УДК 004.82/.83

С.М. Гусакова

Структура отношений на множестве ДСМ-стратегий

Рассматриваются отношения эквивалентности, толерантности и частичного порядка на множестве стратегий ДСМ-метода автоматизированной поддержки исследований. Эти отношения используются для увеличения полноты и повышения степени правдоподобия прогноза.

Ключевые слова: *стратегия ДСМ-метода, отношения эквивалентности, пространство толерантности, логическая зависимость, частичный порядок, предикат сходства*

DOI: 10.36535/0548-0027-2022-05-2

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач о прогнозах свойств объектов применяются различные методы, некоторые из которых используют правдоподобные рассуждения. При этом актуальной является проблема увеличения полноты и точности прогноза, также важно увеличение степени правдоподобия вывода.

Одним из методов, содержащих инструменты для решения задачи прогноза свойств объектов по их структуре, является ДСМ-метод автоматизированной поддержки исследований, формализующий индуктивные методы Д.С. Милля [1, 2]. ДСМ-метод состоит из ДСМ-рассуждения и ДСМ-исследования. ДСМ-рассуждение реализует синтез познавательных процедур: с помощью индукции находятся гипотезы о причинах проявления или непроявления свойств, по аналогии формируются гипотезы о доопределении свойств объектов, которые не были определены, абдукция используется для установления достаточности оснований, на которых были получены гипотезы.

Правдоподобные рассуждения применяются к базе фактов (БФ), состоящей из примеров, содержащих описание объектов в языке представления данных и множества свойств, которыми обладает или не обладает каждый объект. В ДСМ-языке пример базы фактов записывается в виде $J_{\langle \nu,n\rangle}(X \Rightarrow_1 Y)$, где $\nu \in \{+1, -1, 0, \tau\}$ – типы истинностных значений, $X \Rightarrow_1 Y$ – предикат «объект X обладает (не обладает) множеством свойств Y», n – номер шага вычислений. На начальном этапе $n = 0$. Примеры базы фактов делятся на БФ$^+$ и БФ$^-$ по значению $\nu=+1$ или $\nu=-1$. Значение $\nu = 0$ имеют противоречивые примеры, на начальном этапе для большинства задач в базе фактов таких примеров нет. Примеры с истинностным значением τ должны быть доопределены.

Индуктивное рассуждение реализуется с помощью положительных и отрицательных предикатов сходства. Таких предикатов в ДСМ-методе несколько, но все они представляют собой расширение некоторыми дополнительными условиями базовых предикатов простого прямого положительного и отрицательного сходства, обозначаемых через $M^{+}_{a,n}(V,W)$ и $M^{-}_{a,n}(V,W)$. Пара (V,W), где V – подобъект, W – набор свойств, удовлетворяет предикату $M^{+}_{a,n}$, если V – результат операции сходства исчерпывающего множества объектов из положительных примеров, содержащих подобъект V, а W – результат операции сходства множества свойств, которыми обладают эти объекты. При этом неважно, есть ли свойства W у объектов, не содержащих V.

В ДСМ-методе используются различные содержательные добавки к базовым предикатам сходства, в результате чего помимо простого метода сходства образуются метод сходства с запретом на контрпримеры и метод различия.

Предикаты метода сходства с запретом на контрпримеры обозначаются через $M^{+}_{ab,\mathrm{n}}$ и $M^{-}_{ab,\mathrm{n}}$. Эти предикаты фальсифицируют причину V, если она включена хотя бы в один пример противоположного знака.

Метод различия содержит предикаты $M^{+}_{ad0,\mathrm{n}}(V,W)$ и $M^{-}_{ad0,n}(V,W)$. Добавка $d0^+$ бракует гипотезу (V,W), удовлетворяющую предикату $M^{+}_{a,n}$ и полученную из множества примеров $\{J_{<1,0>}(X_i \Rightarrow_1 Y)\}$, если в БФ$^+$ есть хоть один пример $J_{<1,0>)}(Z \Rightarrow_1 U)$, содержащий $(X_i \backslash V)$ в Z и W в U хотя бы для одного i. Аналогично определяется добавка $d0^-$.

Все предикаты сходства могут быть дополнены условием единственности причины $e^{\pm}$, выполнение которого обеспечивает единственную пару (V,W), удовлетворяющую любому предикату сходства, расширенному этим условием.

Найденные гипотезы о причинах (V,W) получают истинностную оценку +1, если получены одним из положительных предикатов, -1, если одним из отрицательных и 0, если и тем и другим.

Доопределение по аналогии реализуется с помощью предиката $\Pi^{+}_{(x,y),n}(Z,Q)$ и получает истинностную оценку +1, если объект содержит только положительные гипотезы, оценку -1, если только отрицательные и 0, если и те и другие или гипотезы с оценкой 0. Таким образом, в доопределении участвуют положительный и отрицательный предикаты сходства. Пара таких предикатов образует стратегию ДСМ-рассуждения, обозначаемую через $Str_{x,y}$. Здесь x – имя положительного, а y – имя отрицательного предикатов. Если положительный и отрицательный предикаты стратегии однотипны, стратегия называется однородной. Множество всех стратегий ДСМ-метода обозначается через $\overline{Str}$. Наличие множества стратегий дает возможность настроить ДСМ-метод на предметную область, выбрав наиболее адекватную решаемой задаче стратегию.

ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ И ТОЛЕРАНТНОСТЬ ДСМ-СТРАТЕГИЙ

Результатом применения стратегии ДСМ-рассуждения к базе фактов являются причинно-следственные эмпирические зависимости вида $J_{<\sigma,1>}(C \Rightarrow_2 Q)$, $\sigma \in \{+,-,0\}$ (гипотезы I-го рода) и доопределение с их помощью некоторых из неопределенных примеров базы фактов (гипотезы II-го рода).

Для увеличения полноты доопределений и увеличения степени правдоподобия полученных гипотез на множестве стратегий вводятся отношения R_1 и R_2 (см. [3]):

$$Str_{x1,y1}\, R_1\, Str_{x2,y2} \rightleftharpoons \forall V \forall W((M^+_{x1,n}(V,W) \to M^+_{x2,n}(V,W))\ \&\ (M^+_{x2,n}(V,W) \to M^+_{x1,n}(V,W)))\ \& \forall V \forall W((M^-_{x1,n}(V,W) \to M^-_{x2,n}(V,W))\ \&\ (M^-_{x2,n}(V,W) \to M^-_{x1,n}(V,W))).$$

$$Str_{x1,y1}\, R_2\, Str_{x2,y2} \rightleftharpoons (\Pi^+_{(x1,y1),n}(Z,Q) \to \Pi^+_{(x2,y2),n}(Z,Q))\ \&(\Pi^+_{(x2,y2),n}(Z,Q) \to \Pi^+_{(x1,y1),n}(Z,Q))\&(\Pi^-_{(x1,y1),n}(Z,Q) \to \Pi^-_{(x2,y2),n}(Z,Q))\ \& (\Pi^-_{(x2,y2),n}(Z,Q) \to \Pi^-_{(x1,y1),n}(Z,Q))\&(\Pi^0_{(x1,y1),n}$$

$$(Z,Q) \to \Pi^0_{(x2,y2),n}(Z,Q))\ \&(\Pi^0_{(x2,y2),n}(Z,Q) \to \Pi^0_{(x1,y1),n}(Z,Q))\ \&(\Pi^\tau_{(x1,y1),n}(Z,Q) \to \Pi^\tau_{(x2,y2),n}(Z,Q))\ \&(\Pi^\tau_{(x2,y2),n}(Z,Q) \to \Pi^\tau_{(x1,y1),n}(Z,Q)).$$

Очевидно, что отношения R_1 и R_2 рефлексивны, симметричны и транзитивны, т.е. являются отношениями эквивалентности. Две стратегии, принадлежащие отношению R_1, порождают одни и те же положительные и отрицательные гипотезы о причинах. Стратегии, состоящие в отношении R_2, одинаково доопределяют все неопределенные примеры. В общем случае никакие две стратегии ДСМ-метода не удовлетворяют отношению R_1, так как различные предикаты могут порождать разные множества гипотез. Например, для пары (C,Q), выполняющей предикат $M^+_{a,n}$, в базе фактов БФ$^-$ может найтись контрпример и $M^+_{ab,n}(C,Q)$ места иметь не будет, в то время как

$$\forall X \forall Z(J_{<1,0>}(X \Rightarrow_1 Q)\&(C \square X)\ \&\ J_{<1,0>}(Z \Rightarrow_1 Q)) \to \neg((X \backslash C) \square Z),$$

т.е. добавка $d0$ не сработает и $M^+_{ad0,n}(C,Q)$ имеет место. Поэтому эквивалентность стратегий возможна только относительно конкретной базы фактов. В связи с этим в обозначение отношений R_1, и R_2 добавим параметр БФ: R_1 (БФ) и R_2 (БФ).

Понятно, что поскольку ни одна пара стратегий в общем виде не удовлетворяет отношению R_1, то же верно и для отношения R_2. Однако, если для данной базы фактов имеет место $\neg(Str_{x1,y1}\, R_1(\text{БФ})\, Str_{x2,y2})$ из этого не обязательно следует $\neg(Str_{x1,y1}\ R_2(\text{БФ})\ Str_{x2,y2})$. Например, если $x_1 = M^+_{a,n}$, $y_1 = M^-_{a,n}$, а также (C_1,Q_1) и (C_2,Q_2) выполняют $M^+_{a,n}$, а $x_2 = M^+_{ab,n}$, $y_2 = M^-_{ab,n}$ и $M^+_{ab,n}(C_1,Q_1)$ имеет место, а $M^+_{ab,n}(C_2,Q_2)$ не имеет, то $Str_{x1,y1}$ и $Str_{x2,y2}$ не находятся в отношении R_1(БФ). Если пример, содержащий объект X, который надо доопределить, включает гипотезу (C_2,Q_2) и не включает ни одной отрицательной гипотезы, то он доопределится одинаково с помощью обеих стратегий, и, значит, они находятся в отношении R_2(БФ). Вообще нетрудно видеть, что

$$(Str_{x1,y1}\, R_1(\text{БФ})\, Str_{x2,y2}) \to (Str_{x1,y1}\, R_2(\text{БФ})\, Str_{x2,y2}),$$

но обратное места не имеет.

Ситуация меняется, если все предикаты сходства усилены условием единственности причины. Тогда верно

$$(Str_{x1,y1}\, R_1(\text{БФ})\, Str_{x2,y2}) \leftrightarrow (Str_{x1,y1}\, R_2(\text{БФ})\, Str_{x2,y2}).$$

Чем больше мощность классов эквивалентностей R_1(БФ) и R_2(БФ) на множестве стратегий, тем выше правдоподобие полученных гипотез о причинах и о доопределении.

В статье [3] на множестве стратегий вводится еще одно отношение. Две стратегии непротиворечивы, если они доопределяют каждый пример базы фактов либо одинаково, либо одна из них оставляет пример недоопределенным. Легко видеть, что это отношение есть отношение толерантности [4]. Обозначим его через T. Исходя из тех же соображений, что и для отношений эквивалентности, можно утверждать, что в общем случае никакие две стратегии не толерантны. Толерантность стратегий тоже можно рассматривать только в связи с конкретной базой фактов.

Толерантность (непротиворечивость) стратегий предполагается использовать для увеличения полноты предсказаний через объединение результатов предсказаний непротиворечивых стратегий. Если несколько стратегий образуют класс толерантности по отношению T и один из объектов не доопределился в результате работы одной стратегии из этого класса, его можно доопределить истинностным значением, которое он получил в других стратегиях этого класса. Однако в силу нетранзитивности отношения толерантности могут возникать ситуации, в которых принять такое однозначное решение невозможно. Перечислим эти ситуации.

1. Три стратегии доопределили все примеры одинаково за исключением примера № 1.

Стратегия Str_1 доопределила пример № 1 как проявляющий эффект, Str_2 – как не проявляющий, а Str_3 не доопределила этот пример. Тогда первая и вторая стратегии толерантны с третьей, но не толерантны между собой. Все три стратегии образуют два класса толерантности, и третья стратегия принадлежит этим обоим классам. Пример № 1 доопределить нельзя.

2. Стратегии Str_1, Str_2, Str_3, Str_4, Str_5 образуют три класса толерантности: $K_1 = (Str_1, Str_2)$, $K_2 = (Str_2, Str_3, Str_4)$, $K_3 = (Str_3, Str_5)$.

В табл. 1 приведены истинностные значения доопределений примеров, полученные этими стратегиями.

Таблица 1

Стратегии, образующие три класса толерантности

Стратегии	Примеры БФ и их доопределение			
	№1	№2	№3	№4
Str_1	+1	+1	-1	τ
Str_2	+1	τ	-1	+1
Str_3	+1	-1	-1	τ
Str_4	+1	-1	-1	+1
Str_5	+1	-1	-1	-1

Пример № 2, не доопределенный стратегией Str_2, не может быть доопределен с помощью толерантных стратегий, так как Str_2 толерантна Str_1, доопределившей этот пример как +1, и стратегиям Str_3 и Str_4, доопределившим его как -1.

Пример № 4 не получил доопределения с помощью стратегий Str_1 и Str_3. Объединив толерантные стратегии Str_1 и Str_2, можно доопределить этот пример как +1, через класс толерантности K_2 он тоже должен быть доопределен как +1, а в классе K_3 этот пример доопределится как -1. Причем Str_3 входит в оба класса толерантности K_2 и K_3, которые доопределяют пример №4 по-разному. Хотя пример № 4 двумя классами может быть доопределен как +1 и только одним как -1, доопределение этого объекта с помощью объединения толерантных стратегий должно быть подвергнуто сомнению.

3. Предположим, что стратегии Str_1, Str_2, Str_3, Str_4, Str_5 образуют класс толерантности. При этом Str_1, Str_2 доопределяют пример № 1 как +1, а Str_3, Str_4, Str_5 – не доопределяют этот пример. Все остальные примеры доопределяются всеми пятью стратегиями одинаково. Можно ли считать, что положительное доопределение примера двумя стратегиями дает возможность распространить это доопределение на три другие стратегии? А если класс толерантности состоит из n стратегий и соотношение доопределяющих и не доопределяющих стратегий составляет $2/n$-2? Каким должно быть это соотношение, чтобы можно было объединить доопределения в классе толерантности?

4. Возможна ситуация, когда среди доопределений толерантных стратегий встречается слишком много τ для разных примеров. Опираться при этом на немногие положительные или отрицательные доопределения не корректно.

Таким образом, принцип объединения толерантных стратегий для увеличения полноты доопределений требует выработки четких правил. Примем следующие правила для решения указанных выше проблем:

1) пример, получивший в данной стратегии Str_1 истинностное значение τ, не может быть доопределен с помощью толерантных стратегий, если Str_1 входит в два класса толерантности, доопределяющих этот пример по-разному;

2) если класс толерантности содержит n стратегий, k из которых доопределяют пример как +1 или -1, а n-k стратегий как τ, то этот пример может быть доопределен как +1 или - 1 соответственно, если $(n\text{-}k/\ k) > 1$;

3) целесообразно ограничить общее число недоопределенных примеров выбранным порогом. Если количество примеров, получивших истинностное значение τ в различных стратегиях больше выбранного порога, доопределение проводить нельзя;

4) возможные варианты доопределений с помощью отношения толерантности T на множестве стратегий $\overline{Str}$ зависят также от структуры пространства толерантности $(\overline{Str}, T)$.

Если в этом пространстве есть изолированные классы и каждый из них удовлетворяет условию правила 3, т.е. общее количество τ-примеров не превышает выбранный порог, то все такие примеры могут быть доопределены в результате объединения стратегий данного класса.

Если стратегия является свободной точкой в классе пространства $(\overline{Str}, T)$, т.е. содержится только в этом классе, примеры с истинностным значением τ в этой стратегии, могут быть доопределены при условии выполнения правила 3.

Все стратегии, являющиеся замкнутыми точками пространств толерантности $(\overline{Str}, T)$, т.е. совпадающие с пересечением всех содержащих их классов [5], должны быть проверены на их соответствие правилам 1 и 2.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ОТНОШЕНИЯМИ ТОЛЕРАНТНОСТИ И ПОРЯДКА НА МНОЖЕСТВЕ СТРАТЕГИЙ

Структура пространства толерантности на множестве стратегий ДСМ-метода может быть уточнена с помощью отношения частичного порядка на этом множестве, введенного в статье [3], в которой между предикатами ДСМ-метода было установлено понятие логической зависимости. Предикаты $M^{+}_{z1,n}(V,W)$ и $M^{+}_{z2,n}(V,W)$ логически зависимы, если имеет место утверждение:

$$\forall V \forall W((M^{+}_{z1,n}(V,W) \rightarrow M^{+}_{z2,n}(V,W)) \vee (M^{+}_{z2,n}(V,W) \rightarrow M^{+}_{z1,n}(V,W))).$$

Предикаты $M^{+}_{z1,n}(V,W)$ и $M^{+}_{z2,n}(V,W)$ логически независимы, если имеет место утверждение:

$$\exists V \exists W((M^{+}_{z1,n}(V,W)\ \&\ \neg M^{+}_{z2,n}(V,W))\ \&\ \exists V \exists W((M^{+}_{z2,n}(V,W)\ \&\ \neg M^{+}_{z1,n}(V,W)).$$

Для $M^{-}_{z1,n}$ и $M^{-}_{z2,n}$ логическая зависимость и независимость определяется аналогично.

Через логическую зависимость на множестве предикатов определяется отношение частичного порядка:

$$M^{+}_{z1,n} \geq M^{+}_{z2,n} \rightleftharpoons \forall V \forall W(M^{+}_{z1,n}(V,W) \rightarrow M^{+}_{z2,n}(V,W)).$$

В [3] также доказывается, что $M^{\pm}_{a,n}$ (V,W), $M^{\pm}_{ad0,\,n}$ (V,W) и $M^{+}_{abd0,n}$ (V,W) образуют две дистрибутивные решетки. Декартово произведение этих решеток создает решетку, содержащую 16 стратегий ДСМ-метода[1] .

Если $M^{+}_{z1,n} \geq M^{+}_{z2,n}$, то гипотезы, порождаемые $M^{+}_{z1,n}$, более правдоподобны. Таким образом, введение частичного порядка на множестве предикатов позволяет выявить гипотезы о доопределении с более высокой степенью правдоподобия гипотез. Однако полнота при этом может уменьшаться. Для ее увеличения используется прием объединения результатов доопределений толерантных стратегий.

Поскольку отношение частичного порядка не связано с конкретной базой фактов, можно проанализировать взаимосвязь различных стратегий в пространстве толерантности, определяемую их расположением в решетке стратегий.

В табл. 2 приведены возможные варианты соотношений предикатов относительно отношения порядка в стратегиях $Str_{x1,y1}$ и $Str_{x2,y2}$.

Таблица 2

Соотношения предикатов в Str $_{x1,y1}$ и Str $_{x2,y2}$

Номер примера	Положительные предикаты	Отрицательные предикаты
1	$x_1 = x_2$	$y_1 \geq y_2$; $y_1 \leq y_2$
2	$x_1 \geq x_2$; $x_1 \leq x_2$	$y_1 = y_2$
3	$x_1 \geq x_2$; $x_1 \leq x_2$	$y_1 \leq y_2$; $y_1 \geq y_2$
4	$x_1 \geq x_2$; $x_1 \leq x_2$	$y_1 \updownarrow y_2$
5	$x_1 \updownarrow x_2$	$y_1 \geq y_2$; $y_1 \leq y_2$
6	$x_1 \updownarrow x_2$	$y_1 \updownarrow y_2$

Знаком $\updownarrow$ изображается несравнимость стратегий.

Если пара (C,Q) выполняет один из предикатов сходства, то она выполняет и все меньшие предикаты, а что касается больших предикатов, то они могут быть выполнены или не выполнены этой парой.

Рассмотрим доопределение τ-примера $J_{(\tau,0)}$ $(X \Rightarrow_1 Y)$ с помощью стратегий $Str_{x1,y1}$ и $Str_{x2,y2}$. Случай, когда ни один предикат, входящий в стратегии, не порождает гипотезы, содержащиеся в объекте X, рассматривать не будем.

В варианте № 1, если $Str_{x1,y1}$ доопределила τ-пример как +1 и $y_1 \geq y_2$, $Str_{x2,y2}$ может доопределить его как +1 или как 0, потому что предикат y_2 способен породить отрицательные гипотезы, которых не порождает y_1. Если $Str_{x1,y1}$ дает истинностное значение ν = -1 или ν =0 для τ-примера, то и $Str_{x2,y2}$ дает такое же значение, так как гипотезы, выполняющие предикат y_1, выполняют и y_2.

При $y_1 \leq y_2$ истинностное значение +1 сохраняется в $Str_{x2,y2}$, значение -1 может быть заменено на τ, а значение 0 на +1.

Вариант № 2 аналогичен Варианту № 1 с заменой +1 на -1.

[1] В ДСМ-методе могут рассматриваться 64 стратегии, но мы ограничимся здесь 16-ю.

В варианте № 3 только при сочетании предикатов $x_1 \leq x_2$ и $y_1 \leq y_2$ истинностные значения ±1 соответственно сохраняются или меняются на τ в $Str_{x2,y2}$, а значение 0 может меняться на любые значения из {+1,-1,0, τ}. Остальные сочетания предикатов в стратегиях сохраняют только одно истинностное значение. Другие значения могут меняться произвольно.

В вариантах № 4, № 5 и № 6 истинностные значения при доопределении могут меняться произвольно.

Таким образом, известные доопределения примеров стратегией $Str_{x1,y1}$ за исключением доопределений с нулевым истинностным значением можно перенести на стратегию $Str_{x2,y2}$ без вычисления, если она выше в решетке стратегий. Если реально стратегия $Str_{x2,y2}$ не доопределяет некоторые τ-примеры, они могут быть доопределены значениями, полученными с помощью стратегии $Str_{x1,y1}$, так как эти стратегии толерантны. А поскольку, чем выше стратегия в решетке стратегий, тем выше степень правдоподобия прогноза, эта степень повышается при переходе от $Str_{x1,y1}$ к $Str_{x2,y2}$.

Если для данной базы фактов БФ предикаты y_1 и y_2 порождают одни и те же гипотезы, то очевидно, что для стратегий $Str_{x1,y1}$ и $Str_{x1,y2}$ выполнено $Str_{x1,y1}$ R_1(БФ) $Str_{x1,y2}$ и $Str_{x1,y1}$ R_2(БФ) $Str_{x1,y2}$ при любом x_1. В случае, когда стратегия $Str_{x1,y1}$ не имеет нулевых доопределений, для любого $x_2 \geq x_1$ эквивалентные стратегии $Str_{x2,y1}$ и $Str_{x2,y2}$ толерантны стратегиям $Str_{x1,y1}$ и $Str_{x1,y2}$. Аналогичное рассуждение можно провести, поменяв местами x и y.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор стратегии для проведения ДСМ-рассуждения определяется, в первую очередь, решаемой задачей. Однако необходимо учитывать также полноту и степень правдоподобия прогноза, обеспечиваемого выбранной стратегией. Эти условия способны прийти в противоречие. В таком случае может помочь введение отношений эквивалентности и толерантности на множестве ДСМ-стратегий. Объединение доопределений толерантных стратегий увеличивает полноту прогноза, а введенное отношение порядка и представление множества стратегий в виде дистрибутивной решетки дает возможность выявлять гипотезы с более высокой степенью правдоподобия. При отсутствии нулевых доопределений нахождение таких гипотез не требует дополнительных вычислений.

Как было отмечено, ДСМ-метод автоматизированной поддержки исследований содержит ДСМ-рассуждение и ДСМ-исследование. ДСМ-исследование выявляет эмпирические закономерности, под которыми понимается «регулярное сохранение наблюдаемого эффекта в последовательности расширяемых данных (фактов)» [6]. Если в последовательности расширяющихся баз фактов истинностное значение гипотезы о доопределении не меняется, можно говорить о нахождении эмпирического закона. Возможные изменения истинностных значений гипотез при расширении базы фактов для однородных стратегий были исследованы в [7].

Поскольку классы рассматриваемых эквивалентностей и толерантности зависят от базы фактов, при ее расширении эти классы могут изменяться, а эквивалентные стратегии стать толерантными. Это может указывать на некорректность подбора новых примеров для расширения БФ, на необходимость уточнения языка представления данных или изменения содержательной операции сходства. Таким образом, анализ отношений эквивалентности и толерантности на множестве стратегий приведет к коррекции модели предметной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / под ред. проф. В.К. Финна. – Москва: URSS. – 2020. – 528 с.
2. Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах искусственного интеллекта. Часть II // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 4. – С. 14-40.
3. Финн В.К. Дистрибутивные решетки индуктивных ДСМ-процедур // Научно-техническая информация. Сер. 2. – № 11. – 2014. – С. 1-30; Finn V.K. Distributive Lattices of Inductive JSM Procedures //Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 265-295.
4. Зиман Э., Бьюнеман О. Толерантные пространства и мозг // На пути к теоретической биологии. I. Пролегомены. – Москва: Мир, 1970. – С. 134-144.
5. Гусаков В.Я., Якубович (Гусакова) С.М. Соответствия Галуа и некоторые теоремы о представлении бинарных отношений // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 1974. – № 7. – С. 3-6.
6. Финн В.К., Шестерникова О.П. Эвристика обнаружения эмпирических закономерностей посредством ДСМ-рассуждений» // Научно-техническая информация. Сер. 2. – № 9. – 2018. – С. 7-42; Finn V.K., Shesternikova O.P. The Heuristics of Detection of Empirical Regularities by JSM Reasoning // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2018. – Vol. 52, № 5. – P. 215-247.
7. Гусакова С.М. Корректность ДСМ-рассуждений для однородных стратегий. – Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2015. – № 5. – С. 1-6; Gusakova S.M. The Correctness of the JSM Reasonings for Uniform Strategies // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2015. – Vol. 49, №. 3. – P. 77-82.

Материал поступил в редакцию 22.02.22.

Сведения об авторах

ГУСАКОВА Светлана Марковна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, Москва
e-mail: svem45@yandex.ru