

УДК 004.8

doi: 10.15622/rcai.2025.002

СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ: МОДИФИКАЦИЯ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Б.А. Кобринский (*kba_05@mail.ru*)

Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» РАН, Москва

В работе рассматривается модифицированный вариант ситуационного управления, предполагающий, взамен решения на основе случайного выбора, передачу управления гибридной интеллектуальной системе (ГИС). Представлена структура интегрированной системы, состоящей из технологии ситуационного управления и ГИС, включающей базу правил, библиотеку прецедентов и нейросеть. Рассмотрена возможность получения пользователем контекстно-зависимых изображений в процессе принятия решения.

Ключевые слова: ситуационное управление, гибридная интеллектуальная система, интеграция подходов, ситуации неопределенности, критические инфраструктуры.

Введение

Разработанный Д.А. Поспеловым метод ситуационного управления [Поспелов, 1971], [Поспелов, 1986], [Astafiev et al., 1986] позволил не только резко повысить эффективность прикладных решений, но и серьезно продвинуться в развитии методологии и расширении инструментального «арсенала» систем управления. Основой методов построения систем управления явились семиотические модели представления объектов управления и описания процедур управления [Pospelov et al., 1995], [Pospelov, 1996]. В их основу была положена идея о том, что любая ситуация, которая может возникнуть в физическом мире, может быть описана через конечное число базовых отношений, из которых при необходимости могут быть порождены производные отношения.

Развитие теории ситуационного управления продолжается [Jakobson et al., 2007], [Madarász et al., 2009], [Gorodetskiy, 2020], [Kovalenko, 2022]. Нечеткое ситуационное управление позволяет вырабатывать управляющие

решения в соответствии с выбранной стратегией управления и учитывать специфику системы благодаря композиционной модели [Борисов и др., 2021]. Предложены архитектурные решения построения конвергентных систем на основе знаний, включающих иерархию моделей, описывающих различные аспекты целевой системы ситуационного управления [Kovalenko, 2022]. В качестве варианта решения в тех случаях, когда коррелятор системы ситуационного управления не может осуществить выбор, взамен перехода управления к блоку случайного выбора, предложено передавать решение гибридной интеллектуальной системе, включающей базу правил и искусственную нейронную сеть (для распознавания изображений) [Кобринский, 2024]. Развитию данного подхода посвящена настоящая статья. Это крайне важно для критических инфраструктур – авиакосмической отрасли, оборонной сферы, здравоохранению и др.

Проблемы в управлении диагностическим и лечебным процессом

Ситуационное исчисление, предназначенное для представления и рассуждений о динамических мирах и эффектах действий во времени, разработанное Джоном Маккарти, использует ситуации (отражающие текущее состояние мира), действия (изменяющие ситуацию) и флюенты (предикаты, истинностные значения которых могут меняться со временем) для моделирования эволюции мира [McCarthy, 2002]. Эволюция организма в процессе жизни человека и в течении патологического процесса включает множество медленно текущих процессов, что не исключает резких изменений в состоянии человека (под действием внутренних или экофакторов), которые могут представлять из себя опасные ситуации. При этом отдельные факторы могут существенно изменяться во времени. Необходимым является выявление предвестников предкритических и критических состояний, только часть из которых являются сигналами с датчиков (киберфизических систем).

Важно выявить и оценить будущие целевые желательные и нежелательные состояния объекта управления, которым является организм пациента, и наиболее существенные факторы, влияющие на переход пациента из одного состояния в другое. Значительная неопределенность в поведении многофакторной системы организма со сложной системой управляющих переходов, сопровождающаяся нечеткостью и неполнотой данных, создает серьезные проблемы в принятии решений как врачами, так и интеллектуальными системами.

Система управления с параметрической неопределенностью [Sugiki et al., 2006] может соответствовать высокой изменчивости параметров организма. Подчиненное управление, применяемое в многоконтурных

системах для случая параметрической неопределенности объекта, позволяет получить желаемое качество регулирования не только системы в целом, но и каждого контура [Опейко, 2015]. Это важно в управлении взаимосвязанными системами организма. Квазиинвариантное управление возможно в случаях, когда неизвестны не только параметры управляющей функции, но и параметры самого объекта управления, в условиях априорной параметрической неопределенности и при наличии внешнего воздействия [Гельфер и др., 2013]. В медицине это имеет место в различных ситуациях, например, при лабильной форме артериальной гипертонии, в период резких изменений солнечной активности. Распознавание многообразных патологических ситуаций и процесс лечения, обеспечивающий регресс болезни, являются важнейшей проблемой в медицине. В решении этой проблемы существенную роль может сыграть интеллектуальная система управления.

Управление медико-технологическим процессом осложняется неравновесным состоянием многочисленных параметров организма больного человека. Особенности управления в такой ситуации сводятся к следующему [Kobriniskii, 2024]:

- достижение ближайшей цели (подцели общей целевой ситуации) с учетом условий безопасности пациента, определяемых уровнем риска применяемых методов обследования и лечения;
- преодоление неопределенности данных о состоянии организма путем учета и анализа второстепенных параметров;
- оперативный совокупный интеллектуальный анализ изменений параметров, получаемых с киберфизических систем (КФС) и дискретной информации из других источников;
- уточнение прогноза течения болезни, выбор методов дополнительного обследования и лечения;
- планирование действий (исследований, манипуляций, методов терапевтического и хирургического лечения) на основе возможных траекторий принятия решений в системе управления;
- выбор последовательности управляющих решений по переходу в целевую ситуацию в зависимости от выявленных точек перехода организма (и отдельных его подсистем) из одного фазового состояния в другое [Кобринский, 2023];
- адаптации управления к изменению структуры и параметров объекта (системных и внешних факторов) в процессе функционирования системы.

Подходы к управлению медико-технологическим процессом

В процессе мультипараметрического мониторинга от киберфизических систем контроля жизненно важных функций организма может постоянно поступать значительный объем данных [Saeed et al., 2011],

[Davoudi et al., 2019]. В этом смысле медико-технологическому процессу можно сопоставить сложный технологический производственный процесс. В статье [Кулинич, 2016] представлены подходы к принятию решений в плохо определенных и слабоструктурированных ситуациях, представленных в лингвистическом виде в форме экспертных знаний и субъективных оценок. Рассмотрены ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к поддержке принятия решений в таких случаях. На оперативном уровне, при оказании медицинской помощи должны учитываться логистические проблемы, управление данными и алгоритмическое управление [Shung et al., 2021].

Аналогом того, что необходимо в управлении диагностическим и лечебным процессом является сложная техническая система (СТС), характеризующаяся многокомпонентностью, большим числом количественно-качественных параметров, нелинейностью отношений, неполнотой информации, разнообразием воздействий внутренних и внешних факторов, рисками возникновения опасных ситуаций и катастрофичностью их последствий [Борисов и др., 2021]. Это позволяет учитывать специфику ситуационного управления в зависимости от текущего состояния системы в условиях нечетких признаков, нечетких ситуаций и нечетких управляющих решений, множества нечетких управляющих переходов между нечеткими ситуациями. И множество маршрутов между различными идентифицированными текущими и целевыми нечеткими ситуациями. Все перечисленное имеет место в медицинской предметной области и создает серьезные трудности в представлении этих проблем и их реализации в форме управляющей системы.

Контур управления здоровьем человека

В архитектуре ситуационной системы управления сложным поливариантным лечебно-диагностическим процессом необходима гармонизация различных компонент, соответствующих группам бизнес-процессов на разных этапах клинических путей. Это определяется наличием ряда развилки и траекторий в соответствии с текущим состоянием пациента, что определяется состоянием систем организма и оказываемыми на них лечебно-профилактическими воздействиями.

В контуре управления здоровьем человека находится врач. В соответствии с этим сформулируем, в соответствии с [Поспелов, 1986], следующие определения [Kobrinskii, 2024].

Определение 1. Будем называть текущей ситуацией на объекте управления (процесс диагностики и/или лечения конкретного человека) совокупность всех доступных сведений об объекте управления и его функционировании в данный момент времени.

Определение 2. Будем называть прогностической ситуацией совокупность возможных траекторий течения патологического процесса, включая осложнения (отклонения в работе разных систем организма), являющиеся следствием негативного развития болезни или побочным результатом применения лекарственных средств.

Определение 3. Будем называть полной ситуацией совокупность, состоящую из текущей ситуации, знаний о состоянии системы (организма) в данный момент времени и знаний о методах управления (теоретически возможных профилактических и лечебных воздействиях), которые должны быть выданы врачу-пользователю в форме возможных решений. Таким образом, если на объекте управления сложилась ситуация Q_j , при которой состояние системы и технологическая схема управления, определяемые S_i , допускают использование воздействия U_k (при условии безопасности применяемых методов для конкретного пациента с учетом его состояния), то оно применяется, и текущую ситуацию Q_j предлагается, с использованием логико-трансформационных правил, преобразовать в новую ситуацию Q_i .

Принципы построения модифицированной системы ситуационного управления

Методы ситуационного управления должны функционировать как ансамбль с передачей управления.

Рассмотрим систему ситуационного управления при условии, что коррелятор не способен осуществить выбор. В этом случае, взамен передачи управления блоку случайного выбора, передадим решение гибридной интеллектуальной системе (ГИС). С этого момента единая база знаний будет применяться для управления и поддержки решений, учитывая, что для формирования классов ситуаций и правил используются знания экспертов проблемной области. В то время как текущая информация из электронных медицинских карт (ЭМК) пациентов, включая диагностически значимые изображения, будет поступать в рабочую область системы.

Архитектура ГИС может включать базу знаний, библиотеку прецедентов и искусственную нейросеть для распознавания изображений. Результаты распознавания изображений будут передаваться в базу знаний и обеспечивать возможность комплексного анализа ситуаций с использованием всех имеющихся данных. Развитие искусственного интеллекта позволяет также сделать вывод о возможности интеграции в базе знаний вербализованных данных и результатов распознавания визуальных данных (images) нейросетью. Это отвечает представлению Д.А. Поспелова о том, что внедрение в системы ситуационного управления процедур, позволяющих работать с видеообразами ситуаций, сулит качественный ска-

чок на всех шагах процесса выработки управляющих решений в интегрированных интеллектуальных управляющих системах [Поспелов, 1995]. Повышение распознавания уникальных (нетипичных) случаев будет реализовано за счет поиска сходных описаний больных в библиотеке прецедентов [Khan et al., 2019], [Грибова и др., 2023].

На рис. 1 представлена схема, демонстрирующая передачу решения от системы ситуационного управления к гибридной интеллектуальной системе.

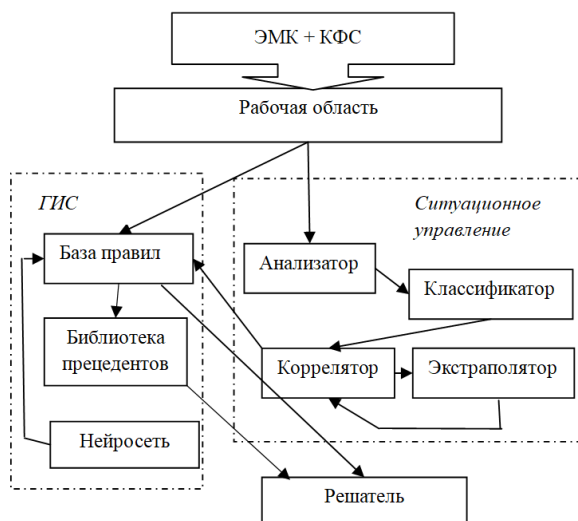


Рис. 1. Интегрированная с электронной медицинской картой интеллектуальная управляющая система

Таким образом, в сложных случаях принятие диагностических решений может осуществляться последовательно с использованием ситуационного управления, базы правил, аргументации на прецедентах и распознавания изображений на нейросети.

Развитие человеко-машинного взаимодействия в процессе принятия решений позволяет рассмотреть ситуацию использования сходных изображений в сложных ситуациях. В [Milov et al., 2022] рассматривается проблема пересмотра трансформации системы управления в направлении присутствия человека как в объекте управления, так и в контуре управления. Исходя из этого, в базе знаний ГИС, наряду с лингвистическими правилами, могут присутствовать ряды соответствующих образов [Кобринский, 2022]. Они могут предоставляться пользователю системы как дополнительная информация в контексте с предлагаемым решением.

Заключение

Нечеткое ситуационное управление в принятии решений в неполностью определенных ситуациях (например, на этапе предварительной диагностики) крайне актуально как в медицине, так и в технологических процессах.

Ансамблевая концепция управления медико-технологическим процессом, с передачей решения гибридной интеллектуальной системе в условиях невозможности в технологии ситуационного управления другого выбора, кроме случайного, позволит повысить эффективность принятия решений в характеризующейся нечеткостью, неопределенностью и недоопределенностью данных и ситуаций медицинской предметной области.

Список литературы

- [Борисов и др., 2021] Борисов В.В., Авраменко Д.Ю. Нечеткое ситуационное управление сложными системами на основе их композиционного гибридного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 3. – С. 207-237. – doi: 10.24412/2410-9916-2021-3-207-237.
- [Гельфер и др., 2013] Гельфер И.С., Котельников И.В., Теклина Л.Г. Синтез системы управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности объекта управления и наличия внешнего возмущения // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Математическое моделирование. Оптимальное управление. – 2013. – № 4(1). – С. 204-207.
- [Грибова и др., 2023] Грибова В.В., Ковалев Р.И., Окунь Д.Б. Система назначения персонализированного лечения по аналогии на основе гибридного способа извлечения прецедентов // Программные продукты и системы. – 2023. – Т. 36, № 3. – С. 486-492. – doi: 10.15827/0236-235X.142.486-49.
- [Кобринский, 2022] Кобринский Б.А. Образы в системах искусственного интеллекта: поиски и перспективы // В: Всероссийская конференция «Поспеловские чтения: искусственный интеллект – проблемы и перспективы», Поспеловские чтения-2022 (Москва, 19-20 декабря 2022 г.): Труды конф. – М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН, 2022. – С. 32-42.
- [Кобринский, 2023] Кобринский Б.А. О моделировании переходных состояний организма // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2023. – № 1(17). – С. 79-86. – doi: 10.46573/2658-5030-2023-1-79-86.
- [Кобринский, 2024] Кобринский Б.А. Ситуационное управление и поддержка на этапах медико-технологического процесса // В: Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Сборник статей VII Всероссийской Поспеловской конференции [Электронный ресурс]: научное электронное издание / А.В. Колесников, отв. ред. – Калининград, Санкт-Петербург: Изд-во РХГА, 2024. – С. 22-31.
- [Кулинич, 2016] Кулинич А.А. Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях // Открытое образование. – 2016. – № 6. – С. 9-17. – <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2016-6-9-17>.

- [Опейко, 2015] Опейко О.Ф. Подчиненное управление объектом с параметрической неопределенностью // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – № 3. – С. 21-24.
- [Поспелов, 1971] Поспелов Д.А. Принципы ситуационного управления // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1971. – № 2. – С. 10-17.
- [Поспелов, 1986] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986.
- [Поспелов, 1995] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: новый виток развития // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1995. – № 5. – С. 152-159.
- [Astafiev et al., 1986] Astafiev V.I., Gorsky Y.M., Pospelov D.A. Contradictions in the control of large systems // Computers and Artificial Intelligence. – 1986. – Vol. 5. – P. 89-102.
- [Davoudi et al., 2019] Davoudi, A., Malhotra, K.R., Shickel, B. et al. Intelligent ICU for Autonomous Patient Monitoring Using Pervasive Sensing and Deep Learning // Scientific Reports. 2019. Vol.9. Article number: 8020 doi.org/10.1038/s41598-019-44004-w.
- [Gorodetskiy, 2020] Gorodetskiy A.E. The Principles of Situational Control SEMS Group // In: Smart Electromechanical Systems. Studies in Systems, Decision and Control. Vol 261 / Gorodetskiy, A., Tarasova, I., eds. – Cham: Springer, 2020. – doi.org/10.1007/978-3-030-32710-1_1.
- [Jakobson et al., 2007] Jakobson G., Buford J., Lewis L. Situation Management: Basic Concepts and Approaches // In: Information Fusion and Geographic Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography / Popovich V.V., Schrenk M., Korolenko K.V., eds. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. – P. 18-33.
- [Khan et al., 2019] Khan M.J., Hayat H., Awan I. Hybrid case-base maintenance approach for modeling large scale case-based reasoning systems // Hum. Cent. Comput. Inf. Sci. – 2019. – Vol. 9. – Article number:9. – doi.org/10.1186/s13673-019-0171-z.
- [Kobrinskii, 2024] Kobrinskii B. Fuzzy Situational Control at the Stages of the Medical-and-Technological Process: Problems and Possible Solutions // Proceedings of the Eighth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'24). Vol. 1. Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol. 1209. – P. 312-323. – doi: 10.1007/978-3-031-77688-5_30.
- [Kovalenko, 2022] Kovalenko O. Knowledge Driven Cyber-Convergent Systems Based on Situational Agents // In: 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). – IEEE, 2022. – P. 243-246.
- [Madarász et al., 2009] Madarász L., Andoga R., Fozo L., Lazar T. Situational Control, Modeling and Diagnostics of Large Scale Systems // In: Towards Intelligent Engineering and Information Technology. Studies in Computational Intelligence. – Vol. 243 / I.J. Rudas, J.odor, J. Kacprzyk, eds. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – P. 153-164. – doi.org/10.1007/978-3-642-03737-5_11.
- [McCarthy, 2002] McCarthy J. Actions and other events in situation calculus // Proc. of Proceedings of the Eighth Intern. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR-2002) / D. Fensel et al., eds. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publ. 2002. – P. 615-628.

- [**Milov et al., 2022**] Milov O., Khvostenko V., Voropay N. et al. Situational Control of Cyber Security in Socio-Cyber-Physical Systems // In: 2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). 09-11 June 2022, Ankara, Turkey. – IEEE, 2022. – doi: 10.1109/HORA55278.2022.9800049.
- [**Pospelov et al., 1995**] Pospelov D.A., Ehrlich A.I., Osipov G.S. Semiotic Modeling and Situation Control // In: Proceedings of 1995 ISIC Workshop on Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems / J. Albus, A. Meystel, D. Pospelov, T. Reader, eds. – AdRem, Cynwyd, 1995. – P. 127-129.
- [**Pospelov, 1996**] Pospelov D.A. Situation Control: an Overview // In: Proceedings of Workshop on Russian Situation Control and Cybernetic / R.J. Strohn, ed. – Battelle, Columbus, 1996. – P. 7-37.
- [**Saeed et al., 2011**] Saeed M., Villarroel M., Reisner A.T. et al. Multiparameter Intelligent Monitoring in Intensive Care II: a public-access intensive care unit database // Crit Care Med. – 2011. – Vol. 39, No. 5. – P. 952-960. – doi: 10.1097/CCM.0b013e31820a92c6.
- [**Shung et al., 2021**] Shung D.L, Sung J.J.Y. Challenges of developing artificial intelligence-assisted tools for clinical medicine // J. Gastroenterol. Hepatol. 2021. – Vol. 36, No. 2. – P. 295-298. – doi: 10.1111/jgh.15378.
- [**Sugiki et al., 2006**] Sugiki A., Furuta K. Posicast Control Design for Parameter-Uncertain Plants // In: Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control (Diego, CA, USA, 13-15 December 2006). – P. 3192-3197. – doi: 10.1109/CDC.2006.376979.