ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.72

Мелехин В.Б., Сусин А.Ю., Халилов А.И.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫВОДА УМОЗАКЛЮЧЕНИЙ В НЕМОНОТОННЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ УСЛОВНО-ЗАВИСИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Melehin V.B., Susin A.YU., Halilov A.I.

THEORETICAL BASE TO ORGANIZATIONS OF THE CONCLUSION OF THE CONCLUSIONS IN NONMONOTONIC AMBIENCE ON BASE CONDITIONALLY-HUNG VARIABLE

Предлагается один из подходов организации понятийного мышления интеллектуальных систем, связанный с разработкой теоретических основ вывода умозаключений в произвольной немонотонной проблемной области на основе условно зависимых переменных.

Ключевые слова: *интеллектуальные системы, условно-зависимые переменные, немонотонный вывод.*

It is offered one of the approach to organizations of the notional thinking of the intellectual systems, connected with development theoretical base conclusion of the conclusions in free non monotonic problem-solving area on base conditionally hung variable.

Key words: *intellectual systems, conditionally-hung variable, non monotonic conclusion.*

Введение. Организация вывода умозаключений в интеллектуальных системах (ИС) является одним из эффективных направлений моделирования понятийного уровня мышления для принятия решения на основе рассуждений [1]. Однако, по ряду причин оно не получило достаточно широкого распространения в ИС с различным функциональным назначением.

Одной из таких причин является немонотонность вывода умозаключений в рамках произвольной предметной области. Данное обстоятельство привело к разработке различных немонотонных логик рассуждений [2], которые в значительной степени позволили обойти отмеченные трудности. Однако, известные немонотонные логики, к сожалению, не позволяют системе принятия решений однозначно судить об истинности выводимых заключений, а только с определенной степенью правдоподобности подтверждают их выполнимость в выбранном множестве схем логических аксиом и правил вывода. Такая неопределенность вывода в немонотонных логиках ограничивает их эффективное использование для принятия решений автономно функционирующими ИС, часто требующими однозначного ответа на вопрос об истинности выводимых умозаключений.

В настоящей работе предлагается один из подходов к организации вывода умозаключений, позволяющий обойти отмеченный выше недостаток существующих подходов к организации вывода умозаключений в немонотонных средах. В основе организации предложенного подхода лежит применение условно-зависимых переменных, позволяющих выделять монотонный участок вывода умозаключений в произвольной предметной области.

Условно-зависимые переменные и их особенности. Условно-зависимой переменной называется и обозначается двойка $A(F_A) = (C_A, F_A)$, где C_A – название переменной; F_A – множество требований и условий, которым должны удовлетворять элементы произвольного (базового) множества A, чтобы они относились к переменной $A(F_A)$ и удовлетворяли заданному свойству или умению γ.

В самом общем случае элементы множества F_A могут носить разнообразный характер, зависящий от назначения и свойств условно-зависимой переменной $A(F_A)$.

Условно-зависимая переменная $A(F_A)$ называется условно-зависимой предметной переменной (ПП), если множество F_A определяется множеством характеристик и признаков, которыми должны обладать произвольные предметы проблемной среды, относящиеся к $A(F_A)$.

Пусть каждый предмет произвольной предметной области A - $a_i(X_i), i = \overline{1, k_i}$ описывается множеством характеристик X_i. Тогда $a_i(X_i) \in A(F_A)$, если $F_A \subseteq X_i$ и пишем $a_i(X_i) \notin A(F_A)$ в противном случае.

Таким образом, множество F_A можно интерпретировать как множество причинно-следственных ограничений, образующих монотонное множество объектов $A(F_A)$ относительно заданного свойства γ, определяющегося характеристиками F_A.

В немонотонной изменяющейся во времени области A множество ограничений F_A можно разбить на два подмножества:

- F_A^i – абсолютные причинно-следственные ограничения, присущие ПП $A(F_A)$ независимо от условий проблемной среды;

- относительные, то есть появляющиеся причинно-следственные ограничения или «тормозные» сигналы Z_A. Появление в среде тормозных сигналов Z_A нарушает монотонность вывода умозаключений в рамках множества $A(F_A^i)$, образованного множеством абсолютных ограничений $F(A^i)$.

Например, все живые существа, имеющие развитые крылья объединяются во множество $A(F_A)$ – «летающих животных». Однако, при появлении «тормозного» фактора Z_A^i – «наличие повреждений» все живые существа $A(F_A^i)$ теряют способность летать.

Пусть для двух ПП $A(F_A)$ и $B(F_B)$, образованных из элементов одного и того же базового множества A и выполняется условие "$F_A \subseteq F_B$". Тогда множество $A(F_A)$ называется покрытием множества $B(F_B)$ и обозначается $B(F_B) \subseteq A(F_A)$. Например, пусть ПП $B(F_B)$ и $A(F_A)$ соответственно являются переменными с именами «летающие живые существа» и «живые существа». Очевидно, что $B(F_B) \subseteq A(F_A)$ и все элементы A, удовлетворяющие F_B, удовлетворяют требованиям и F_A, обратное же условие не всегда выполнимо, т.к. не все «живые существа» имеют «развитые крылья», присущие летающим животным.

Из сказанного вытекает, что существующие ПП $A(F_A)$ можно расширять и сужать по признакам, которые в первом случае добавляются к множеству признаков F_A, а во втором случае удаляются из этого множества. Предметные переменные $A(F_A)$ и $B(F_B)$ называются условно равными и обозначаются $A(F_A) = B(F_B)$, если $F_A = F_B$. Рассмотрим один из важных частных случаев ПП. Пусть ПП $A(F_A)$ формируется по заданному признаку λ^*, а множество F_A определяется множеством причин, влекущих за собой выполнимость следствия: $\forall a_i(X_i) \in A\lambda(F_A) \to M(a_i(X_i), \lambda^*)$, где «$\to$» - операция следования, т.е. из выполнения условия в левой части следует истинность правой части выражения; $M(a_i(X_i), \lambda^*)$ – высказывание «объект $a_i(X_i)$ обладает признаком λ^*».

Приведенное импликативное решающее правило означает следующее: если объект $a_i(X_i)$ относится к ПП $A\lambda(F_A)$, то этот объект обладает признаком λ^*. В этом случае ПП является каузально-зависимой переменной и обозначается $A^*(F_A)$, а признак λ^* называется образующим признаком этой ПП.

Например, казуально-зависимая ПП $A^*(F_A)$ – «летающие птицы» состоит из элементов базового множества A-«птицы», обладающих умением λ- летать по причине наличия у них развитых крыльев и отсутствии повреждений.

Предметная переменная называется замкнутой и обозначается $A^*(F_A^*)$, если F_A^* определяется множеством необходимых и достаточных причин [3], влекущих за собой общезначимость следствия:

$$\forall a_i(X_i) \in A\lambda^*(F_A^*) \to M(a_i(X_i), \lambda), i = \overline{1,n}$$

для всех объектов, принадлежащих ПП $A\lambda^*(F_A^*)$.

Обобщенной ПП называется тройка $A_{об}(F_A) = (C_A^{об}; \{A_i(F_A^i)\}, i = \overline{1,n}; F_A^{об})$, где $C_A^{об}$ – название обобщенной переменной, например, «хищные животные»; $\{A_i(F_A^i)\}, i = \overline{1,n}$; – множество предметных переменных, образующих обобщенную предметную переменную, например, «хищные птицы» и т.д.; $F_A^{об}$ – признаки, характерные для всех ПП $A_i(F_A^i), i = \overline{1,n}$, образующих обобщенную переменную $A_{об}(F_A)$, т.е. общие признаки для всех исходных предметных переменных.

Рассмотрим условно-зависимые теоретико-множественные операции над предметными переменными, заданными на элементах одного и того же базового множества A.

Пусть ПП $A(F_A)$ определена на элементах произвольного базового множества A. Тогда дополнением ПП $A(F_A)$ к базовому множеству A называется и обозначается ПП $\overline{A}(F_A) = (\overline{C}_A, \overline{F}_A)$, у которой название $\overline{C}_A$ является антонимом названию C_A, а условия принадлежности к множеству условий $\overline{F}_A$ определяются отрицанием хотя бы одного из условий F_A. Иными словами, к ПП $A(\overline{F_A})$ относятся все объекты $a_i(X_i) \notin A(F_A)$ или для которых выполняется условие $F_A \not\subseteq X_i$.

Условно-зависимым пересечением ПП $A(F_A)$ и $B(F_B)$, определенных на элементах произвольного базового множества A, называется и обозначается ПП $N(F_N) = A(F_A) \cap B(F_B), N(F_N) = (C_N, F_N)$, у которой название C_N образуется при помощи конкатенации названий $C_A \& C_B$ через связку $И$, а условия принадлежности предметной переменной к монотонному участку вывода умозаключений определяются следующим образом: $F_N = F_A \cup F_B$.

Другими словами, ПП $N(F_N)$ включает такие объекты $a_i(X_i)$ из A, для которых выполняется условие $(F_A \subseteq X_i) \& (F_B \subseteq X_i)$, то есть объекты одновременно удовлетворяющие требованиям и F_A и F_B. В результате получается ПП, которая одновременно покрывается и $A(F_A)$, и $B(F_B)$.

Условно-зависимым объединением ПП $A(F_A)$ и $B(F_B)$ называется и обозначается ПП $K(F_K)=A(F_A)\cup B(F_B), K(F_K)=(C_K,F_K)$, для которой название C_K получается при помощи конкатенации названий C_A и C_B через связку *ИЛИ*, а множество условий принадлежности предметной переменной к монотонному участку вывода умозаключений F_K определяется по следующему правилу:

$$F_K=\begin{cases} F_A\cap F_B, если\ F_A\cap F_B\neq\varnothing; \\ \{F_A\vee F_B\}, если\ F_A\cap F_B=\varnothing, \end{cases}$$

где запись $\{F_A\vee F_B\}$ означает, что множество F_K условий принадлежности состоит из двух независимых множеств F_A и F_B, при этом любой элемент из базового множества $a_i(X_i)\in A$ относится к ПП $K(F_K)$, если выполняется либо условие $F_A\subseteq X_i$, либо условие $F_B\subseteq X_i$, т.е., если он удовлетворяет требованиям хотя бы одного из подмножеств F_A или F_B. В результате получается ПП, которая покрывает и $A(F_A)$, и $B(F_B)$.

Из вышесказанного следует, что каждая ПП $A(F_A)$ объединяет под одно название аналогичные друг другу объекты по признакам F_A. Назовем такую аналогию объектов $a_i(X_i)\in A(F_A)$ сильной аналогией по признакам F_A. Для количественной оценки сильной аналогии между сравниваемыми объектами по заданным признакам определим показатель степени аналогии $\rho(a_i(X_i),a_i(X_i))$, который вычисляется следующим образом:

$$\rho(a_i(X_i),a_i(X_i))=\min\left(\frac{\left|X_i\cap X_i^{'}\right|}{\left|X_i\right|},\frac{\left|X_i\cap X_i^{'}\right|}{\left|X_i^{'}\right|}\right),$$

где $\left|X_i\right|$ - мощность множества X_i.

С другой стороны, ПП $A(F_A)$ включает объекты, аналогичные друг другу по признакам объектов, относящихся к ПП $B(F_B)$, если $F_F\cap F_B\neq\varnothing$. Назовем такую аналогию объектов слабой аналогией по признакам $F_A\cap F_B$. Степень $\rho_c^*(a_i(X_i),b_j(X_j))$ слабой аналогии объектов ПП $A(F_A)$ и $B(F_B)$ по признакам является величиной постоянной и может определяться следующим образом:

$$\rho_c^*(a_i(X_i),b_j(X_j))=\frac{2\left|F_A\cap F_B\right|}{\left|F_A\right|+\left|F_B\right|},$$

где коэффициент 2 взят для выполнения условия $\rho_c^*(a_i(X_i),b_j(X_j))=1,\ если\ F_A=F_B$.

Пусть заданы две ПП $A(F_A)$ и $B(F_B)$. Прямым условно-зависимым произведением ПП на базе условия $F_1\to F_2$ называется и через $A(F_A)\times B(F_B)$ обозначается множество пар $\{<a_i(X_i)\in A(F_A),\ b_j(X_j)\in B(F_B)>\}$, таких, что они удовлетворяют требованиям заданного условия $F_1\to F_2$, которое заключается в следующем: если $a_i(X_i)$ удовлетворяет требованиям условий F_1, то $b_j(X_j)$ должен удовлетворять требованиям F_2, вытекающим из условий F_1.

Нечеткой ПП называется и обозначается пара $A(\tilde{F}_A)=(C_A,A(\tilde{F}_A))$, где C_A – название предметной переменной; $\tilde{F}_A$ - нечеткое множество признаков принадлежности, которым должны удовлетворять объекты ПП $A(\tilde{F}_A)$. Каждый j элемент нечеткого множества $\tilde{F}_A$ задается парой $<\mu_F(f_j),f_j>$, где f_j – название требования или признака; $\mu_F(f_j)\in[0,1]$ –

субъективная оценка степени того, что объекты, принадлежащие ПП $A(\tilde{F}_A)$, обладают характеристикой (признаком) f_j.

Если каждый объект $a_i(\tilde{X}_i)$ определяется при помощи нечеткого множества признаков $\tilde{X}_i, i=\overline{1,n_2}$, а в качестве условий принадлежности к ПП $A(\tilde{F}_A)$ принимается нечеткое множество характеристик $\tilde{F}_A$, то пишем $a(X_i)\underset{\sim}{\in} A(\tilde{F}_A)$, *если* $\tilde{F}_A \underset{\sim}{\subsetneq} \tilde{X}_i$. В противном случае пишем, что $a(X_i)\underset{\sim}{\notin} A(F_A)$. Здесь знак $\underset{\sim}{\subsetneq}$ означает нечеткое включение множества $\tilde{F}_A$ в множество $\tilde{X}_i$.

Нечеткое множество $\tilde{F}_A$ является нечетким подмножеством $\tilde{X}_i$, если степень включения

$$\nu(\tilde{F}_A, \tilde{X}_i) = \min(\mu_F(f_j) \to \mu_X(f_j))$$

является величиной большей или равной величине 0.5, где $\mu_X(f_j)$ – степень, с которой объект $a_i(\tilde{X}_i)$ обладает признаком (характеристикой) f_j; «$\to$» - операция нечеткой импликации, которая берется следующим образом: $\max(1-\mu_F(f_j), \mu_X(f_j))$.

Учитывая, что интерпретация степени $\mu_F(f)$ обладания характеристикой f для объектов ПП несколько иная, чем интерпретация степени принадлежности у нечетких множеств, операцию включения множества $\tilde{F}_A$ в множество $\tilde{X}_i$ можно упростить, воспользовавшись следующим правилом.

Множество $\tilde{F}_A$ является нечетким собственным подмножеством $\tilde{X}_i$, если выполняется условие:

$$(\forall f_j \underset{\sim}{\in} \tilde{F}_A)(\exists f_j' \underset{\sim}{\in} \tilde{X}_i)\left[(f_j = f_j') \& (\mu_X(f_j) \geq \mu_F(f_j'))\right].$$

Приведенная запись означает, что $F_A^j \underset{\sim}{\subsetneq} X_j$ тогда и только тогда, если каждый признак f_j, содержащийся в $\tilde{F}_A$ имеется во множестве характеристик объекта $a_i(\tilde{X}_i)$ со степенью обладания $\mu_X(f_j) \geq \mu_F(f_j)$.

Если для двух нечетких ПП $A(\tilde{F}_A)$ и $B(\tilde{F}_B)$ выполняется условие $\tilde{F}_B \underset{\sim}{\subsetneq} \tilde{F}_A$, то ПП $B(\tilde{F}_B)$ называется нечетким покрытием ПП $A(\tilde{F}_A)$ и обозначается $A(\tilde{F}_A) \underset{\sim}{\subsetneq} B(\tilde{F}_B)$.

Расширением и сужением нечеткой ПП $A(\tilde{F}_A)$ по признакам принадлежности λ к ним объектов $a_i(\tilde{X}_i)$ называются предметные переменные и, соответственно, обозначаются $A(\tilde{F}_A \cup \tilde{\lambda})$ и $A(\tilde{F}_A \setminus \tilde{\lambda})$, для которых множества признаков принадлежности получаются из $\tilde{F}_A$ соответственно путем присоединения к ним и удалением из них множества признаков $\tilde{\lambda}$.

Рассмотрим теоретико-множественные операции над нечеткими ПП, заданными на элементах одного и того же базового множества A.

Пусть нечетко заданная ПП $A(\tilde{F}_A) = (C_A, \tilde{F}_A)$ определена на элементах базового множества A. Тогда, дополнением $A(\tilde{F}_A)$ к базовому множеству А называется ПП $1A(\tilde{F}_A) = (1C_A, 1\tilde{F}_A)$, у которой название $1C_A$ является антонимом названию C_A, а степени принадлежности $\neg\,\mu_F(f_j)$ признаков f_j к множеству $1\tilde{F}_A$ определяются следующим выражением $\neg\,\mu_F(f_j) = 1-\mu_F(f_j)$, где $\mu_F(f_j)$ – степени принадлежности признаков f_j к множеству $\tilde{F}_A$ исходной ПП $A(\tilde{F}_A)$.

Пересечением ПП $A(\tilde{F}_A) = (C_A, \tilde{F}_A)$ и $B(\tilde{F}_B) = (C_B, \tilde{F}_B)$ называется и обозначается ПП $D(\tilde{F}_D) = (C_D, \tilde{F}_D)$, $D(\tilde{F}_D) = A(\tilde{F}_A) \cap B(\tilde{F}_B)$, для которой имя $\tilde{C}_D = \tilde{C}_A * \tilde{C}_B$ определяется конкатенацией имен C_A и C_B, а множество признаков принадлежности определяется следующим образом: $\tilde{F}_D = \tilde{F}_A \cup \tilde{F}_B$:

$$\tilde{F}_D = \{< \mu_F(f_j), f_j\}, j = \overline{1,m}, \mu_F(f_j) = \max(\mu_A(f_j), \mu_B(f_j)),$$

где $\mu_A(f_j), \mu_B(f_j)$ – степени принадлежности признака f_j соответственно к ПП $A(\tilde{F}_A)$ и $B(\tilde{F}_B)$; $\cup$ - нечеткая операция объединения по [4].

Таким образом, ПП $D(\tilde{F}_D)$ включает те и только те объекты $a_i(\tilde{X}_i)$, которые одновременно удовлетворяют требованиям условий $\tilde{F}_A$ и $\tilde{F}_B$, то есть ПП $D(\tilde{F}_D)$ нечетко покрывается и $A(\tilde{F}_A)$, и $B(\tilde{F}_B)$. Например, пусть $A(\tilde{F}_A)$ - ПП с названием «длинные объекты», а $B(\tilde{F}_B)$ - «и острые объекты», тогда $D(\tilde{F}_D) = A(\tilde{F}_A) \cap B(\tilde{F}_B)$ является ПП с названием «длинные и острые объекты».

Объединением ПП $A(\tilde{F}_A)$ и $B(\tilde{F}_B)$ называется и обозначается ПП $@(\tilde{F}_@) = A(\tilde{F}_A) \cup B(\tilde{F}_B)$, $@(\tilde{F}_@) = (\tilde{C}_@, \tilde{F}_B)$, для которой имя $C_@$ определяется конкатенацией имен C_A, C_B, определяемой связкой «*ИЛИ*», а

$$\tilde{F}_@ = \begin{cases} \tilde{F}_A \cap \tilde{F}_B, \ \text{если} \ F_A \cap F_B \neq \varnothing; \\ (\tilde{F}_A \vee \tilde{F}_B), \ \text{если} \ F_A \cap F_B = \varnothing, \end{cases}$$

$\tilde{F}_@ = \{< \mu_@(f_j), f_j\}, j = \overline{1,m}, \mu_@(f_j) = \min(\mu_A(f_j), \mu_B(f_j))$, где $\cap$ - операция нечеткого пересечения множеств по [4]; F_A и F_B – носители нечетких множеств $\tilde{F}_A$ и $\tilde{F}_B$; $(\tilde{F}_A \vee \tilde{F}_B)$ - запись, означающая, что множество условий принадлежности $\tilde{F}_@$ состоит из двух множеств $\tilde{F}_A$ и $\tilde{F}_B$, и любой элемент базового множества A является элементом ПП $@(\tilde{F}_@)$, если он удовлетворяет требованиям хотя бы одного из множеств $\tilde{F}_A$ или $\tilde{F}_B$.

Нечеткая ПП $A(\tilde{F}_A)$ называется каузально-зависимой, если имеется доминирующий признак λ, определяющий ее название C_A, например, «летающие существа», а множество $\tilde{F}_A$ является множеством причин и сопричин, влекущих за собой выполнимость следствия:

$$\forall a_i(\tilde{X}) \underset{\sim}{\in} A(\tilde{F}_A)[M(a_i(\tilde{X}_i), \lambda)],$$

где $M(a_i(\tilde{X}_i), \lambda)$ - высказывание «объект $a_i(\tilde{X}_i)$ обладает признаком λ». Степень истинности этого высказывания задается величиной, равной степени вхождения $\nu(\tilde{F}_A, \tilde{X}_i)$ нечеткого множества $\tilde{F}_A$ в нечеткое множество $\tilde{X}_i$.

Найдем степень сходства $\rho(a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'}))$ двух объектов $a_i(\tilde{X}_i)$ и $a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})$ по доминирующему признаку λ при условии, что $a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'}) \underset{\sim}{\in} A(\tilde{F}_A)$. Данная степень вычисляется следующим образом:

$$\rho(a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})) = (1 - \rho^*(a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'}))X\lambda,$$

где $X\lambda$ – поправочный коэффициент по признакам принадлежности различных элементов к множеству $\tilde{F}_A$, который берётся как абсолютная величина разности:

$$X\lambda = \left|\nu(\tilde{F}_A, \tilde{X}_i) - \nu(\tilde{F}_A, \tilde{X}_i^{'})\right|;$$

$\rho^*(a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'}))$ - усредненное значение нечетной степени сходства объектов $a_i(\tilde{X}_i)$ и $a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})$.

Усредненное значение степени сходства объектов будет определяться согласно следующему выражению:

$$\rho^*(a_i(\tilde{X}_i), a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})) = (\sum_{j=1}^{n}(\mu_X(f_j) \leftrightarrow \mu_X^{'}(f_j))) / m^*,$$

где $\mu_X(f_j)$, $\mu'_X(f_j)$ - степени присущности характеристик f_j соответственно к множествам $\tilde{X}_i$ и $\tilde{X}'_i$ характеристик объектов $a_i(\tilde{X}_i)$ и $a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})$; «$\leftrightarrow$» - операция нечеткой эквивалентности, которая берется следующим образом [4]:

$$\min(\max(1-\mu_X(f_j), \mu_X^{'}(f_j)), \max(1-\mu_X^{'}(f_j), \mu_X(f_j)))$$

$$m^* = \max(m, m_1);\ m, m_1 \text{ - соответственно мощности множеств } \tilde{X}_i \text{ и } \tilde{X}_i^{'}.$$

Использование усредненной оценки степени сходства объектов $a_i(\tilde{X}_i)$ и $a_i^{'}(\tilde{X}_i^{'})$ обусловлено тем, что множества характеристик $\tilde{X}_i$ и $\tilde{X}_i^{'}$ для различных объектов обязательно содержат различные элементы, а это может привести к тому, что при значительном общем сходстве объектов, являющихся различными по заданному признаку, степень их сходства будет принимать нулевое значение.

Заключение. В статье было определено понятия условно-зависимой предметной переменной и определены ее основные свойства, позволяющие организовать вывод умозаключений, на основе условно-зависимых предикатов, предметные переменные, в которых определяются с помощью условно зависимых ПП. Это обеспечивает вывод только истинных умозаключений в немонотонных средах на основе выделения в них монотонных участков вывода. Используя традиционные правила вывода умозаключений, в которых посылки формируются в виде условно зависимых предикатов могут быть построены различные правила вывода истинных умозаключений в немонотонных средах на основе причинно-следственных ограничений, накладываемых на объекты произвольной проблемной области.

Библиографический список:

1. Поспелов Д.А. О человеческих рассуждениях в интеллектуальных системах. В кн.: Логика рассуждений и ее моделирование // Вопросы кибернетики. –М.: АН СССР. 1982.
2. Тейз А., Грибомон П., Луи Ж. и др. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию. –М.: Мир, 1990.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
4. Мелихов А.М., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990.
5. Берштейн Л.С., Ильягуев П.М., Мелехин В.Б. Интеллектуальные системы. – Махачкала: Дагкнигоиздат, 1996.