

УДК 66.012-52

doi:10.18720/SPBPU/2/id23-88

Коршунов Геннадий Иванович^{1,2},
профессор, д-р техн. наук, профессор

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СРЕД ДЛЯ ЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

¹ Россия, Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет аэрокосмического приборостроения»;

² Россия, Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет имени Петра Великого»;
^{1,2} kgi@pantes.ru

Аннотация. Рассмотрены модели физических сред для целевого управления в киберфизических системах (КФС), ориентированные на уровни целей в проблемной области. В статье цель КФС представлена как оптимизация взаимодействия с физическим миром. Формирование целей в проблемной области позволяет создавать базу знаний. Рассматриваемый подход существенно облегчается применением программных средств Python. Это позволяет избежать сложных математических вычислений и гибкую корректировку данных. Задачи управления включают достижение цели и декомпозицию управления в виде функций. Математически физическая среда описана тремя пространственными измерениями и одним временным измерением. Интерпретация физической среды представлена как цифровая, так как кибернетическая подсистема принципиально является цифровой.

Ключевые слова: киберфизические системы, многоуровневые проблемные области, цель, управление.

Gennady I. Korshunov^{1, 2},
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor

SIMULATION OF PHYSICAL ENVIRONMENTS FOR TARGET CONTROL IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

¹ Saint-Petersburg State University of Airspace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia;

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia;
^{1, 2} kgi@pantes.ru

Abstract. Models of physical environments for target control in cyber-physical systems (CPS) oriented to target levels in the problem area are considered. In the article, the purpose of the CPS is presented as the management of interaction with the physical world. The formation of goals in the problem area allows you to create a knowledge base. The considered approach is greatly facilitated by the use of Python software tools. This avoids complex mathematical calculations and flexible data adjustment. Management tasks include goal achievement and management decomposition in the form of functions. Mathematically, the physical environment is described by three spatial dimensions and one temporal dimension. The interpretation of the physical environment is presented as digital, since the cybernetic subsystem is fundamentally digital.

Keywords: cyber-physical systems, optimization, multilevel problem areas, goal, digital control.

Введение

Задачи управления включают достижение цели. Цель системы может определяться достижением системы значений ее базовых параметров или достижением желаемого состояния. С понятием цели всегда связано понятие функций, приводящих систему к ее достижению. В статье целью КФС является взаимодействие с физическим миром. Поскольку основными категориями в глобальном представлении являются материя и энергия, формулирование первичной цели КФС выполняется с применением энергетических критериев. Математически физическая среда является многообразием, состоящим из событий, описанных тремя пространственными измерениями (длина, ширина, высота) и одним временным измерением. Но компьютеры не могут напрямую справиться с величинами физической подсистемы ФП в общем случае. Достижение сбалансированного взаимодействия КП и ФП представляет собой задачу оптимизации в условиях имеющегося уровня развития КФС. В основном это касается развития КП, в том числе моделирования ФП. Эти вопросы и соответствующие цели ставились как в общем виде в работах [1–4], так и касались объектов разного уровня: сенсоров [4], разного рода сред [5], промышленных предприятий. Целью работы является выработка целевого управления в киберфизических системах при формализации поставленных целей. В статье и ссылках на работы автора с соавторами представлены цели и реали-

зации управления в проблемных областях коррозионной защиты металлических сооружений, минимизации и нейтрализации вредных выбросов и сбросов предприятий и объектов транспорта. Развивается подход к цифровому жизненному циклу создания электроники.

1. Модели и методы

Подробный анализ моделей применительно к КФС приведен в общем виде в [3]. Там, в частности, приведен перечень и анализ моделей. Рассмотрены достоинства и недостатки детерминированных моделей на основе ОДУ, которые могут использоваться для моделирования динамики физических систем, а также переход к недетерминированным моделям. Представляет интерес парадигма моделирования как математика исчисления и дифференциальных уравнений и парадигма моделирования как теория императивных программ в информатике. В настоящей статье приведены результаты, оценки и ссылки на работы автора по первому подходу к моделированию и некоторые результаты, иллюстрирующие второй подход.

1.1. Модели на основе уравнений математической физики

Такие модели на основе уравнений Пуассона и теплопроводности представлены в [5–7]. В задаче защиты от коррозии нахождение распределения поляризованного потенциала на поверхности подземных металлических трубопроводов требует знания распределения потенциала ϕ , создаваемого в грунте токами, протекающими через наружную поверхность трубопровода, имеющую контакт с грунтом. Расчет распределения потенциала производится в предположении, что подземные трубопроводы расположены в однородном проводящем полупространстве с удельным сопротивлением. Среда, с которой граничит полупространство, принимается непроводящей. В этих условиях распределение потенциала ϕ в проводящей среде является решением уравнения Пуассона [10, 11].

Задачи минимизации выбросов в атмосферу и сбросов в водную среду решены с применением уравнений диффузии и теплопроводности в работах [6–9]. Следует отметить, что применение таких моделей связано со сложными вычислениями, а полученное выражение управления содержит влияние человеческого фактора.

1.2. Интеллектуальные сенсоры

Здесь предложено рассмотреть в качестве примеров интеллектуальные сенсоры, применение которых соответствует постановке задачи цифровизации управления.

Необходимость применения интеллектуальных сенсоров как в пространстве, так и во времени для реализации КФС продиктована требованиями учета динамики и организации обработки информации с актуализацией состояний в пространстве и во времени [11, 12]. Предложенные

в этих работах схемы с применением параллельных процессов и обработкой информации от разнесенных в пространстве источников включает актуализацию отдельных источников для получения общего результата. Это позволяет обеспечить распределенную неалгоритмическую обработку смешанных по форме сигналов. Построение параллельных процессов используется и при обработке информации от одного источника, а актуализация процессов и выдача результатов разнесены во времени со сбором входной информации.

В работе [13] на основе уникальных полупроводниковых сенсоров выполняется анализ и управление измерениями многокомпонентных парогазовых смесей. Это обеспечивает высокую достоверностью идентифицировать вещества-аналиты. Введение каталитических примесей, нагрев до заданных температур в полной мере не снимают основной вопрос селективной идентификации веществ в многокомпонентных смесях. Повышение селективности достигается формированием мультисенсорных систем, составленных из сенсоров различного химического состава – сенсоров, основу которых составляет диоксид олова и различные каталитические примеси. Математическая модель построена с применением вейвлет-преобразования, что обусловлено частотно-временной локализацией как аналогового, так и цифрового массива полученной при измерении информации. Вейвлет-преобразование свободно от неопределенности в частотно-временной области [15].

1.3. Модели целевого управления, ориентированные на уровни целей в проблемной области

Объект управления представлен выделенной областью ПВК со счетным числом точек

$$\{i(x, y, z, \Delta t, q)\}, 0 < i < n,$$

где $x_i, y_i, z_i, \Delta t_i$ — пространственно-временные координаты точки;

q_i — значение параметра или критерия в точке;

n — выбранное число точек.

В качестве параметра или критерия, в зависимости от рассматриваемого уровня, может быть представлена достоверность данных сенсора, концентрация компонента жидкости или газа, уровень бракованных деталей, энергоэффективность и другие объекты в рассматриваемой проблемной области. Для уточнения числа точек и их координат используется анализ спектра, полученного на основе имеющегося распределения плотности вероятности q . Анализ спектра позволяет выявить наиболее значимые процессы в физической среде и на основе определенных периодических процессов уточнить как пространственно-временные координаты точек, так и их необходимое количество для формирования цели и оптимизации управления. В случае отсутствия явных периодических

процессов применяются известные приближения из [14–16]. Аналогично, рассматриваемые цели соответствуют многоуровневой проблемной области, а полученная и откорректированная информация может представлять содержимое баз данных и знаний. Это необходимо для дальнейшего развития проблемной области в условиях неопределенности. Рассматриваемый подход существенно облегчается применением современных программных средств Python [17].

Использование языка программирования Python в решении задач машинного обучения наиболее гибкий и адаптированный. Программные библиотеки языка программирования Python такие как: Keras, TensorFlow, и Scikit-learn, разработанные специально для машинного обучения, позволяют повысить точность получаемых результатов, скорость, надежность работы с различными мультимодальными системами, а также простоту создания прототипов для их последующей отладки. Однако для наиболее корректной работы и запуска на любой операционной системе с представленными библиотеками при встраивании их в цифровой производственный процесс необходимо наличие установленного интерпретатора не ниже версии Python 3.8+.

2. Выводы

Предложенный подход к моделированию и оптимизации управления в ФКС отличается от известных первичностью целевой направленности и представлением в многоуровневом пространстве, в качестве которого выступает проблемная область. Такой подход не исключает одноуровневого представления, однако дает возможность и динамически корректировать показатели, локальные и глобальную цель. Этому способствует применение программных средств Python. Работа с массивами данных, представляющих выбранную область существенно упрощает вычислительные процедуры, характерные для моделей на основе уравнений математической физики. Другим важным преимуществом является динамическое обновление данных и целей и возможность создания базы знаний для последующего управления и прогнозирования в условиях неполной определенности.

3. Обсуждение

Предложенные в статье модели и подход представлен для абстрактной проблемной области. Конкретные примеры разрабатываются для проблемной области минимизации загрязнений атмосферного воздуха и для проблемной области бездефектного производства. Элементы подхода реализованы на отдельных этапах жизненного цикла КФС.

Список литературы

1. Lee Edward A., Seshia Sanjit A. Introduction to embedded systems, a cyber-physical systems approach, Second Edition. – MIT Press, 2017. –ISBN 978-0-262-53381-2.

2. Cyber-Physical Systems and Control / Dmitry G. Arseniev, Ludger Overmeyer, Heikki Kälviäinen, Branko Katalinić. – Springer Cham, 2019. – ISBN 978-3-030-34982-0. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34983-7>.

3. Lee E.A. Fundamental limits of cyber-physical systems modeling // ACM Tr. on Cyber-Physical Systems. – 2016. – Vol. 1.

4. Lee E.A. The past, present and future of cyber-physical systems: a focus on models // Sensors. – Basel, 2015. – Vol. 15. – Pp.4837–69.

5. Korshunov G.I., Frolova E.A. Systems analysis of physical processes: its application in the creation of cyber-physical systems // In: Bylieva D., Nordmann A., Shipunova O., Volkova V. (eds.) Knowledge in the Information Society. PCSF 2020, CSIS 2020. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer: Cham, 2021. – Vol 184. – Pp. 417–429. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-65857-1_35.

6. Sol’nitsev R.I., Korshunov G.I. Mathematical models of control systems “nature-technogenics” // Izvestiya vuzov. Priborostroenie = Proceedings of universities. Instrumentation. – 2012. – Vol. 12. – Pp. 5–11. (In Russ.)

7. Сольнищев Р.И., Коршунов Г.И. Система управления «природа-техногеника» Control systems “naturetechnogenics”. – СПб.: Политехника, 2013.

8. Korshunov G.I., Solnitsev R.I., Zhilnikova N.A., Polyakov S.L. Models of cyber-physical control systems for pollution minimization technologies // In: Vasiliev, Y.S., Pankratova, N.D., Volkova, V.N., Shipunova, O.D., Lyabakh, N.N. (eds.) System Analysis in Engineering and Control. SAEC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer: Cham, 2022. – Vol 442. – Pp. 442–450. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98832-6_39.

9. Коршунов Г. И., Сольнищев Р.И., Фролова Е. А. Обеспечение качества и создание интеллектуальных систем коррозионной защиты трубопроводного транспорта энергоносителей // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 2. – С. 92–101. – DOI:10.21685/2307-4205-2022-2-11.

10. Poliakov A.V., Korshunov G.I. Modeling of processes of electrochemical protection against corrosion of submarine pipelines under the influence of stray currents. – Spb. Metalworking. Polytechnica, 2009. – Vol. 3. – Pp. 17–21.

11. Bondarenko P.N., Safyannikov N.M. Organization of soft coordination of streaming informational processes’ interaction with states’ actualization in space // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017, 6 July 2017, St. Petersburg, Russia. – IEEE, 2017. – Pp. 31–33. – DOI: 10.1109/SCM.2017.7970486.

12. Бондаренко П.Н. Структурная организация устройств с актуализацией состояний во времени // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – № 4. – С. 7–12.

13. Белозерцев А.И., Эль-Салим С.З. Эмпирическая модель идентификации вещества многокомпонентных парогазовых смесей // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 10–17. – DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-2.

14. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга 2. [Djv- 5.9M] / Борис Рувимович Левин. (Москва: Издательство «Советское радио», 1968) Скан: ААW, OCR, обработка, формат Djv: pohorsky, 2016.

15. Novoseltseva M. Use of proper c-fractions for analysis of multi-frequency signals with hidden Periodicities // Large-Scale Systems Control. – 2013. – Vol. 41. – Pp. 93–112.

16. Прохоренков А.М., Качала Н.М. Использование методов нечеткой логики для определения классификационных характеристик случайных процессов // Вестник МГТУ. – 2006. – Том 9, №3. – С. 514–521.

17. Плас Дж. Вандер. Python для решения сложных задач: наука о данных и машинное обучение. – СПб.: Питер. 2020 – 576 с.