

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КАК ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ

Н.И. Романчева

Московский государственный технический университет гражданской авиации
Россия, 125993, Москва, Кронштадтский бульвар, 20
E-mail: n.romancheva@mstuca.ero

Ключевые слова: цифровой двойник, управление, технологии искусственного интеллекта, конечные алгоритмы управления.

Аннотация: В работе рассматривается задача определения оптимального состояния цифрового двойника, как инструмента достижения требуемых целей управления объектом транспортной системы. Показано, что для этого необходимо разработать и оптимизировать функции обновления, анализа, прогнозирования и принятия решений. Для достижения оптимального управления объектом предложен обобщенный алгоритм.

1. Введение

Технологии искусственного интеллекта широко применяются в управлении различными процессами и системами, в том числе транспортными системами. Они позволяют на основе анализа больших данных о движении и маршрутах транспорта прогнозировать события, оптимизируя параметры работы системы и качество управления.

Анализ открытых источников [1-3] показывает, что существует ряд проблем при внедрении искусственного интеллекта в управление транспортными системами: сложно собрать достаточное количество и качество актуальных данных; транспортные системы подвержены непредсказуемым событиям (например, аварии, изменение погоды); обеспечение безопасности и конфиденциальности данных, включая личную информацию о пользователях. Также существуют этические проблемы [4], в том числе выбор принципов и ценностей при принятии решений в случае неизбежной аварии (например, выбор между пассажиром, как объекта транспортной системы и пешеходом).

В ближайшие годы крупные компании перейдут к дистанционному мониторингу и управлению целыми производствами и всеми подразделениями через виртуальные системы. В рамках Интернета вещей, начиная с 2018 года, внедряются методики цифрового двойника. Разработаны национальные стандарты требований к информационным моделям, что позволит систематизировать работу с цифровыми двойниками в ряде отраслей [5]. Цифровые двойники применяются для критической инфраструктуры компаний, активно генерирующих данные. Использование цифрового двойника как инструмента управления имеет множество преимуществ, включая возможность получения информации о состоянии объекта транспортной системы в реальном времени. Цифровые двойники позволяют отслеживать состояние объектов системы и предсказывать их поведение на основе данных и моделирования. Они позволяют оптимизировать систему управления для достижения максимальной эффективности и улучшения принятия решения.

2. Использование цифрового двойника в управлении

2.1. Проблемы систем управления

Существует ряд проблем, с которыми сталкиваются системы управления на современном этапе развития. Первая – информационная перегрузка. Системы сталкиваются с большими объемами и типами данных, которые нужно обрабатывать и анализировать. Это может затруднить принятие решений и управление эффективностью. Вторая проблема – ускоренные темпы изменений. Быстрота изменений требует от систем управления гибкости и адаптивности, т.е. быстрого реагирования на изменения в требованиях рынка перевозок, технологических инновациях. Третья проблема частично перекликается со второй – растущая сложность и неопределенность в окружающей среде. Быстро меняющиеся технологии, глобальные проблемы в области перевозок в транспортных системах требуют от систем управления способности адаптироваться и принимать решения в условиях неопределенности. Четвертая проблема связана с интеграцией различных подсистем, управлением большим количеством переменных и координацией деятельности различных участников. Это требует использования эффективных методов управления сложными системами. Кроме того, существующая недостаточная координация различных участников приводит к дублированию процессов и неполной реализации стратегических целей.

Решение этих проблем требует разработки и применения новых методов управления, внедрения технологий искусственного интеллекта, развития гибкости и адаптивности систем, улучшения координации между участниками процесса управления.

2.2. Постановка задачи

При использовании цифрового двойника в управлении можно сформулировать следующие задачи: мониторинг и прогнозирование; оптимизация процессов и ресурсов; принятие решений; управление жизненным циклом объекта; оптимизация взаимодействия и сотрудничества. Конкретные задачи при использовании цифрового двойника в управлении могут варьироваться в зависимости от видов транспорта в транспортной системе и контекста применения.

Математическая запись постановки задачи использования цифрового двойника как инструмента управления может включать следующие элементы:

- объект управления – математическая модель или система, которой необходимо управлять (O);
- измерения и наблюдения. Представим измерения и наблюдения, получаемые с реального объекта, как вектор или последовательность данных. Обозначим этот вектор или последовательность как $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, где каждый элемент y_i представляет измерение или наблюдение в момент времени i ;
- цифровой двойник объекта управления (D) – виртуальная модель или реплика реального объекта;
- обновление цифрового двойника. Определим функцию обновления цифрового двойника, которая принимает текущие измерения y_i и обновляет состояние цифрового двойника D . Обозначим эту функцию как $U(D, y_i) = D'$, где D' – обновленное состояние цифрового двойника;
- анализ и прогнозирование. Определим функции анализа и прогнозирования, которые используют состояние цифрового двойника D для анализа текущего

состояния объекта управления и прогнозирования его будущего поведения. Обозначим функции анализа и прогнозирования как $A(D) = A$ и $F(D) = F$ соответственно;

- принятие решений. Определим функцию принятия решений, которая использует результаты анализа и прогнозирования для принятия оптимальных решений по управлению объектом. Обозначим функцию как $D(A, F) = U$, где U - управляющие сигналы или действия, которые должны быть приняты для управления объектом.

Цель состоит в том, чтобы определить оптимальное состояние цифрового двойника D , которое позволит достичь требуемых целей управления объектом O . Для этого необходимо разработать и оптимизировать функции обновления, анализа, прогнозирования и принятия решений, чтобы достичь желаемого управления объектом.

Данная постановка задачи использования цифрового двойника как элемента управления является общей, и может быть конкретизирована в зависимости от контекста применения и конкретных требований к системе.

При использовании финитных технологий управление системой осуществляется на основе дискретных переменных, правил и алгоритмов. Модель системы управления с использованием цифрового двойника может быть представлена в виде дифференциальных уравнений вида $x'(t) = f(x(t), u(t))$, где $x'(t)$ – производная состояния по времени, а $f(x(t), u(t))$ – функция, описывающая изменения состояния системы в зависимости от текущего состояния $x(t)$ и управления $u(t)$. Цель управления может быть определена в виде оптимизационной задачи - достижение заданных критериев или целевых показателей. Например, можно оптимизировать функционал вида $J = \int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t)) dt$, где $L(x(t), u(t))$ представляет функцию стоимости или потерь, зависящую от состояния и управления. Ограничения могут быть заданы как функции $g(x(t), u(t))$ и $h(x(t), u(t))$. Также могут быть включены дополнительные переменные и параметры.

Цифровые двойники транспортной системы можно представить в четырех формах: как модель на базе Интернета вещей; интегрированная математическая модель; 3D-модель; модель визуализации. При построении комплексной модели цифрового двойника используются математические методы вычисления и анализа [6-8]. Основная задача использования цифрового двойника в транспортной системе – спрогнозировать, как будет вести себя тот или иной объект, в штатной или нештатной ситуациях.

2.2. Алгоритм определения оптимального состояния цифрового двойника

Для определения оптимального состояния цифрового двойника алгоритм может включать следующие шаги:

- определение целей управления, т.е. определение желаемого состояния объекта, требуемых показателей производительности, ограничений и других факторов;
- создание цифрового двойника, т.е. моделирование системы, определение входных и выходных параметров, а также разработку алгоритмов для обновления и анализа цифрового двойника;
- обновление цифрового двойника: т.е. использованием данных измерений и наблюдений, полученных с реального объекта управления (сбор данных, их фильтрация, преобразование и использование для обновления состояния цифрового двойника);
- анализ и прогнозирование, т.е. использование алгоритмов анализа данных, статистических методов, машинного обучения или других методов для выявления закономерностей и трендов в данных и прогнозирования будущих изменений;

- принятие решений, т.е. определение оптимальных управляющих сигналов, действий или стратегий, которые позволят достичь желаемых целей управления;
- реализация управления, т.е. передача управляющих сигналов или команд на реальный объект управления с использованием соответствующих исполнительных механизмов или систем;
- мониторинг и обратная связь: т.е. получение обратной связи от объекта и корректировка цифрового двойника и стратегии управления при необходимости;
- оптимизация и улучшение алгоритмов и стратегий управления на основе полученного опыта и обратной связи. Это может включать анализ эффективности управления, выявления проблем и внесение соответствующих корректировок для улучшения результатов.

3. Заключение

Использование цифрового двойника как инструмента управления имеет множество преимуществ, включая возможность получения реального времени информации о состоянии объекта, прогнозирования будущего поведения и оптимизации управления. Однако для эффективного использования цифрового двойника необходимо учитывать особенности конкретного объекта управления и разрабатывать соответствующие алгоритмы и стратегии управления, что предусмотрено в рамках поручения Президента РФ [9].

Список литературы

1. Цвиркун Д.А. Проблемы управления развитием крупномасштабных систем в современных условиях. // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды Шестнадцатой междунар. конф: М.: ИПУ РАН, 2023. С. 26-35. DOI: 10.25728/mlsd.2023.0026
2. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Математические модели для цифровых двойников гибкого дискретного производства // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды Шестнадцатой междунар. конф: М.: ИПУ РАН, 2023. С. 409-414.
3. Цыганов В.В. Комплекс моделей и платформ стратегического управления транспортной инфраструктурой // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды Шестнадцатой междунар. конф: М.: ИПУ РАН, 2023. С. 126–138. DOI: 10.25728/mlsd.2023.0126.
4. Национальный Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта. <http://leader-id.storage.yandexcloud.net> (дата обращения 09.01.2024).
5. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. <https://docs.cntd.ru> (дата обращения 15.01.2024).
6. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / Пер. с англ. А.А. Склинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.
7. Abadi M., et al. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems // arXiv preprint arXiv:1603.04467. 2016.
8. Basan A.S., Basan E.S., Lapina M.A., Lapin V.G. Behavior-Based Assessment of Trust in a Cyber-Physical System. Communications in Computer and Information Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2021. Vol. 1395 CCIS. P. 190-201, https://doi.org/10.1007/978-981-16-1480-4_17.
9. Перечень поручений Президента РФ по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта». <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/copy/73282> (дата обращения 17.01.2024).