= A_{12}(G) = (011)(010)(001)_2; & A_{22}(G) &= (011)(001)(001)_2; \\
 A_3(G) &= A_{13}(G) = (110)(110)(111)_2; & A_{23}(G) &= (101)(110)(110)_2; \\
 A_4(G) &= A_{14}(G) = (110)(110)(111)_2; & A_{24}(G) &= (110)(101)(111)_2; \\
 A_5(G) &= A_{15}(G) = (110)(110)(111)_2; & A_{25}(G) &= (110)(110)(110)_2; \\
 A_6(G) &= A_{16}(G) = (111)(101)(111)_2; & A_{26}(G) &= (110)(101)(111)_2;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1(\alpha) &= A_{11}(\alpha) = (010)(001)(101)_2; & A_{21}(\alpha) &= (111)(100)(011)_2; & (2) \\
 A_2(\alpha) &= A_{12}(\alpha) = (101)(011)(111)_2; & A_{22}(\alpha) &= (010)(111)(111)_2; \\
 A_3(\alpha) &= A_{13}(\alpha) = (001)(110)(001)_2; & A_{23}(\alpha) &= (100)(010)(100)_2; \\
 A_4(\alpha) &= A_{14}(\alpha) = (110)(001)(101)_2; & A_{24}(\alpha) &= (001)(100)(011)_2; \\
 A_5(\alpha) &= A_{15}(\alpha) = (100)(101)(010)_2; & A_{25}(\alpha) &= (011)(001)(101)_2; \\
 A_6(\alpha) &= A_{16}(\alpha) = (001)(110)(110)_2. & A_{26}(\alpha) &= (110)(010)(011)_2.
 \end{aligned}$$

Кратко поясним структуру записи. Сегменты, соответствующие P_1, P_2, P_3 упорядочены слева направо. В $A_3(G)$ двоичное представление $(110)(110)(111)_2$ соответствует посегментному десятичному представлению $(6)(6)(7)_{10}$. Сопоставим с рис. 3: объект A_3 по РП_р P_1 и P_2 находится в шестой группе (G_6), по РП_р P_3 – в седьмой группе (G_7). Принадлежность к соответствующим группам на рисунке выделена стрелками. В $A_3(\alpha)$ двоичное представление $(001)(110)(001)_2$ соответствует посегментному десятичному представлению $(1)(6)(1)_{10}$. Сопоставим с рис. 2: объект A_3 по РП_р P_1 и P_3 имеет значение восходящего фронта ФП $\bar{\mu} = 1$, по РП_р P_2 – значение $\bar{\mu} = 6$. Точки пересечения восходящих фронтов с соответствующими уровнями $\bar{\mu}$ выделены кружками.

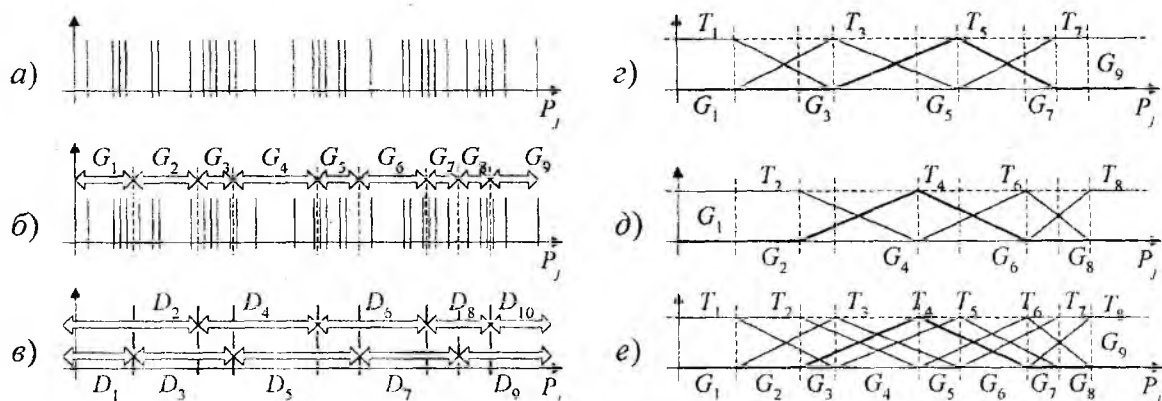


Рис. 3. Модифицированная лингвистическая переменная с двумя перекрывающимися группами термов. Группировка значений распознавательного признака (а-в) и построение профилей функций принадлежности (г-е).

Распознавание объекта A_5 осуществляется сравнением с образцовыми объектами сначала по грубому признаку, затем - по точному. Сравнение по грубому признаку состоит в сопоставлении числа $A_5(G)$ последовательно с числами $A_1(G) - A_4(G)$. Равенство чисел соответствует совпадению во всех сегментах; неравенство – расхождение распознаваемого набора признаков с образцовым хотя бы в одном сегменте. В рассматриваемом примере $A_5(G) = A_3(G)$ и $A_5(G) = A_4(G)$. Таким образом, на этапе грубого сравнения поле поиска в БД сузилось до двух объектов: A_3 и A_4 .

Сравнение по точному признаку состоит в сопоставлении значений ФП. Как отмечалось, благодаря тому, что известен аналитический вид профиля ФП, для заданного интервала может указываться только одно отсчетное значение. В рассматриваемом примере принято, что указывается значение ФП по восходящему профилю. Значения РПр по грубому признаку совпадают; это значит, что в $A_i(G)$ совпадают интервалы G_j , для которых указаны значения точных признаков в $A_i(\alpha)$. Поэтому, применительно к рассматриваемому примеру, значения ФП в $A_5(\alpha)$ могут непосредственно посегментно сопоставляться со значениями в $A_3(\alpha)$ и $A_4(\alpha)$. В качестве меры близости удобно использовать абсолютное расстояние по Хеммингу:

$$\rho(A, B) = \sum_{i=1}^p |\mu(a_i) - \mu(b_i)|, \quad (3)$$

где A, B – сравниваемые объекты (образцовый и распознаваемый);

p – число РПр;

i – текущий номер РПр;

a_i и b_i – измеренные значения текущего РПр, ФП соответствующих РПр.

Данная процедура не содержит операций деления (как для относительного расстояния) и извлечения корня (как для расстояния в метрике Евклида), что удобно для ЛП варианта реализации. Ниже представлено пошаговое описание и тестовый пример ЛП варианта соответствующего алгоритма.

Обозначения. Символы $\wedge$, $\vee$ и $\langle \text{xor} \rangle$ обозначают побитовые логические операции;

q – длина сегмента; $(\dots \gg q)$ – поразрядный сдвиг на q бит в сторону младших разрядов; i, p – текущее и предельное значения индекса цикла суммирования (см. (2)). Применительно к ЛП алгоритмам, $p \leq r/q$, где r – разрядность вычислительного средства, на котором реализуется рассматриваемый ЛП алгоритм. Для отдельного манипулирования сегментами, в ЛП алгоритмах константы используются Константы в E_0, E_1, E_2, L_1, L_2 , формирование которых описаны в [2, 3]. Для результатов прореживания РГП A использу-

ются обозначения A_1 и A_2 , не тождественные с обозначениями, примененными на рис. 3 для отсчетов A_1 и A_2 .

Локально-параллельный алгоритм нахождения абсолютного расстояния Хемминга.

Шаг 1. Прореживание исходных РгП:

$$A_1 = A \wedge E_1(1); A_2 = A \wedge E_2(1); B_1 = B \wedge E_1(1); B_2 = B \wedge E_2(1);$$

Шаг 2. Разметка одной из пар РгП (установка единиц в младших разрядах пустых сегментов): $A_1 = A_1 \vee L_2; A_2 = A_2 \vee L_1$.

Шаг 3. Формирование полумасок, соответствующих

$$“A > B”: M_1 = (A_1 - B_1) \wedge L_2; M_2 = (A_2 - B_2) \wedge L_1;$$

Шаг 4. Формирование полной маски, соответствующей

$$“A > B”: M = M_1 \vee M_2; M = M - (M > n);$$

Шаг 5. Формирование сопряженной маски, соответствующей

$$“A \leq B”: \bar{M} = M < xor > E_0;$$

Шаг 6. Формирование посегментного модуля разности:

$$S = ((A \wedge M) - (B \wedge M)) \vee ((B \wedge \bar{M}) - (A \wedge \bar{M}));$$

Шаг 7. Начало цикла суммирования сегментов: $i = 1$.

Шаг 8. Прореживание частичной суммы: $S_1 = S \wedge E_1(i); S_2 = S \wedge E_2(i);$

Шаг 9. Частичное суммирование: $S = S_1 + (S_2 >> in);$

Шаг 10. Приращение i : $i++$. При $i < p$ переход на Шаг 8; иначе возврат текущего значения S в качестве результата. Конец алгоритма.

3. Локально-параллельная экспертная система. Окончательный вариант.

Рассмотренный *предварительный* вариант ЛП организации ЭС удобен для демонстрации принципов кодировки информации, двухуровневого отбора (раздельно по грубым и точным признакам) и ЛП алгоритма определения абсолютного расстояния Хемминга. Ограничение представленного варианта состоит в *детерминированности* отбора по грубому признаку. В нем могут теряться некоторые потенциально правильные решения. Поясним сказанное примером.

Рассмотрим образ A_6 . Как показано на рис. 2, его отсчеты расположены рядом с отсчетами A_4 и принадлежат к одним и тем же термам, построенным на соседствующих группах: $P_1: (G_6, G_7)$, $P_2: (G_5, G_6)$ и $P_3: (G_7, G_8)$. При этом разности значений ФП по соответствующим РПр составляют 0, 0 и 1; т.о. абсолютное расстояние Хемминга равно $(1)_{10}$. Однако, как следует из (2), ни один из образцовых образов $A_1 - A_4$ при отборе по грубому признаку не будет выбран для последующего проведения сопоставления по точному признаку. Это связано с тем, что они принадлежат к разным группам отсчетов. Так что, хотя A_4 и A_6 расположены рядом и имеют *близкие* значения ФП в *совпадающих* термах ЛгП, но по РПр P_1 : $A_6 \in G_7$, $A_6 \in G_7$; по РПр P_2 : $A_4 \in G_6$, $A_6 \in G_5$; только по РПр P_3 : $A_4, A_6 \in G_7$; а для выбора по грубому признаку требуется полное совпадение.

Отмеченное ограничение принципиально отсутствует, если сравнение распознаваемого образа с образцовыми производится непосредственно по профилям ФП. Термы в представлении вида (1) несут полную информацию, что исключает потерю решений. Однако, процедура сравнения при этом становится одноэтапной и чрезвычайно громоздкой, поскольку включает полный перебор БД по полному набору признаков. Ограничение можно обойти, применив *модифицированное* разбиение областей признаков на группы и соответствующее построение нескольких (не менее двух) *перекрывающихся* наборов термов. По существу, речь идет о модифицированном избыточном определении набора термов ЛгП, при котором сохраняется двухэтапность (сравнение по грубым и точным признакам) процедуры сопоставления образов. Предлагаемый подход иллюстрируется рис. 3, на примере одного РПр P_j .

Исходные данные - набор из 33 отсчетов P_j - соответствуют представленным на рис. 1, а. Для построения наборов из n термов с двукратным перекрытием (т.е. в общей сложности $2n$ термов) требуется разбить область P_j на $2n+1$ не перекрывающихся соседствующих интервалов. Выше рассматривалась процедура разбиения области на интервалы с по возможности равномерным распределением отсчетов. При $n=4$ требуется 9 интервалов: $G_1, G_2, \dots, G_9$. Такое разбиение с построением границ раздела по среднему арифметическому соседних отсчетов, относящихся к смежным интервалам, представлено на рис. 1, е и рис. 3, б.

Как отмечалось, построение границ соответствует этапу обучения ЭС. Далее по разбиению области P_j (рис. 3, в) однозначно строятся перекрывающиеся наборы профилей ФП термов (рис. 3, г - первый (нечетный) набор, д - второй (четный) набор, е - два набора вместе) ЛгП, соответствующей РПр P_j . В рассматриваемом примере принята сквозная нумерация термов, слева направо, с расстановкой обозначений $T_1, T_2, \dots, T_8$ на рис. 3, г-е вблизи вершин профилей соответствующих ФП. Способ построения профилей ФП понятен из рис. 3, г-е. Все термы кроме первого (в нечетном наборе) и последнего (в четном) - включают 4 интервала: $T_i: (G_{i-1}, G_i, G_{i+1}, G_{i+2})$. Первый и последний термы строятся по 3 интервалам. Такая структура аналогична (является частным случаем, $\alpha = M/2$) рассмотренной выше (рис. 1, и) системе "двугрубоугольных" профилей ФП. При этом основная часть области значений P_j перекрывается четырехкратно (группы G_3-G_7 , рис. 3, е), ближе к периферии перекрытие уменьшается (G_2, G_8 - трехкратное; G_1, G_9 - однократное), что компенсируется "более определенными" значениями ФП. Особенность представленной структуры - невозможность пропуска решений, типа описанного выше.

При ЛП представлении информации удобно ввести парную нумерацию групп D_1-D_{10} , рис. 3 в. При этом описание принадлежности некоторого отсчета определенной группе значений области P_j сводится к двукратному применению системы описания, согласно рассмотренному выше предварительному варианту. Проиллюстрируем сказанное примером, рис. 4, построенным с использованием данных (2) (обе колонки, двойная индексация).

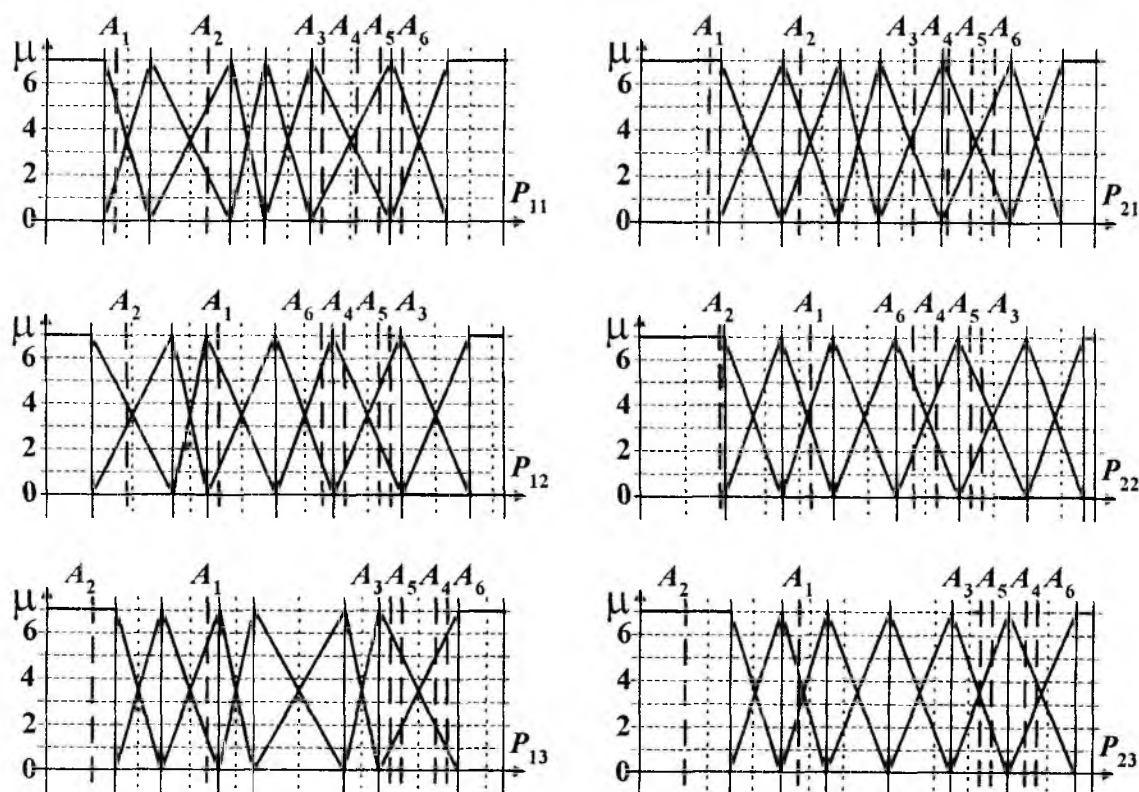


Рис. 4. Профили термов лингвистических переменных с двукратным перекрытием по трем распознавательным признакам.

Сопоставление пары (A_4, A_6) осуществляется в два этапа: (A_{14}, A_{16}) и (A_{24}, A_{26}) . Легко видеть, что $A_{14} \neq A_{16}$ (не совпадают два сегмента) и $A_{24} = A_{26}$. Сказанное соответствует на рис. 5 попаданию отсчетов A_4 и A_6 на графиках P_{11} и P_{12} в *разные группы*, на остальных графиках – в *одну группу*. Поэтому хотя бы по одному набору признаков $(P_{21}-P_{23})$ образ A_4 будет выбран для *точного* сравнения с A_6 .

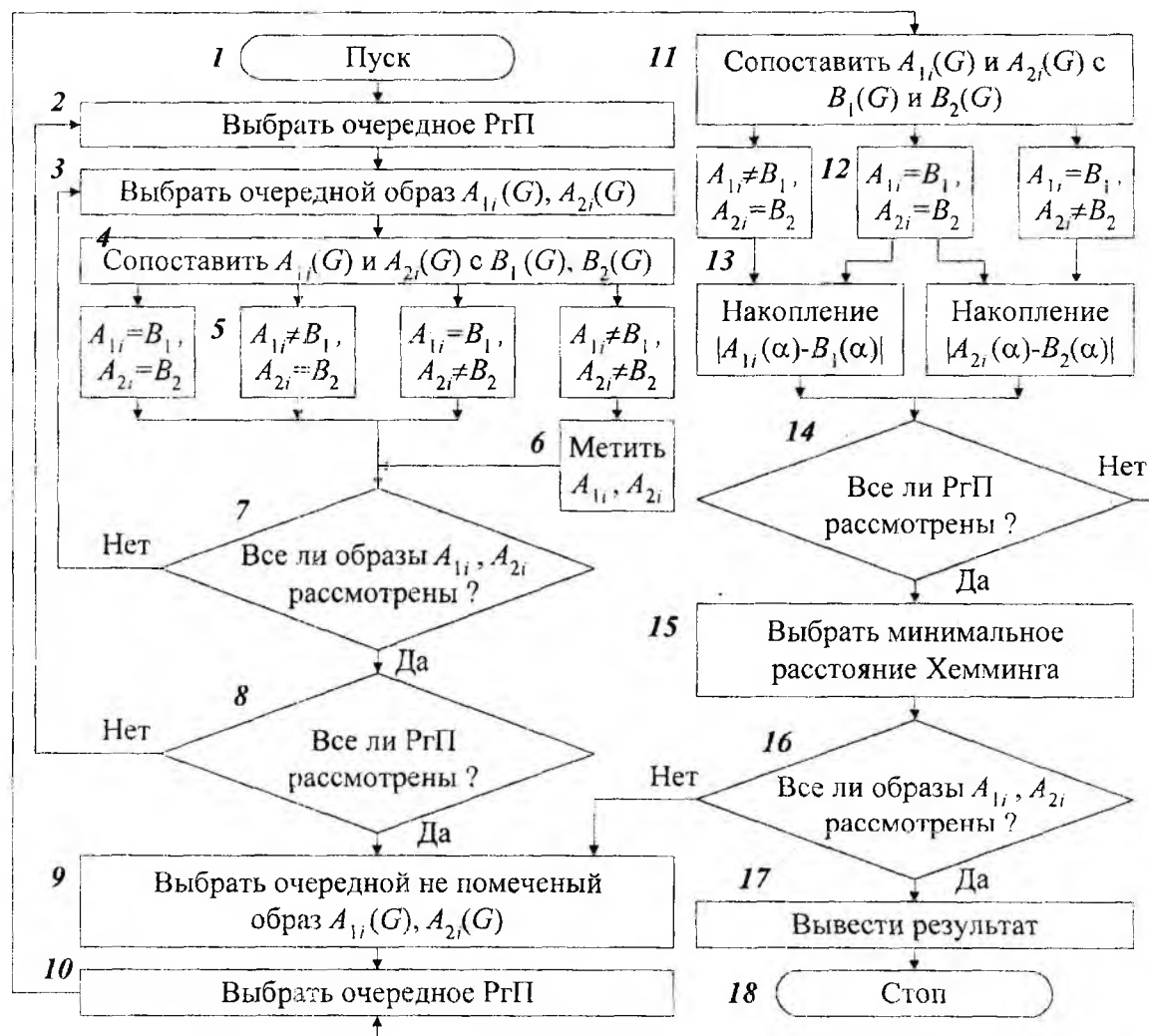


Рис. 5. Блок-схема логической сети алгоритма сопоставления образов.

Алгоритм сопоставления удобно изобразить в виде логической сети рис. 5, аналогично рассмотренному в [6]. Объект, подлежащий распознаванию (B_1, B_2) , сопоставляется с образцовыми объектами (A_{1i}, A_{2i}) . Блоки 1-8 соответствуют грубому сравнению $(A_{1i}(G) с B_1(G) и A_{2i}(G) с B_2(G))$, 9-18 – точному $(A_{1i}(α) с B_1(α) и A_{2i}(α) с B_2(α))$. Обращает на себя внимание двукратное сопоставление $(A_{1i}, A_{2i}) с (B_1, B_2)$: блоки 4-5 и 11-12. Вызвано оно следующим. Как отмечалось, на этапе отбора по грубому признаку осуществляется отсеивание образцовых объектов посредством простановки меток (блок 6); на этапе точного сравнения оставленные (не помеченные) образцовые объекты рассматриваются повторно. При этом если имеется большое число РгП, под каждое из A_{1i}, A_{2i}, B_1 и B_2 имеется несколько РгП. При грубом сравнении сопоставление идет по каждому из РгП раздельно, причем цикл перебора образцовых объектов (3-7) вложен в цикл перебора РгП (2-8), а не наоборот; поскольку при этом в процессе перебора при каждом следующем номере РгП объем образцовых объектов сокращается. При точном сравнении цикл по РгП (10-14) является внутренним, а цикл выбора образцовых объектов (9-16) – внешним. При

этом расчет расстояния Хемминга (3) (накопление модулей разностей 13) осуществляется только для одной из групп (при совпадении по грубому признаку $A_{1i}(G) \neq B_1(G)$, $A_{2i}(G) = B_2(G)$ или $A_{1i}(G) = B_1(G)$, $A_{2i}(G) \neq B_2(G)$ 12), либо для обеих групп (при совпадении по грубому признаку $A_{1i}(G) = B_1(G)$, $A_{2i}(G) = B_2(G)$ 12). Таким образом, сравнение по грубому признаку осуществляется двукратно: первый раз в процессе отсеивания 5, второй раз на уже отобранном ограниченном подмножестве 12.

В результате работы алгоритма выбирается минимальное расстояние Хемминга (блок 15) и, соответствующий, образцовый объект A_i , который отождествляется с распознаваемым объектом B .

Выводы.

Исследованы принципы организации нечеткой системы распознавания слабо структурированных образов при реализации на локально-параллельных алгоритмах. Предложен метод построения термов лингвистических переменных, обеспечивающий приблизительно (эмпирически) равномерное распределение образцовых объектов по группам распознавательных признаков. Предложен двухуровневый вариант системы, в котором осуществлено распознавание сначала по грубым, затем по точным признакам, с форсированным сокращением объема просматриваемого материала, содержащегося в БД, по мере последовательного перехода к новым распознавательным признакам. Предложен локально-параллельный вариант алгоритма определения минимума абсолютного расстояния Хемминга для построения критерия сходства распознаваемого объекта с образцовым. Рассмотренная система реализована в сокращенном варианте, ограниченном по количеству распознавательных признаков.

Список литературы: 1. Л. Заде. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: "Мир". 1976. 2. О.Ф. Михаль, О.Г. Руденко. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Расширенный набор операций. // Доповіді НАН України 2000. № 1. С. 75-78. 3. О.Ф. Михаль, О.Г. Руденко. Принципы организации систем нечеткого регулирования на однородных локально-параллельных алгоритмах. // "Управляющие системы и машины". 2001. №3. С.3-10. 4. БСЭ. М.: "Советская энциклопедия", 1976. Т.24, Кн.1. С.598. 5. Математическая энциклопедия. Под ред. И.М.Виноградова. Т.5, М.: "Советская энциклопедия". 1985. С.249. 6. О.Ф. Михаль. Локально-параллельные однородные алгоритмы нечетких операций, основанных на процедурах сложения, вычитания и сравнения. // "Вестник ХГПУ", Новые решения в современных технологиях, Харьков, 2000. Вып. 118. С. 6-9. 7. О.Ф. Михаль, О.Г.Руденко. Организация эволюционных нечетких экспертных систем на локально-параллельных алгоритмах. // Международная конференция по индуктивному моделированию "International Conference on Inductive Modelling (ICIM - 2002). Львов. Т.3, С. 79 - 84.

Поступила в редколлегию 22.01.2003.