

## Метод Case Based Reasoning при управлении сложными технологическими объектами городской инфраструктуры

*И.Н. Глухих, Д.И. Глухих*

*Тюменский государственный университет, г. Тюмень*

**Аннотация:** В работе рассматривается реализация метода Case Based Reasoning при управлении сложным технологическим объектом городской инфраструктуры. Представлен способ формализации ситуации на сложном технологическом объекте с помощью матрицы состояний. Предложен метод определения близости ситуаций в пространстве состояний с учетом близости состояний каждого элемента сложного технологического объекта. Реализация предложенного метода при отборе ситуации из базы знаний позволяет избежать возникновения коллизий, когда отбираются две критически разные ситуации с разными решениями.

**Ключевые слова:** Case Based Reasoning, CBR, отбор ситуаций, база знаний, управление объектом, городская инфраструктура, евклидово расстояние.

### Введение

Современные системы городской инфраструктуры (электричество, газ, водоснабжение, отопление) представляют собой сложные технологические объекты (СТО). Безопасность и стабильность их процессов важны не только для поддержания жизни в городе, но и для сохранения окружающей среды, здоровья и жизни людей.

Поддержка работоспособности систем осуществляется за счет мониторинга их состояния и оперативного устранения неисправностей. Задачи мониторинга сложных объектов в целях предупреждения аварийных ситуаций актуальны как для предприятий, обеспечивающих тепло-, водо-, газо-, энергоснабжение региона, так и для служб обеспечения безопасности и управления городским хозяйством.

Исследованиям в области мониторинга технологических объектов посвящено достаточно много современных работ. Сбор и обработка первичных данных являются приоритетом, и для этого разрабатываются различные технические методы, устройства и каналы связи [1-3]. Следующая большая задача – анализ данных и прогнозирование динамики изменения

---

состояния объекта и выявление аварийных ситуаций. Для этого используются методы интеллектуального анализа данных, а также машинное обучение и искусственные нейронные сети [4-6]. Однако после выявления опасных ситуаций появляется комплекс следующих задач. Это задачи по оперативному устранению опасных или потенциально опасных ситуаций, а также задачи анализа, выявления и устранения причин возникновения таких ситуаций с целью исключения их возникновения в будущем.

Выбор и выполнение действий для устранения опасных ситуаций на сложном объекте реализуется посредством ситуационного управления, которое подразумевает принятие оперативных решений при выявлении проблемной ситуации [7].

В силу сложности эксплуатируемых объектов городской инфраструктуры и высокого уровня ответственности при принятии решений (диспетчерскими службами, руководителями и специалистами эксплуатирующих, ремонтных организаций) актуально создание систем интеллектуальной поддержки ситуационного управления. Этим вопросам посвящена предлагаемая работа. В качестве базы для систем интеллектуальной поддержки ситуационного управления рассматривается известный в области искусственного интеллекта метод – case based reasoning (CBR) [8].

CBR метод предполагает ведение базы знаний (БЗ), где хранятся кейсы – известные из прошлого опыта примеры сложных ситуаций и тех решений, которые для этих ситуаций рекомендованы или применялись ранее. При возникновении новой опасной ситуации в БЗ находится кейс с такой же или похожей ситуацией и решение, которое выдается пользователям. Найденные таким образом решения могут использоваться напрямую или адаптироваться к текущей ситуации.

Метод Case based reasoning достаточно широко применяется в разных предметных областях. Одно из перспективных направлений связано с принятием решений при управлении сложными технологическими и организационно-техническими объектами [9]. При этом в силу сложности и разнообразия рассматриваемых объектов до сих пор каждая проблемная область требует собственных исследований, начиная с поиска моделей для формализации представления ситуаций, заканчивая алгоритмами вывода и адаптации решений.

В предыдущем исследовании авторов [10] для формализации представления ситуаций предложено использовать матрицы отношений и состояний, а отбор в БЗ делать поэтапно с учетом сходства в пространстве отношений и сходства в пространстве состояний. Однако с применением предложенных метрик близости наблюдалось возникновение коллизий при отборе ситуаций из базы знаний.

Для развития и совершенствования результатов для данной работы поставлена следующая цель: разработка метода определения евклидова расстояния ситуаций на сложном технологическом объекте в пространстве состояний с учетом близости состояний каждого элемента.

### **Формализация ситуации на сложном технологическом объекте**

Рассмотрим случай: неисправность в системе теплоснабжения. За сложный технологический объект принят тепловой пункт многоквартирного дома.

Технологическая схема представляет собой независимую двухконтурную систему отопления, где внешний теплоноситель через теплообменник передает тепловую энергию теплоносителю системы отопления дома.

Элементы сложного объекта сформированы в группы:

- технологические (насос, теплообменник, внутренняя труба);

- обеспечивающие работу (программное обеспечение (ИТ), электричество, прочее оборудование);
- персонал (электрик, сантехник, аварийная служба);
- окружение (помещение теплового пункта, соседние здания, природные объекты, природные явления).

В актуальной ситуации обнаружена остановка насоса на фоне некоторых неисправностей элементов, обеспечивающих работу. Ситуация на рассматриваемом СТО формализована в матрице состояний элементов, матрица представлена на рис. 1. Единица в столбце соответствует состоянию элемента.

Sit <sub>акт</sub>	Исправно	Сломано	В работе	Остановлен	Не доступно	Доступно	Влияет	Не влияет
Ввод	1							
Внутренняя труба	1							
Теплообменник	1							
Насос				1				
Прочее оборудование		1						
ИТ		1						
Электричество						1		
Аварийная служба						1		
Сантехник					1			
Электрик						1		
Здания								1
Природные объекты								1
Природные явления							1	
Помещение								1

Рис. 1. – Матрица состояний элементов актуальной ситуации

С помощью разработанного на языке visual basic (VBA) алгоритма для теплового пункта была сгенерирована база из 250 ситуаций, отличающихся по состояниям элементов. Сгенерированные ситуации записаны в виде матриц состояний.

## Отбор ситуации из базы

Произведем отбор ситуации из сгенерированной базы согласно формуле (1), определенной ранее в работе [10]. Построковое сравнение матриц позволяет вычислить сходство между элементами  $O_i$  в пространстве состояний  $PSim_i(Sit_Z, Sit_{Act})$ . При этом  $PSim_i(Sit_Z, Sit_{Act})$  принимает значение 1 – если в обеих матрицах единицы находятся в одной и той же позиции, т.е. элементы находятся в одном и том же состоянии и 0 – в противном случае. Тогда общая близость между ситуациями в пространстве состояний:

$$PSim(Sit_Z, Sit_{Act}) = \sum \beta_i PSim_i(Sit_Z, Sit_{Act}), \quad (1)$$

где  $\beta_i \in [0, 1]$ ,  $\sum \beta_i = 1$  – коэффициент относительной важности  $i$ -го элемента в определении близости ситуаций.

В результате отбора алгоритм выдал две ситуации, имеющие  $PSim(Sit_Z, Sit_{Act}) = 0,93$ , т.е. сходство 93% с актуальной. У обеих ситуаций имеется отличие по состоянию насоса (строка отмечена серым цветом). Матрицы отобранных из базы ситуаций ( $Sit_Z$  №1 и  $Sit_Z$  №2) представлены на рис. 2 и рис. 3.

$Sit_Z$ №1	Исправно	Сломано	В работе	Останов- лен	Не доступно	Доступно	Влияет	Не влияет
Ввод	1							
Внутренняя труба	1							
Теплообменник	1							
Насос		1						
Прочее оборудование		1						
IT		1						
Электричество						1		
Аварийная служба						1		
Сантехник					1			
Электрик						1		
Здания								1
Природные объекты								1
Природные явления							1	
Помещение								1

Рис. 2. – Матрица состояний элементов отобранной ситуации №1

Sit, №2	Исправно	Сломано	В работе	Останов- лен	Не доступно	Доступно	Влияет	Не влияет
Ввод	1							
Внутренняя труба	1							
Теплообменник	1							
Насос			1					
Прочее оборудование		1						
IT		1						
Электричество						1		
Аварийная служба						1		
Сантехник					1			
Электрик						1		
Здания								1
Природные объекты								1
Природные явления							1	
Помещение								1

Рис. 3. – Матрица состояний элементов отобранной ситуации №2

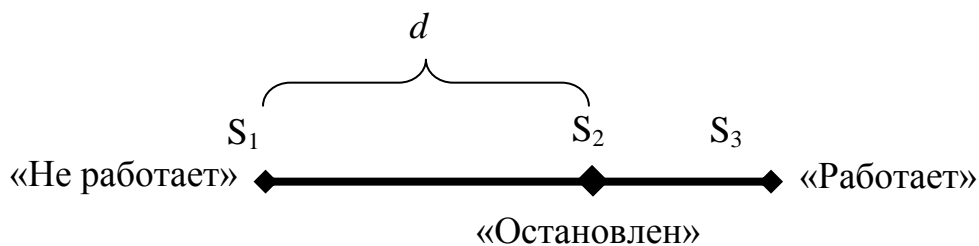
Однако, при анализе было определено смысловое различие между этими ситуациями. В первом отобранном случае насос оказался неисправен. Во втором случае насос остался в работающем состоянии. На практике решение для каждой ситуации будет разным, так как исправный работающий насос и сломанный насос, очевидно, требуют разных действий. Следовательно, возникает коллизия при отборе близкой ситуации из базы.

Для исключения таких коллизий вводится расстояние между состояниями. Расстояние между состояниями элемента определяется по следующей формуле:

$$d_i = \|S_{i,act} - S_{i,z}\|,$$

где  $S_{i,act}$ ,  $S_{i,z}$  - состояние  $i$ -го элемента в текущей ситуации и  $z$ -й ситуации соответственно.

Для рассматриваемого случая возможные состояния насоса упорядочены на интервале  $[0,1]$  таким образом, что  $S_1$  находится в точке 0,  $S_3$  – в точке 1, а остальные состояния принимают значения между ними:



Таким образом, степень близости ситуаций в пространстве состояний определяется по формуле:

$$PSim(Sit_Z, Sit_{Act}) = \sum \beta_i * (1 - d_i), \quad (2)$$

где  $\beta_i$  – введенный выше фактор важности элемента, который вычисляется по формуле;

$$\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i},$$

где  $r_i$  – коэффициент значимости элемента в сложном объекте;  $d_i$  – расстояние между состояниями, в которых находится  $i$ -й элемент сложного объекта в сравниваемых ситуациях.

Коэффициенты  $r_i$  формируются экспертным путем с помощью шкалы значимости, в которой используются следующие значения: 0 – не значимо, 1 – слабая значимость, 3 – средняя значимость, 5 – сильная значимость.

После модернизации формулы (1) за счет расстояния  $d$  были исключены случаи, когда при отборе ситуаций две критически разные ситуации с разными решениями выдаются в ответ на появление одной и той же  $Sit_{Act}$ .

В рассматриваемом случае близость двух отобранных ситуаций к актуальной в пространстве состояний, определенная по формуле (2), будет оцениваться как 0,916 и 0,983 соответственно, коллизии не наблюдается.

Следовательно, из базы, как наиболее близкая к актуальной ситуации выбирается ситуация №2, где насос остался в рабочем состоянии.

## Заключение

Разработанный метод определения евклидова расстояния ситуаций на сложном технологическом объекте в пространстве состояний учитывает близость состояний каждого элемента. Метод позволил исключить вероятность возникновения коллизий, когда две критически разные ситуации с разными решениями выдаются в ответ на появление одной и той же  $Sit_{Act}$ .

## Благодарность за финансовую поддержку работы

*Исследование поддержано РФФИ и Тюменской областью, номер проекта 20-47-720004.*

## Литература

1. Сорокоумова Т.В., Будошкина К.А., Казарян Р.А., Купка Ю.О., Улямаев А.С. Выявление основных принципов для формирования концепции «умного города» // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5077](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5077)
2. Zarifi, M. H., Deif, S., Daneshmand, M.: Wireless passive RFID sensor for pipeline integrity monitoring. Sensors and Actuators A: Physical, 2017, 261, pp. 24-29. DOI: 10.1016/j.sna.2017.04.006
3. Jia, Z.: Pipeline abnormal classification based on support vector machine using FBG hoop strain sensor. Optik, 2018, 170, pp. 328-338. DOI: 10.3390/app7060540
4. Анохин М.Н., Березняк С.А., Бланко Л.М.Л. Организация пространственной группировки сигналов в ассоциативных процессах искусственных нейронных сетей // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2230](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2230)
5. Zrelli, A., Ezzedine, T.: Design of optical and wireless sensors for underground mining monitoring system. Optik, 2018, 170, pp. 376-383. DOI: 10.1016/j.ijleo.2018.04.021





6. Chen, J., Zhou, H., Hu, H., Song, Y., Huang, Y.: Research on agricultural monitoring system based on convolutional neural network. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 88, pp. 271-278. DOI: 10.1016/j.future.2018.05.045
7. Shanin I., Stupnikov S., Zakharov V.: Application of Anomaly Detection Methods in the Housing and Utility Infrastructure Data. *International Russian Automation Conference*, 2019, pp. 101-105. DOI: 10.1109/IVMEM.2019.00023.
8. Chan W. An expert decision support system for monitoring and diagnosis of petroleum production and separation processes. *Expert Systems with Applications*, 2005, 1(29), pp. 131-143. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.01.009
9. Evtushenko, S., Krahmalny, T., Lepikhova, V., Kuchumov, M.: The information technologies use at difficult technical objects condition control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 698 p. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066017
10. Glukhikh I, Glukhikh D. Case Based Reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2843, no. 038.

### References

1. Sorokoumova T.V., Budoshkina K.A., Kazaryan R.A., Kupka YU.O., Ulyamaev A.S. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2018, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5077](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5077)
  2. Zarifi, M. H., Deif, S., Daneshmand, M. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2017, 261, pp. 24-29. DOI: 10.1016/j.sna.2017.04.006
  3. Jia, Z.: Pipeline abnormal classification based on support vector machine using FBG hoop strain sensor. *Opti*, 2018, 170, pp. 328-338. DOI: 10.3390/app7060540
  4. Anohin M.N., Bereznyak S.A., Blanko L.M.L. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2230](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2230)
-

5. Zrelli, A., Ezzedine, T.: Design of optical and wireless sensors for underground mining monitoring system. *Optik*, 2018, 170, pp. 376-383. DOI: 10.1016/j.ijleo.2018.04.021
6. Chen, J., Zhou, H., Hu, H., Song, Y., Huang, Y.: Research on agricultural monitoring system based on convolutional neural network. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 88, pp. 271-278. DOI: 10.1016/j.future.2018.05.045
7. Shanin I., Stupnikov S., Zakharov V.: Application of Anomaly Detection Methods in the Housing and Utility Infrastructure Data. *International Russian Automation Conference*, 2019, pp. 101-105. DOI: 10.1109/IVMEM.2019.00023.
8. Chan W. An expert decision support system for monitoring and diagnosis of petroleum production and separation processes. *Expert Systems with Applications*, 2005, 1(29), pp. 131-143. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.01.009
9. Evtushenko, S., Krahmalny, T., Lepikhova, V., Kuchumov, M.: The information technologies use at difficult technical objects condition control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 698 p. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066017
10. Glukhikh I, Glukhikh D. Case Based Reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2843, № 038.