

С.Л. Беляков, И.Н. Розенберг, Н.А. Голова, К.С. Яворчук

ЗНАНИЯ ДЛЯ АРГУМЕНТАЦИИ ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ*

Традиционно применяемым способом оценки качества решения, которое предлагается интеллектуальной системой, является объяснение хода логического вывода. Знания о рассуждениях применяются для аргументации выбора варианта решения. Последовательность примененных правил, использованные факты и подтвержденные гипотезы считаются аргументами, которые должны убедить пользователя в справедливости сформированного заключения. Недостатком подобного способа объяснения является то, что он отражает формально верный, но лишенный смыслового наполнения ход рассуждений. Аргументация полученного решения основывается на протоколе трассировки, по сути ничем не отличающегося от отладочной информации при трассировке программ. Аргументация в таком случае далека от смысла ситуации. Под смыслом понимается заданный набор преобразований ситуации, сохраняющих неизменность ее восприятия человеком-аналитиком. Знания о смысловом содержании ситуаций должны представляться специальной моделью. В данной работе рассматривается представление, содержащее прецедент и его допустимые преобразования. В такой форме описываются пространственные ситуации в геоинформационных системах. Для аргументации предлагается использовать специальные отношения между образами ситуаций. Вводится понятие области применимости образа. Взаимное расположение пространственно-временной и семантической оболочки образов и областей их применимости рассматривается как носитель отношения. Сведения об отношениях извлекаются из структуры картографической базы данных. Рассматриваются отношения наследования, агрегирования, композиции, генерализации и ассоциации классов объектов. Знания для аргументации представляются правилами определения показателя достоверности экспертного вывода для отдельных отношений и их сочетаний. Предлагается способ автоматической генерации правил. Приводятся соотношения для сравнения уровней достоверности правил.

Интеллектуальные геоинформационные системы; ситуационный анализ; перенос знаний; принятие решений.

S.L. Belyakov, I.N. Rosenberg, N.A. Golova, K.S. Yavorchuk

KNOWLEDGE FOR ARGUMENTATION IN COMPARISON OF SPATIAL SITUATIONS

The traditionally used way to assess the quality of the solution proposed by an intelligent system is to explain the course of logical inference. Knowledge about reasoning is used to argue the choice of a solution option. The sequence of applied rules, the facts used and the confirmed hypotheses are considered arguments that should convince the user of the validity of the formed conclusion. The disadvantage of this method of explanation is that it reflects a formally correct, but devoid of semantic content, course of reasoning. The argumentation of the solution obtained is based on the tracing protocol, which is essentially no different from debugging information when tracing programs. The argumentation in this case is far from the meaning of the situation. The meaning is understood as a given set of transformations of the situation that preserve the immutability of its perception by a human analyst. Knowledge about the semantic content of situations should be presented in a special fashion. In this paper, we consider a representation containing a precedent and its permissible transformations. In this form, spatial situations in geoinformation systems are described. For argumentation, it is proposed to use special relations between images of situations. The concept of the area of applicability of the image is introduced. The mutual ar-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00197.

rangement of the spatial-temporal and semantic shell of images and the areas of their applicability is considered as a carrier of the relationship. Information about relationships is extracted from the structure of the cartographic database. The relations of inheritance, aggregation, composition, generalization and association of classes of objects are considered. Knowledge for argumentation is provided by the rules for determining the reliability index of expert conclusion for individual relationships and their combinations. A method of automatic rule generation is proposed. The relations for comparison of levels of reliability of rules are given.

Intelligent geoinformation systems; situational analysis; knowledge mining; decision making.

Введение. Выработка решений на основе пространственного анализа ситуаций занимает важное место среди широкого круга задач принятия решений. Инструментом принятия решений являются пространственные данные и знания геоинформационных систем (ГИС). Основной проблемой выработки адекватных решений в проблемных ситуациях остается неоднозначность и неопределенность состояния реального мира. Традиционным для пространственного анализа является подход, основанный на построении и анализа образов ситуаций. Образ ситуации представляет собой картографическое описание ситуации, которое в интерактивном режиме визуально и инструментально изучается пользователем-аналитиком. Сопоставление образа проблемной ситуации и образов ранее изученных ситуаций моделирует процесс разумного принятия решений: если образы близки, то имеющийся опыт принятия решения можно перенести на текущую проблему. В этом процессе важную роль играет оценка обоснованности сравниваемых вариантов решений. Нахождение аргументов «за» и «против» конкретного варианта решения и их взвешенное сравнение позволит выработать представление о его достоверности.

В данной работе изучается задача представления знаний, позволяющих обосновывать решения.

Известные подходы к аргументации решений. Задача абстрактной аргументации в процессе рассуждений исследуется в логике много лет [1, 2]. Предметом исследования является построение логического вывода в условиях, когда имеются аргументы различной значимости и каждый из них особым образом соотносится с другими. Отношения между аргументами образуют сложную структуру, требующую специальных подходов к логическому выводу. Отметим, что исследования абстрактной аргументации предполагают, что число и значимость аргументов известны. Однако, этот вопрос не решается просто. Выявление аргументов в пространственном анализе ситуаций не приводит к однозначному результату из-за субъективности оценок [3]. Актуален поиск объективных методов нахождения аргументов и их значимости.

Инструментарий пространственного анализа ГИС [4] дает возможность организовать единый гибридный интеллектуальный процесс визуального и картографического изучения пространства. Генерация и выбор вариантов решений реализуется путем поиска и компоновки тематической карты области анализа. Ее содержание через профессиональное восприятие картографических объектов и отношений порождает суждения, обоснованность которых чаще строится через аргументацию и применение немонотонной логики [5, 6]. Программные инструменты ГИС дают возможность не только манипулировать пространственными данными, но и получать от эксперта-аналитика знания пространственного характера. Этот механизм недостаточно изучен и является предметом исследования. Результаты открывают перспективу повышения качества принимаемых решений.

Работы в области построения и использования онтологий непосредственно связаны с представлением знаний о пространственных ситуациях [7, 8]. Отношения между концептами в заданном контексте анализа позволяют строить интеллектуальные процедуры поиска и генерализации. При этом дескрипционная логика

вывода в онтологиях не позволяет непосредственным образом получать обоснование решений в пространственных ситуациях. В онтологию предметной области достаточно проблематично включать знания об аргументированном обосновании конкретных решений. Поэтому задача адекватного представления знаний для обоснования нуждается в исследовании.

Прецедентный анализ (CBR) является известным методом поиска решений путем оценки их близости в пространстве ситуаций [9,10]. Центральным механизмом CBR является использование метрики оценки близости ситуаций. Выбор метрики, адекватной реальности, представляет собой сложную задачу и предполагает наличие экспертного обоснования [11]. Это обоснование невозможно использовать как объяснение того, почему было выбрано то или иное решение в конкретной ситуации. Обоснованием решения не может служить объяснение принятого формализма. По этой причине необходим анализ возможности привлечения к CBR аргументов, характеризующих ситуацию со смысловой точки зрения.

Образы пространственных ситуаций и зоны их применимости. Под образом ситуации (I) будем понимать подмножество объектов и отношений, имеющих в ГИС (Ω) [12]. В образ включают две разновидности элементов – скелетон (B) и окружение (E). К скелетону относятся объекты и отношения, существенно важные для понимания и идентификации смысла решаемой задачи. Окружение включает в себя объекты и отношения, необходимые для целостного представления сущностей скелетона:

$$I \subseteq \Omega, I = B \cup E, B \neq \emptyset, B \cap E = \emptyset. \quad (1)$$

Знание о поведении и динамике ситуаций не ограничивается их описанием в форме образов (1). Существенную роль играет знание о том, как известная ситуация может выглядеть в другой местности. Функция трансформирования реализует отображение образа x в образ y в заданной пространственной области w

$$y = f_{TR}(x, w). \quad (2)$$

Здесь f_{TR} – функция трансформирования [13]. В данной работе мы считаем ее известной. По форме это может быть набор правил, по которым картографические объекты и отношения отображаются в заданную область соответственно ее топологии. Используя (2), образ проблемной ситуации (I_p) может сравниваться с трансформированным образом любой другой известной ситуации (I_{TR}). Степень близости оценивается некоторой метрикой $d(I_a, I_b)$. Поиск наиболее близкого образа в данном случае реализует идею прецедентного анализа [11].

Применение знаний путем их трансформирования должно основываться на знаниях о возможности и способах трансформирования. Наличие в информационной базе ГИС описания топологии целевой области никогда не является полным, что ограничивает применение формальных процедур трансформирования. Адекватным способом отображения подобных знаний для ГИС следует считать зонирование (районирование), применяемое в географии [14–18]. Зонирование относится к аналитическим операциям ГИС и ставит своей целью выделение пространственных областей, обладающих заданными свойствами. Карты зонирования носят обобщающий характер и рассматриваются как генерализация некоторой тематической карты. Для ситуационного анализа зона применимости образа – это область карты с атрибутами, определяющими границы «разумного» применения знаний, инкапсулированных в конкретном образе. Разумность в этом случае связывается с возможностью обосновать результат трансформирования. Обоснование основано на двух предположениях:

- ◆ если целевая область трансформирования находится внутри зоны образа, результат процедуры трансформирования считается подтвержденным экспертом;

- ◆ если целевая область трансформирования не находится внутри зоны образа, результат трансформирования формально корректен, но не подтвержден экспертом.

Из указанного следует, что наиболее обоснованным следует считать решение для ситуации, находящейся в описанной экспертом зоне применимости образа. Отсутствие зонирования позволяет генерировать ГИС минимально обоснованные решения.

Зонирование, с нашей точки зрения, должно играть важную роль в повторном использовании опыта экспертов. В пользу данного утверждения говорит следующее:

- ◆ опыт наблюдения ситуаций всегда локален. Возникающий образ расширяет ментальные границы наблюдаемого, однако перенос опыта на другие ситуации должен базироваться на знаниях о реальном мире. По сути, эти знания должны отражать возможность применения конкретного образа в других областях пространства;

- ◆ знание о возможности применения образа не может выводиться из знания о самом образе. Трансформирование – это механизм отображения, который также должен иметь обоснование, следующие из опыта. Эксперты обладают таким знанием, и это способствует принятию разумных решений. Перенос подобных мета-знаний в ГИС также должен способствовать повышению качества решений;

- ◆ если экспертом указана зона возможного применения образа, в ней возникает возможность особой трактовки экземпляров ситуаций, которые не соответствуют критерию качества трансформирования. Особая интерпретация состоит в том, что любая трансформированная ситуация возможна внутри границ зоны и после дополнения некоторыми элементами может рассматриваться как достаточно достоверная. На практике на этом строится процесс коллективной выработки решений: «гупиковая» ситуация преодолевается согласованием субъективного видения решения отдельными участниками «мозгового штурма». Знания и опыт каждого индивидуума порождают образ с отличающейся трансформацией прецедента. Данный факт не говорит о противоречии, а свидетельствует о возможности генерации синтетических решений при условии одинаковой оценки возможности применения опыта в анализируемой области пространства;

- ◆ пересечение зон возможного применения образов может рассматриваться как область коллективного принятия решений. Кроме сравнения и отбора вариантов решения возникает возможность их комбинирования и порождения новых синтетических, имеющих то же смысловое содержание.

Формально если $R \subseteq \Omega$ представляет анализируемую область, то ее зонирование – нахождение покрытия

$$R = \bigcup_i w_i(Q^*),$$

$$Q^* \subseteq X^n \rightarrow Q,$$

где w_i – зона на карте, Q есть множество значений критерия выделения зон, X – множество параметров критерия, подмножество значений параметров Q^* отражает содержательный смысл зоны [19]. Каждая зона описывается двумя компонентами: образом (I_k) и картографической областью его применения (r_k):

$$w_i = \langle I_k, r_k \rangle.$$

Рассмотрим отношения между зонами с точки зрения достоверности применения связываемых с зонами знаний. Оценка достоверности заключений, полученных на основе применения знаний, является ключевой проблемой работы интел-

лектуальных систем. В рассматриваемом случае речь должна идти о сопоставлении образов и их трансформировании при наличии определенных топологических отношений между зонами. Наличие того или иного отношения должно использоваться как аргумент в пользу или против утверждений о близости сопоставляемых ситуаций.

Отношения между зонами опишем в терминах, принятых в объектном подходе. Классически знания о пространственных объектах представляют в терминах геометрической топологии [20]. Недостатком такого способа является игнорирование атрибутивных данных, значительно расширяющих представление о смысле ситуаций. Площадь, форма, протяженность границы местности далеко не всегда отражает суть происходящего. По этой причине целостное знание, которое вкладывается экспертом, следует оценивать с позиций абстрагирования, принятого в объектном подходе.

Отношения и аргументация. Под аргументацией будем понимать классическое определение [21]: «Аргументация – процесс доказательства истинности утверждения с привлечением фактов, из которых следует истинность данного утверждения, или которое увеличивает уверенность в его истинности». Аргументация может строиться по одному из следующих принципов:

- ◆ поиска утверждений, фактов или гипотез, способных подтвердить или опровергнуть рассматриваемое предположение;
- ◆ оценки достоверности предположения, исходя из имеющегося набора аргументов, используя некоторую специальную логику аргументации;
- ◆ применения формальной теории аргументации, в которую включены аксиомы, определяющие некоторые значения достоверности, и правила оценивания аргументированных заключений. Логика вывода считается заданной.

Рассматривая аргументацию, будем иметь в виду первый принцип. Описания образов и зоны их применения неявно содержат в себе все необходимые аргументы, оценка достоверности которых строится на логике, устанавливаемой отношениями между зонами применимости образов.

Первая аксиома, которую необходимо принять, состоит в том, что минимальной достоверностью обладает сопоставление образов, ни для одного из которых не указана зона применимости. Дополнительная аргументация в таком случае отсутствует. Формально, используя обозначения метрики близости образов $P(I_a, I_b)$ и достоверности их сопоставления $V(P(I_a, I_b))$, можно записать правило логического вывода

$$\forall w_a, w_b: r_a = r_b = \emptyset \Rightarrow V(P(I_a, I_b)) = V_{min},$$

где V_{min} является минимально возможным уровнем достоверности сопоставления.

Отношение наследования между парой зон $R_{inh}(w_a, w_b)$ возникает, когда одна из них в определенном смысле «обобщает» вторую. Примером может быть зона чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в технологической системе предприятия. Зона включает в себя зоны чрезвычайных ситуаций, потенциально возможных в территориально распределенных подсистемах. При явной специфике отдельных технологических операций и факторов опасности существуют общие для всей системы угрозы, которые проявляются единым образом.

Образ, соответствующий базовой зоне, генерализует образ производной зоны на том же уровне масштабирования карты, что формально выражается как а его картографическая область покрывает область производной зоны:

$$\forall w_a, w_b \in R_{in}(x, y) \Rightarrow r_a \subseteq r_b.$$

Важно, что $r_a \subseteq r_b$, поскольку в противном случае существовали бы области, в которых образы не наследуют свойства базовой области. Соответственно, если

$$r_a \cap r_b \neq \emptyset,$$

возникает случай неполной генерализации, когда существуют образы, не поддающиеся обобщению.

Отношение наследования может быть единичным или множественным, т.е. представляться как $R_{inh}(x_1, x_2, \dots, x_m, y)$. В последнем случае производная зона должна покрываться всеми базовыми зонами:

$$\forall w_a, w_{b_1}, w_{b_2}, \dots, w_{b_m} \in R_{насл}(x_1, x_2, \dots, x_m, y) | r_a \subseteq r_{b_i}, i = \overline{1, m}.$$

Чтобы оценить достоверность сопоставления образа проблемной ситуации I_p с образом I_a из базы знаний ГИС, рассмотрим варианты относительного расположения проблемного образа (рис. 1).

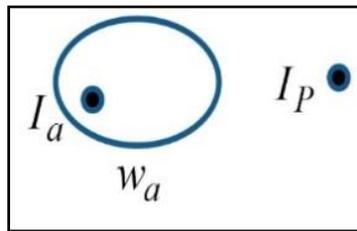


Рис. 1. Образ I_p вне зоны применения I_a

Если I_p вне зоны применимости I_a , то его трансформирование в область образа I_p не порождает дополнительных свидетельств и достоверность остается на уровне V_{min} . Правило логического вывода для этого случая:

$$I_p \notin w_a \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_{min}.$$

При попадании в зону применимости I_a появляется свидетельство эксперта, что порождает правило

$$I_p \in w_a \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_{ins},$$

причем $V_{ins} \geq V_{min}$.

При наследовании может иметь место попадание либо в базовую, либо в производную зону (рис. 2). Если I_p попадает в базовую область, на него распространяется экспертное утверждение обобщающего характера. Поскольку оно не затрагивает определенные детали ситуации, можно утверждать, что

$$I_p \in w_b \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_g, V_{in} \geq V_g \geq V_{min}.$$

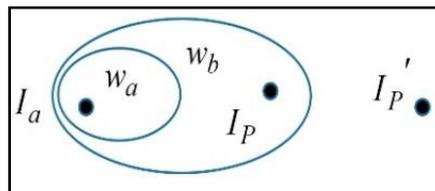


Рис. 2. Случай наследования зон

Что касается достоверности образа I_p , попадающего в зону применимости I_a , то ее более высокое значение может быть аргументировано экспертным утверждением обобщающего характера, которое относится к I_a . Таким образом,

$$I_p \in w_a \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_g', V_{in} \leq V_g'.$$

При множественном наследовании количество свидетельств растет

$$I_p \in \bigcap_i w_{b_i} \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_g'', V_g' \leq V_g''.$$

Отношение агрегирования $R_{agr}(w_a, w_b)$ между зонами возникает в том случае, когда эксперт утверждает, что в агрегирующей области w_a с высокой достоверностью возникают разнородные ситуации, которые ранее наблюдались и хорошо изучены. Подобно агрегированию, можно рассматривать единичное и множественное агрегирование.

В отличие от наследования, агрегируемые образы не обладают сходными наборами параметров. Вместе с тем, убедительность аргументации при агрегировании выше по причине его практичности: наблюдение экспертом реально произошедших ситуаций различающейся природы позволяют ему без каких-либо обобщений аргументировать принятие решения.

Примером агрегирования является включение в зоны, опасные для проживания, зон промышленного загрязнения, пожаров, наводнений, и т.д.

Формально агрегирование так же, как и наследование, требует включения зон. Если w_a агрегирует w_b , то:

$$\forall w_a, w_b \in R_{agr}(x, y) \Rightarrow r_a \supseteq r_b.$$

Попадание в агрегирующую зону позволяет выдвинуть более убедительные аргументы по сравнению со случаем наследования:

$$I_p \in w_a \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_a, V_a \geq V_g.$$

Соответственно, нахождение в зоне применимости агрегированного образа усиливает аргументацию:

$$I_p \in w_b \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_a', V_a' \geq V_g'.$$

Попадание I_p в области применимости нескольких образов оставляет аргументацию на прежнем уровне из-за того, что агрегированные образы разнородны:

$$I_p \in \bigcap_i w_{b_i} \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_a'', \\ V_a' = V_a''.$$

Отношение композиции $R_{comp}(w_a, w_b)$ является частным случаем агрегирования и возникает между зонами в том случае, когда эксперт утверждает, что композирующая и композируемая зоны объединены тесными причинно-следственными связями и не могут существовать раздельно. Например, зона проекта поставки товаров и комплектующих агрегирует зоны приобретения и производства, при этом каждая из них тесно связана друг с другом в контексте проекта и не имеет смысла по отдельности. С точки зрения аргументации подобная взаимозависимость нежелательна. Смысловая близость частных ситуаций компрометируется специфичностью общего смысла образа. Поэтому введя обозначение

$$\forall w_a, w_b \in R_{comp}(x, y) \Rightarrow r_a \supseteq r_b$$

$$I_p \in w_a \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_{comp},$$

$$V_a = V_{комп}, V_a' \geq V_{комп}', V_a'' \geq V_{комп}''.$$

Здесь $V_{комм}'$ соответствует единичной композиции, $V_{комм}''$ – множественной.

Отношение ассоциации $R_{assoc}(w_a, w_b)$ возникает при использовании параметров одной зоны для вычисления параметров другой. Например, опыт планирования ремонта участка транспортной сети использует опыт ремонта моста, аналогичного имеющемуся. При этом опыт обслуживания ремонта моста зафиксирован как самостоятельный образ, привязанный к конкретной местности. Ассоциативные отношения не накладывают ограничений на взаимное расположение зон. В то же время, любое пересечение может аргументировать повышение достоверности:

$$\begin{aligned} \forall w_a, w_b \in R_{assoc}(x, y), \\ I_p \in w_a \vee I_p \in w_b \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_{assoc}, \\ I_p \in w_a \wedge I_p \in w_b \Rightarrow V(P(I_p, I_a)) = V_{assoc}. \end{aligned}$$

Заключение. Обоснование принятого решения в проблемной пространственной ситуации наиболее убедительно, если выполняется в виде аргументированных утверждений. Такой подход в большей степени соответствует разумному диалогу двух сторон, чем перечисление выполнившихся правил-продукций или описание использованной метрики оценки сходства ситуаций. Учитывая совершенство процедур абстрактной аргументации, авторам представляется важным находить содержательные источники аргументов. Для области анализа и принятия решений в пространственных ситуациях таким источником может быть совокупность отношений, отражающих топологию метазнаний экспертов. В данной работе такими метазнаниями является применимость ранее принятых решений. Полученные соотношения для оценки достоверности аргументов являются основой для нечетких логических рассуждений.

Дальнейшие исследования поставленной проблемы могут быть направлены на поиск более сложных структур аргументов, отражающих пространственные ситуации и их представление картографическими образами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *John L. Pollock* Defeasible Reasoning. Reasoning: Studies of Human Inference and its Foundations, ed. Jonathan Adler and Lance Rips. – Cambridge University Press, 2006.
2. *Dung Phan Minh*. On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games // Artificial Intelligence. – 1995. – Vol. 77 (2).
3. *Luca Longo, Lucas Rizzo, Pierpaolo Dondio*. Examining the modelling capabilities of defeasible argumentation and non-monotonic fuzzy reasoning // Knowledge-Based Systems. – 2021. – Vol. 211.
4. *Zhou W.* GIS for Earth Sciences / In: D. Alderton, S. Elias eds. Encyclopedia of Geology (Second Edition). – Academic Press, 2021.
5. *Lijun Wei, Heshan Du, Quratul-ain Mahesar, Kareem Al Ammari, Derek R. Magee, Barry Clarke, Vania Dimitrova, David Gunn, David Entwisle, Helen Reeves, Anthony G. Cohn*. A decision support system for urban infrastructure inter-asset management employing domain ontologies and qualitative uncertainty-based reasoning // Expert Systems with Applications. – 2020. – Vol. 158.
6. *Nguyen Duy Hung, Van-Nam Huynh*. Revealed preference in argumentation: Algorithms and applications // International Journal of Approximate Reasoning. – 2021. – Vol. 131. – P. 214-251.
7. *Thiago Sobral, Teresa Galvão, José Borges*. An Ontology-based approach to Knowledge-assisted Integration and Visualization of Urban Mobility Data // Expert Systems with Applications. – 2020. – Vol. 150.
8. *Hafidha Bouyerbou, Kamal Bechkoum, Richard Lepage*. Geographic ontology for major disasters: Methodology and implementation // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2019. – Vol. 34. – P. 232-242.

9. *Bannour W., Maalel A., Ghezala H.H.B.* Case-based Reasoning for Crisis Response: Case Representation and Case Retrieval // *Procedia Computer Science*. – 2020. – Vol. 176. – P. 1063-1072. – DOI: 10.1016/j.procs.2020.09.102.
10. *Belyakov S., Bozhenyuk A., Kacprzyk J., Rozenberg I.* Intelligent Planning of Spatial Analysis Process Based on Contexts. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2021. – Vol. 1197. – P. 10-17 DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_2.
11. *Delu Wang, Kaidi Wan, Wenxiao Ma.* Emergency decision-making model of environmental emergencies based on case-based reasoning method // *Journal of Environmental Management*. – 2020. – Vol. 262. – 110382.
12. *Беляков С.Л., Белякова М.Л., Зубков С.А. [и др.]*. Трансформирование опыта принятия решений в пространственных ситуациях // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2020. – № 5 (215). – С. 159-171.
13. *Belyakov S., Bozhenyuk A., Rozenberg I.* The intuitive cartographic representation in decision-making // *World Scientific Proceeding Series on Computer Engineering and Information Science*. – 2016. – Vol. 10. – P. 13-18.
14. *Верещака Т.В., Баканова М.Ю.* Особенности технологии создания (обновления) специализированных топографических карт нефтегазового назначения // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. – 2019. – Т. 63, № 6. – С. 678-688.
15. *Кресникова Н.И., Васильевых Н.А.* Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для обеспечения территориального планирования // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. – 2018. – Т. 62, № 2. – С. 212-217.
16. *Паламарчук Н.А.* Зонирование территорий города // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. – 2013. – № 7 (103). – С. 48-52.
17. *Александров А.А.* Моделирование взрывоопасности и зонирование территории при хранении жидкого углеводородного топлива по критериям риска / под ред. В.И. Ларионова. – Уфа: Изд-во: БЭСТС, 2004.
18. *Демьянов В.В., Савельева Е.А.* Геостатистика: теория и практика / под ред. Р.В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: Наука, 2010.
19. *Тихунов В.С.* Классификации в географии: ренессанс или увядание?: (Опыт формал. классификаций). Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М.; Смоленск: Изд-во Смол. гос. ун-та, 1997.
20. *Galton A.* Spatial and temporal knowledge representation // *Earth Sci Inform*. – 2009. – Vol. 2. – P. 169-187. – DOI: 10.1007/s12145-009-0027-6.
21. *Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А.* Толковый словарь по искусственному интеллекту. – Радио и связь, 1992.

REFERENCES

1. *John L. Pollock* Defeasible Reasoning. Reasoning: Studies of Human Inference and its Foundations, ed. Jonathan Adler and Lance Rips. Cambridge University Press, 2006.
2. *Dung Phan Minh.* On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games, *Artificial Intelligence*, 1995, Vol. 77 (2).
3. *Luca Longo, Lucas Rizzo, Pierpaolo Dondio.* Examining the modelling capabilities of defeasible argumentation and non-monotonic fuzzy reasoning, *Knowledge-Based Systems*, 2021, Vol. 211.
4. *Zhou W.* GIS for Earth Sciences, In: D. Alderton, S. Elias eds. *Encyclopedia of Geology* (Second Edition). Academic Press, 2021.
5. *Lijun Wei, Heshan Du, Quratul-ain Mahesar, Kareem Al Ammari, Derek R. Magee, Barry Clarke, Vania Dimitrova, David Gunn, David Entwisle, Helen Reeves, Anthony G. Cohn.* A decision support system for urban infrastructure inter-asset management employing domain ontologies and qualitative uncertainty-based reasoning, *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 158.
6. *Nguyen Duy Hung, Van-Nam Huynh.* Revealed preference in argumentation: Algorithms and applications, *International Journal of Approximate Reasoning*, 2021, Vol. 131, pp. 214-251.
7. *Thiago Sobral, Teresa Galvão, José Borges.* An Ontology-based approach to Knowledge-assisted Integration and Visualization of Urban Mobility Data, *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 150.

8. *Hafidha Bouyerbou, Kamal Bechkoum, Richard Lepage.* Geographic ontology for major disasters: Methodology and implementation, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2019, Vol. 34, pp. 232-242.
9. *Bannour W., Maalel A., Ghezala H.H.B.* Case-based Reasoning for Crisis Response: Case Representation and Case Retrieval, *Procedia Computer Science*, 2020, Vol. 176, pp. 1063-1072. DOI: 10.1016/j.procs.2020.09.102.
10. *Belyakov S., Bozhenyuk A., Kacprzyk J., Rozenberg I.* Intelligent Planning of Spatial Analysis Process Based on Contexts, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, Vol. 1197, pp. 10-17. DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_2.
11. *Delu Wang, Kaidi Wan, Wenxiao Ma.* Emergency decision-making model of environmental emergencies based on case-based reasoning method, *Journal of Environmental Management*, 2020, Vol. 262, 110382.
12. *Belyakov S.L., Belyakova M.L., Zubkov S.A. [i dr.].* Transformirovanie opyta prinyatiya resheniy v prostranstvennykh situatsiyakh [Transformation of decision-making experience in spatial situations], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2020, No. 5 (215), pp. 159-171.
13. *Belyakov S., Bozhenyuk A., Rozenberg I.* The intuitive cartographic representation in decision-making, *World Scientific Proceeding Series on Computer Engineering and Information Science*, 2016, Vol. 10, pp. 13-18.
14. *Vereshchaka T.V., Bakanova M.Yu.* Osobnosti tekhnologii sozdaniya (obnovleniya) spetsializirovannykh topograficheskikh kart neftegazovogo naznacheniya [Features of the technology for creating (updating) specialized topographic maps for oil and gas purposes], *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotos"emka» [Izvestia of universities "Geodesy and aerial photography"]*, 2019, Vol. 63, No. 6, pp. 678-688.
15. *Kresnikova N.I., Vasil'evykh N.A.* Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya i geoinformatsionnykh tekhnologiy dlya obespecheniya territorial'nogo planirovaniya [Application of remote sensing data and geoinformation technologies to ensure territorial planning], *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotos"emka» [Izvestia of universities "Geodesy and aerial photography"]*, 2018, Vol. 62, No. 2, pp. 212-217.
16. *Palamarchuk N.A.* Zonirovanie territoriy goroda [Zoning of city territories], *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*, 2013, No. 7 (103), pp. 48-52.
17. *Aleksandrov A.A.* Modelirovanie vzryvoopasnosti i zonirovanie territorii pri khraneni zhidkogo uglevodorodnogo topliva po kriteriyam riska [Modeling of explosion hazard and zoning of the territory during storage of liquid hydrocarbon fuel according to risk criteria], ed. by V. I. Larionova. Ufa: Izd-vo: BESTS, 2004.
18. *Dem'yanov V.V., Savel'eva E.A.* Geostatistika: teoriya i praktika [Geostatistics: Theory and Practice], ed. by R.V. Arutyunyan; In-t problem bezopasnogo razvitiya atomnoy energetiki RAN. Moscow: Nauka, 2010.
19. *Tikunov V.S.* Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvyadanie?: (Opyt formal. klassifikatsiy) [Classifications in geography: Renaissance or withering?: (Formal experience. classifications)]. oscar State University named after M.V. Lomonosov. Moscow; Smolensk: Izd-vo Smol. gos. un-ta, 1997.
20. *Galton A.* Spatial and temporal knowledge representation, *Earth Sci Inform.*, 2009, Vol. 2, pp. 169-187. DOI: 10.1007/s12145-009-0027-6.
21. *Averkin A.N., Gaaze-Rapoport M.G., Pospelov D.A.* Tolkovyy slovar' po iskusstvennomu intellektu [Explanatory dictionary on artificial intelligence]. Radio i svyaz', 1992.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.К. Самойлов.

Беляков Станислав Леонидович – Южный федеральный университет; e-mail: beliacov@yandex.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра информационно-аналитических систем безопасности; профессор.

Голова Никита Александрович – e-mail: ngolova@sfedu.ru; аспирант.

Яворчук Кирилл Сергеевич – e-mail: kyavorchuk@sfedu.ru; аспирант.

Розенберг Игорь Наумович – АО «НИИАС»; e-mail: i.yarosh@vniias.ru; г. Москва, Россия; научный руководитель АО «ВНИИАС»; профессор.

Belyakov Stanislav Leonidovich – Southern Federal University; e-mail: beliacov@yandex.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371695; the department of information and analytical security system; professor.

Golova Nikita Alexandrovich – e-mail: ngolova@sfedu.ru; graduate student.

Yavorchuk Kirill Sergeevich – e-mail: kyavorchuk@sfedu.ru; graduate student.

Rosenberg Igor Naumovich – JSC "NIAS"; e-mail: i.yarosh@vniias.ru; Moscow, Russia; scientific supervisor of JSC "VNIAS"; professor.

УДК 658.51.011.5:664.6

DOI 10.18522/2311-3103-2022-2-236-249

Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян, А.Я. Номерчук

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

В настоящее время в связи с повсеместной компьютеризацией разработка систем автоматизированного управления является актуальной. В связи с развитием малого бизнеса приобретение промышленно выпускаемых систем является весьма дорогостоящим решением. Возможно создание аналогичных систем управления на основе недорогих микропроцессорных комплектов (в данном конкретном случае используется микропроцессорный комплект K1816VE35). В дальнейшем подобную систему нетрудно будет усовершенствовать, а также легко реализовать сопряжение с различными электронно-вычислительными машинами (управление с персонального компьютера). Разработке подлежит система измерения и регулирования сыпучего сырья (система автоматизированного взвешивания), обеспечивающая управление автоматикой пневмотранспорта с 2-х скоростным ротационным дозатором, посредством которого сыпучее сырье подается на весовой бункер, подвешенный на тензодаточное устройство. Измерения веса сыпучей массы в бункере весов, с последующим управлением автоматикой выгрузки сыпучего сырья из бункера. Рентабельность любой промышленной операции, включающей взвешивание сырья, незавершенного производства и готовой продукции, напрямую зависит от точности данных о весе. Однако даже при использовании высокоточного оборудования для взвешивания метод сбора, записи и обработки данных о весе для системы микро ингредиентов может быть подвержен ошибкам и неточностям. Это может вызвать потенциальную утечку доходов, которую трудно обнаружить и проверить. Во многих случаях предполагается, что причина проблемы связана с весовым оборудованием, тогда как на самом деле это связано с традиционной системой сбора данных и управления. На многих заводах, где смешивают сыпучие продукты партиями, дозирование весов представляет собой ручную, трудоемкую операцию, при которой ингредиенты взвешиваются по отдельности перед загрузкой в blender или другую технологическую емкость. Значительное количество таких заводов может выиграть от установки автоматизированной системы взвешивания и дозирования.

Фильтр Кальмана; процесс взвешивания; моделирование процесса; взвешивающий конвейер; математическая модель.

E.V. Zargaryan, Yu.A. Zargaryan, A.Ya. Nomerchuk

EVALUATION OF THE STATE OF DYNAMIC WEIGHING BY THE KALMAN FILTER METHOD

Currently, due to widespread computerization, the development of automated control systems is relevant. Due to the development of small businesses, the purchase of commercially available systems is a very expensive solution. It is possible to create similar control systems based on inexpensive microprocessor kits (in this particular case, the K1816VE35 microprocessor kit is used). In the future, such a system will not be difficult to improve, and it is also easy to implement