УДК 004.8
ББК 32.813

ОТНОШЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ КОЛОНОК

Чесноков А. М.[1]
(*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва*)

Рассматриваются возможности реализации отношений в интеллектуальных системах на основе колонок. Приводятся основные понятия и определения. Предлагается представление отношений в таких системах, формулируются базовые задачи и задача реализации отношений. Приводится решение задачи реализации отношений с помощью метода поэлементного сравнения и метода пересечений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальные системы на основе колонок, колонка, отношение.

1. Введение

Интеллектуальные системы на основе колонок представляют собой системы, рассматриваемые в рамках следующей модели [3, 5].

Имеется пусть и очень большое, но *конечное множество имен* U, предназначенных для наименования объектов произвольной природы. Не ограничивая общности, считается, что множество имен U является подмножеством множества целых чисел $\mathbb{Z}$. В множестве имен U выделяются непересекающиеся подмножества, получившие название *областей имен*. Выделение областей имен в реальных предметных областях может быть вызвано различными причинами. Например, это может быть связано с целевым назначением имен или с типизацией. Одной

[1] *Александр Михайлович Чесноков, старший научный сотрудник, кандидат технических наук* (*alex-ches@yandex.ru*).

из важнейших причин является необходимость обеспечить отсутствие случайных совпадений имен в различных частях большой системы.

Любое конечное множество имен, принадлежащих тем или иным областям имен, называется *образом*.

Образы любого множества образов P можно перенумеровать, используя для этого имена некоторой области имен U' :

$P = \{p_i \mid i \in U'\}$.

Упорядоченная пара (i, p_i) получила название *колонки*. Колонка обозначается как $(i \mid p_i)$, где i – имя колонки, p_i – образ, содержащийся в колонке. Также используется обозначение $i \to p_i$. В этом случае говорится, что имя колонки i является *ссылкой* или *указателем* на содержащийся в колонке образ p_i. В свою очередь, про сам образ p_i будет говориться, что это образ по имени i или образ, известный под именем i.

Отображение $\varphi : i \to p_i$ называется *отображением наименования*. По умолчанию считается, что отображение наименования является взаимно однозначным. Все случаи, когда это не так, оговариваются особо.

Запомнить образ p *под именем* i, или *присвоить образу* p *имя* i, или *наименовать образ* p *с помощью имени* i – все это означает одно и то же, а именно: в определение отображения наименования φ вносится такое дополнение, что $\varphi(i) = p$.

Имя i, которое еще не использовалось для наименования образов, называется *чистым*, или *пустым* именем. Его можно представить как колонку, имеющую пустой образ, т.е. колонку вида $(i \mid \varnothing)$ или $i \to \varnothing$, где $\varnothing$ – пустое множество.

В образы колонок входят имена других колонок, а также чистые имена. Следовательно, образ колонки полностью состоит из имен других колонок, каждое из которых служит указателем на соответствующий образ, возможно, пустой. В свою очередь любое имя из непустого образа также указывает на свой образ и т.д. В результате образуется сложная структура колонок.

Индексом называется любое конечное множество колонок. Состав любого индекса может меняться за счет добавления или удаления колонок. Эти операции называются *сложением* и *вычитанием индексов* и обозначаются через + и –.

Индекс может быть представлен в виде таблицы, состоящей из вертикальных колонок (столбцов) переменной высоты. В нижней строке таблицы, под чертой, имена колонок. Над именем каждой колонки перечислены все имена, входящие в образ колонки. По умолчанию считается, что имена колонок и имена в образах принадлежат различным областям имен.

Если образы представляют собой неупорядоченные множества имен, то порядок записи имен в образах колонок может быть произвольным. Если же образы упорядочены, то запись имен в образах колонок выполняется в определенном порядке, например, снизу вверх, т.е. первое имя образа в первой строке над чертой, второе – во второй и т.д. В качестве простейшего примера на рис. 1 показан индекс A с образами в виде неупорядоченных множеств, состоящий из трех колонок $(1 | \{1, 3\})$, $(1 | \{2, 3, 4\})$ и $(3 | \{4, 5\})$.

$$\begin{array}{ccc} & A & \\ & 4 & \\ 3 & 3 & 5 \\ 1 & 2 & 4 \\ \hline 1 & 2 & 3 \end{array}$$

Рис. 1.

Интеллектуальная система на основе колонок представляет собой один или несколько индексов и работающий с ними механизм, который называется *машиной колонок*. Получая информацию о внешним мире в виде образов, машина колонок формирует новые колонки, изменяет уже существующие, удаляет ненужные и выполняет все другие операции с колонками.

Знания в рассматриваемых системах представлены с помощью колонок, а в основе процесса накопления знаний лежит запоминание новых образов под определенными именами. При этом *элементарными базовыми задачами*, без которых невозможно функционирование системы, очевидно, являются *прямая* *задача* – по образу получить его имя, и *обратная задача* – по имени получить соответствующий образ. Частью прямой задачи является запоминание новых образов. Если при решении прямой задачи обнаруживается безымянный образ, то машина вывода присваивает ему некоторое имя, которое в данном случае и будет являться решением прямой задачи.

Решая базовые задачи, машина колонок фактически реализует переход по ссылкам $p_i \to i$ в прямой задаче и $i \to p_i$ в обратной задаче. Тем самым обеспечивается основа, на которой строится решение всех остальных задач. Решение любой такой задачи по сути представляет собой цепочку переходов по ссылкам до момента получения результата.

Так как в рассматриваемой модели всё конечно, то решение базовых задач существует всегда. При этом общим универсальным методом их решения является метод на основе поэлементного сравнения образов [3–5]. С точки зрения теории этого достаточно для того, чтобы оценивать возможности решения различных задач с помощью интеллектуальных систем на основе колонок. Однако, если говорить о практическом применении таких систем, то необходимы более эффективные методы решения базовых задач, особенно задач большой размерности.

Одним из возможных методов более эффективного решения базовых задач является *метод пересечений*. Идея метода пересечений восходит к книжному индексу. В нем для каждой рубрики приведено множество указателей на те страницы книги, где эту рубрику можно обнаружить. Запросу из нескольких рубрик, очевидно, соответствует пересечение множеств указателей для этих рубрик. Подобные методы для таблиц указателей (индексов) используется в поисковых машинах [6].

В начале 2000-х гг. А.М. Михайлов показал, что метод пересечений может использоваться для работы с образами [8, 9]. В рамках возникшего направления, получившего название индексного подхода, метод пересечений применяется главным образом для решения задач распознавания [1, 2, 10].

На основе результатов [8, 9] был предложен вариант метода пересечений, предназначенный для исследований в области интеллектуальных систем на основе колонок [3, 5]. Для этого варианта были получены необходимые и достаточные условия существования решения прямой задачи, выполнение которых мало сказывается на универсальности метода. Этот вариант метода пересечений также характеризуется полным отсутствием необходимости в поэлементном сравнении образов.

Здесь следует подчеркнуть, что сам по себе метод пересечений не является необходимой составной частью интеллектуальных систем на основе колонок. Это всего лишь один из возможных методов решения базовых задач, в первую очередь прямой задачи. Вместо него могут использоваться любые другие методы и средства, в частности, программно-аппаратные, обеспечивающие высокую эффективность решения базовых задач определенного типа.

В работах [3–5, 7] рассматривалось решение различных базовых задач для образов в виде неупорядоченных конечных множеств, для образов в виде векторов или конечных последовательностей, а также для образов в виде конечных мультимножеств. Была показана способность интеллектуальных систем на основе колонок работать при неполной информации [4]. При этом оказалось, что прогноз является врожденным свойством подобных систем. В [3, 5] была доказана возможность реализации в интеллектуальных системах на основе колонок булевых функций $f: B^n \to B$, где $B = \{0, 1\}$. Данная работа посвящена возможности реализации отношений. В следующем разделе рассматривается представление отношений в интеллектуальных системах на основе колонок. Затем для отношений формулируются базовые задачи и задача реализации. Далее приводится решение задачи реализации отношений с помощью метода поэлементного сравнения и метода пересечений.

2. Представление отношений

Подмножество $r \subset A^n$ называется *n-местным*, или *n-арным*, отношением в множестве A, где A^n – конечная декартова степень $A^n = A \times \ldots \times A$. Число n называется *рангом*, или *арностью*, отношения r.

Рассмотрим теперь некоторую область имен U_1 и конечную декартову степень $U_1^n = U_1 \times ... \times U_1$. Пусть $r \subset U_1^n$ – некоторое n-арное отношение в U_1. Оно состоит из конечного числа образов $p = (i_1, ..., i_n) \in U_1^n$. Все образы этого отношения $p_{rk} \in r$ можно наименовать, используя имена из некоторой области имен U_p. В результате замены образов их именами отношение r примет вид $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$, где $i_{rk} \in U_p$ – имя образа p_{rk}, $l = |r|$, $|\cdot|$ – число элементов (мощность) множества. Очевидно, отношение в виде образа $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$ взаимно однозначно соответствует отношению $r \subset U_1^n$. Взаимно однозначное отображение $f_r : r' \to r$ определяется как $f_r(r') = \{\varphi_p(i_{r1}), ..., \varphi_p(i_{rl})\}$, где $\varphi_p : i \to p$ – отображение наименования образов $p \in U_1^n$.

Для того чтобы задать отношение r, необходимо из всех образов явно выделить только образы $p_{rk} \in r$. Очевидно, для этого достаточно наименовать образ $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$, взяв любое чистое имя $i_R \in U_R$, где U_R – область имен для отношений:

$$i_R \to \underbrace{\{\overset{\overset{p_{r1}}{\uparrow}}{i_{r1}},\ \ldots,\ \overset{\overset{p_{rl}}{\uparrow}}{i_{rl}}\}}_{R}$$

Здесь через R обозначен индекс, состоящий из колонок $(i_{rk} \mid p_{rk})$, $k = 1, ..., l$.

Имя i_R отношения r' может также интерпретироваться как имя отношения r. Соответствующее отображение $\varphi_R : i_R \to r$ равно $\varphi_R = f_r \circ \varphi_r$, где $\varphi_r : i_R \to r'$ – отображение наименования образов r', суперпозиция функций $(f_1 \circ f_2)(x) = f_1(f_2(x))$.

3. Задача реализации отношений

Пусть рассматриваются отношения r арности $1 \le m \le n$. В этом случае входящие в них образы $p \in r$ принадлежат множеству $P_1 = \bigcup_{m=1}^{n} U_1^m$.

Так как отношение $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$ представляет собой образ в виде неупорядоченного множества имен, то для него обычным образом формулируются и решаются базовые задачи [3–5]. В *прямой задаче* для отношения $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$ необходимо найти его имя i_R. В *обратной задаче* для $\forall i_R \in U_R$ необходимо найти (восстановить) отношение r'.

Однако для оценки возможностей интеллектуальных систем на основе колонок гораздо более важное значение имеет *задача реализации отношений*. Она формулируется следующим образом.

Пусть имеется некоторое множество известных системе отношений арности $1 \le m \le n$. Для любого образа $p \in P_1$ необходимо найти имена всех известных системе отношений r таких, что $p \in r$.

4. Решение задачи реализации отношений с помощью метода поэлементного сравнения

Полученное выше представление отношений определяет схему решения задачи реализации. Для ее решения с помощью метода поэлементного сравнения [4] система будет использовать индексы A, A_r и A_R. В индексе A будут запоминаться образы p_{rk}, индекс A_r будет хранить образы r', а индекс A_R будет содержать имена отношений для образов p_{rk}.

В исходном состоянии $A = \varnothing$, $A_r = \varnothing$ и $A_R = \varnothing$.

Пусть необходимо запомнить некоторое m-арное отношение $r = \{p_{r1}, ..., p_{rl}\}$, $1 \le m \le n$. Сначала для всех образов $p_{rk} \in r$ решается прямая задача. Каждый образ p_{rk} поэлементно сравнивается с образами всех колонок индекса A. Если совпадение найдено, то имя i_p колонки $(i_p \mid a_p) \in A$ такой, что $p_{rk} = a_p$, является именем образа p_{rk}. Если же совпадения не найдено, то для образа p_{rk} выбирается любое чистое имя $i_{rk} \in U_p$ и к индексу A добавляется колонка $(i_{rk} \mid p_{rk})$. Имя i_{rk} является решением прямой задачи и представляет собой имя, под которым теперь будет известен образ p_{rk}.

После того, как все имена i_{rk} найдены, прямая задача решается для образа $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$. Образ r' поэлементно сравнивается с образами всех колонок индекса A_r. Если совпадение найдено, то имя i_r колонки $(i_r \mid a_r) \in A_r$ такой, что $r' = a_r$, является именем отношения r' и r. Это означает, что отношение r уже известно системе под именем i_r.

Если же совпадения не найдено, то r' – новое отношение, которое необходимо запомнить. Для него выбирается любое чистое имя $i_R \in U_R$ и к индексу A_r добавляется колонка $(i_R \mid r')$. Одновременно с этим к индексу A_R добавляется l колонок $(i_{rk} \mid \{i_R\})$.

Аналогичным образом запоминаются другие m-арные отношения r, $1 \le m \le n$. При этом в силу факторизации по имени [3, 5] образ a_{Ri} любой колонки $(i \mid a_{Ri}) \in A_R$ будет содержать имена всех отношений одной и той же арности, в которые входит образ p, известный под именем i.

Пусть теперь для некоторого образа $p \in P_1$ необходимо найти имена всех известных отношений r таких, что $p \in r$. Сначала ищется имя образа p, для чего он поэлементно сравнивается с образами всех колонок индекса A. Если совпадение не найдено, то образ p представляет собой неизвестный новый образ. Этот образ не может входить в известные системе отношения. Если же совпадение найдено, то имя i_p колонки $(i_p \mid a_p) \in A$ такой, что $p = a_p$, является именем образа p.

Далее берется колонка $(i_p \mid a_{Rp}) \in A_R$. Если в индексе A_R нет колонки с таким именем, то образ p не входит ни в одно из известных системе отношений. В противном случае образ колонки a_{Rp} содержит имена всех отношений r таких, что $p \in r$.

5. Решение задачи реализации отношений с помощью метода пересечений

Общая схема решения задачи реализации остается без изменений. Она включает в себя решение прямой задачи для образов $p_{rk} \in r$ и $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$, где i_{rk} – имя образа p_{rk}, $k = 1, ..., l$, $l = |r|$. Применяя для решения прямой задачи метод пересечений [3–5], система для образов p_{rk} будет использовать индекс $A = \{A_1, ..., A_n\}$ и заданную с помощью множества упорядоченных пар (i_p, m) функцию $m(i_p)$, которая будет хранить размерности известных образов p_{rk}. Для образов $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$ будет использоваться индекс A_R и заданная с помощью упорядоченных пар (i_R, l) функция $l(i_R)$, которая будет содержать число элементов в известных образах r'.

Кроме этого, далее также будут использоваться индексы B и B_R. Они не нужны для решения задачи реализации отношений. Однако с их помощью можно решить обратную задачу для любого найденного имени i_R и восстановить отношения r' и r.

В исходном состоянии $A = \varnothing$, $B = \varnothing$, $m(i_p) = \varnothing$, $A_R = \varnothing$, $B_R = \varnothing$ и $l(i_R) = \varnothing$.

Пусть необходимо запомнить некоторое m-арное отношение $r = \{p_{r1}, ..., p_{rl}\}$, $1 \le m \le n$.

Сначала решается прямая задача для всех образов $p_{rk} \in r$. Для каждого образа $p_{rk} = (i_{k1}, ..., i_{km})$ вычисляется покоординатное пересечение $\eta_p(p_{rk}) = \bigcap_{j=1}^{m} a_{kj}$, где a_{kj} – образ колонки

$(i_{kj} \mid a_{kj}) \in A_j$, i_{kj} – имя, являющееся j-ой координатой образа p_{rk}, $j = 1, ..., m$ [3–5].

Если $\eta_p(p_{rk}) \neq \varnothing$ и существует по крайней мере одно имя $i \in \eta_p(p_{rk})$ такое, что $m(i) = m$, то такое имя является единственным, является решением прямой задачи и представляет собой имя, под которым известен образ p_{rk} [3–5].

Во всех остальных случаях образ p_{rk} – это неизвестный новый образ и его надо запомнить. Для этого машина вывода выбирает любое чистое имя $i_{rk} \in U_p$, где U_p – область имен для образов p_{rk}. Затем выполняются сложения:

$$A + (p_{rk} \mid \{i_{rk}\}) = \{A_1 + (i_{k1} \mid \{i_{rk}\}), ..., A_m + (i_{km} \mid \{i_{rk}\})\},$$

$$B + (i_{rk} \mid p_{rk}),$$

где i_{kj} – имя, являющееся j-ой координатой образа p_{rk}, $j = 1, ..., m$. Кроме этого, в определение функции $m(i_p)$ добавляется пара (i_{rk}, m). Имя i_{rk} является решением прямой задачи для образа p_{rk} [3–5].

После того, как для всех образов p_{rk} найдены имена i_{rk}, прямая задача решается для отношения $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$, представляющего собой образ в виде неупорядоченного множества имен. Для этого вычисляется пересечение $\eta(r') = \bigcap_{i_{rk} \in r'} a_k$, где a_k – образ колонки $(i_{rk} \mid a_k) \in A_R$.

Если $\eta(r') \neq \varnothing$ и существует по крайней мере одно имя $i \in \eta(r')$ такое, что $l(i) = l$, то такое имя является единственным, является решением прямой задачи и представляет собой имя, под которым известно отношение r' [3–5].

Во всех остальных случаях отношение $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\}$ является новым и его необходимо запомнить. Для этого машина вывода выбирает любое чистое имя $i_R \in U_R$, где U_R – область имен для отношений, и выполняет сложения:

$$A_R + (r' \mid \{i_R\}) = A_R + \sum_{k=1}^{l} (i_{rk} \mid \{i_R\}),$$

$$B_R + (i_R \mid r').$$

Кроме этого, в определение функции $l(i_R)$ добавляется пара (i_R, l).

Аналогичным образом запоминаются все другие m-арные отношения r, $1 \le m \le n$. В силу факторизации по имени [3–5] образ любой колонки $(i \mid a_{Ri}) \in A_R$ будет содержать имена всех отношений r таких, что $p \in r$, где p – образ по имени i.

Пусть теперь для некоторого образа $p = (i_1, ..., i_m) \in P_1$, $1 \le m \le n$, необходимо решить задачу реализации и установить имена всех известных отношений r таких, что $p \in r$. Для этого вычисляется покоординатное пересечение $\eta_p(p)$. Если $\eta_p(p) = \varnothing$ или $m(i) \ne m$ для $\forall i \in \eta_p(p)$, то образ p – это новый образ, который не может входить в известные системе отношения.

Если же $\eta_p(p) \ne \varnothing$ и существует по крайней мере одно имя $i \in \eta_p(p)$ такое, что $m(i) = m$, то пресечение $\eta_p(p)$ содержит единственное имя i_p, под которым известен образ p. Далее рассматривается колонка $(i_p \mid a_{Rp}) \in A_R$. Если в индексе A_R нет такой колонки, то образ p по имени i_p не входит ни в одно из известных отношений. Если же такая колонка существует, то ее образ a_{Rp} содержит имена всех m-арных отношений r таких, что $p \in r$.

Для любого из найденных имен $i_R \in a_{Rp}$ можно восстановить известное под этим именем отношение r. Сначала обратная задача решается для отношения r'. Отношение $r' = \{i_{r1}, ..., i_{rl}\} = b_R$, где b_R – образ колонки $(i_R \mid b_R) \in B_R$. Затем обратная задача решается для всех имен i_{rk}. В результате отношение r по имени i_R равно $r = \{b_{r1}, ..., b_{rl}\}$, где b_{rk} – образ колонки $(i_{rk} \mid b_{rk}) \in B$ [3–5].

ПРИМЕР. Предположим, что для отношений с арностью $1 \le m \le 3$ уже запомнены два бинарных отношения:

$r_1 = \{(1, 2), (2, 2), (2, 3)\}$,

$r_2 = \{(1, 1), (2, 2), (3, 3)\}$.

Им соответствуют отношения:

$r_1' = \{1, 2, 3\}$,

$r_2' = \{2, 4, 5\}$,

где 1 – имя образа p_{rk}, равного $(1, 2)$, 2 – имя образа $(2, 2)$, 3 – имя образа $(2, 3)$, 4 и 5 – имена образов $(1, 1)$ и $(3, 3)$.

При этом индексы A, B, A_R, B_R и функции $m(i)$ и $l(i)$ имеют вид (рис. 2):

A_1

4	3	6
1	2	5
1	2	3

A_2

6	2	5
4	1	3
1	2	3

A_3

1	2	3

B

2	2	3	1	3	1
1	2	2	1	3	3
1	2	3	4	5	6

$m(i)$

i	1	2	3	4	5	6
m	2	2	2	2	2	2

A_R

	2			
1	1	1	2	2
1	2	3	4	5

B_R

3	5	
2	4	
1	2	
1	2	3

$l(i)$

i	1	2
l	3	3

Рис. 2.

Пусть для образа $p = (1, 3)$ необходимо определить имена всех известных отношений r таких, что $p \in r$. Решая для образа $p = (1, 3)$ прямую задачу, получим $\eta_p(p) = \varnothing$, т.е. образ является новым и не может входить в известные отношения.

Пусть теперь задача реализации решается для образа $p = (3, 1)$. Покоординатное пересечение $\eta_p(p) = \{6\}$ и $m(p) = 2$, т.е. данный образ p известен под именем 6. Однако в индексе A_R отсутствует колонка по имени 6. Следовательно, образ $p = (3, 1)$ не входит ни в одно из известных отношений.

Наконец, пусть задача реализации решается для образа $p = (2, 2)$. Для него получим $\eta_p(p) = \{2\}$ и $m(2) = 2$, т.е. p – это образ по имени 2. Образ колонки по имени 2 индекса A_R равен $\{1, 2\}$. Это означает, что образ $p = (2, 2)$ принадлежит бинарным отношениям, известным под именами 1 и 2.

Можно найти эти отношения. Решая обратную задачу для образов r', из индекса B_R получим, что отношение по имени 1 – это отношение $r_1' = \{1, 2, 3\}$, а отношение по имени 2 – это отношение $r_2' = \{2, 4, 5\}$. Решая далее обратную задачу для образов p, с помощью индекса B можно легко установить, что образ p по имени 1 – это образ $(1, 2)$, образ по имени 2 – это образ $(2, 2)$ и т.д. Следовательно, отношение по имени 1 – это бинарное отношение $r_1 = \{(1, 2), (2, 2), (2, 3)\}$, а отношение по имени 2 – это бинарное отношение $r_2 = \{(1, 1), (2, 2), (3, 3)\}$.

Литература

1. МИХАЙЛОВ А.М. *Распознавание образов с помощью их индексирования* // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 4. – С. 151–161.
2. МИХАЙЛОВ А.М. *Индексный подход к распознаванию образов и видеоклипов* // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 12. – С. 139–152.
3. ЧЕСНОКОВ А.М. *Интеллектуальные системы на основе колонок* // Управление большими системами. – 2013. – № 46. – С. 118–146.

4. ЧЕСНОКОВ А.М. *Интеллектуальные системы на основе колонок при неполной информации* // Управление большими системами. – 2014. – № 50. – С. 84–98.
5. ЧЕСНОКОВ А.М. *Введение в общую теорию колонок*. – М.: ИПУ РАН. – 2012. – 141 с.
6. BRIN S., PAGE L. *The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine* // Proceedings of Seventh International Conference on World Wide Web (WWW7). – Amsterdam: Elsevier. – 1998. – P. 107–117.
7. CHESNOKOV A.M. *Finite Multisets as Patterns in Column-Based Intelligent Systems* // Automation and Remote Control. – 2015. – Vol. 76. – No. 9. – P. 1681–1688.
8. MIKHAILOV A., POK Y.M. *Artificial Neural Cortex* // Proceedings of Artificial Neural Networks in Engineering Conference (ANNIE 2001). − Nov. 4−7, 2001. − St. Louis, Missouri, U.S.A.
9. MIKHAILOV A. *Biologically Inspired Artificial Neural Cortex and its Formalism* // World Academy of Science, Engineering and Technology. – August 2009. – Vol. 56. – P. 121.
10. MIKHAILOV A. *Indexing-based Pattern Recognition* // Advanced Materials Research. – 2012. – T. 403–408. – P. 5254–5259.

RELATIONS IN COLUMNS-BASED INTELLIGENT SYSTEMS

Alexander Chesnokov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand. Sc. (alex-ches@yandex.ru).

Abstract: *The paper considers relations in columns-based intelligent systems and introduces basic definitions and notions. The representation of such relations is suggested and solutions to the implementation problem are discussed. We use the element-wise pattern comparison technique and the intersections technique to solve the implementation problem.*

Keywords: artificial intelligence, columns-based intelligent systems, column, relation.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии*

*Поступила в редакцию
Опубликована*