

Система обнаружения дрейфа данных и аномалий в цифровых двойниках

Васильев Н. В.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Ефимова В. А.

Университет ИТМО

nvasilev@itmo.ru

Введение

В современном мире в ходе распространения цифровых двойников, камер и датчиков, остро встает вопрос валидации входных данных. Аномалии и дрейф данных, возникающие как следствие поломок датчиков или изменений внешней среды, могут приводить к ошибкам в логике алгоритмов цифрового двойника и снижать его эффективность.

На текущий момент существует множество различных методов обнаружения аномалий и дрейфа на камерах, среди них наиболее точные: основанные на моделях языка и зрения[1, 5, 9] и основанные на генеративных моделях, реконструирующих предполагаемое изображение без аномалий[7, 10]. Для датчиков наиболее актуальны статистические методы[6], а также основанные на генеративных моделях, реконструирующих временные ряды[8].

Однако существует необходимость реализовать комплексное решение, подходящее под задачу автономно работающего цифрового двойника, то есть использующее zero-shot детекцию аномалий и дрейфа данных.

Основная часть

В рамках данного исследования разрабатывается комплексный подход к отслеживанию дрейфа и аномалий в цифровых двойниках, интегрирующий методы глубокого обучения и статистического анализа. Сложность задачи состоит в отсутствии размеченных данных под каждую узкую задачу в цифровом двойнике, а сбор данных и их разметка под каждую конкретную задачу увеличивают расходы на создание цифрового двойника и требуют дополнительного поиска специалистов, способных выполнить разметку.

Для решения этой проблемы в нашей системе используются только методы, основанные на обучении без учителя, тренирующиеся на неразмеченных данных[3, 4, 5], или предобученные на обобщенных данных фундаментальные модели[4, 9]. Использование лучших из этих методов в ансамбле позволит получить наиболее точный результат, совместив их преимущества.

В рамках комплексной системы, общая проблема разбивается на составляющие, образуя модульную архитектуру, в которой для каждого типа данных и класса явлений может быть использован наиболее подходящий под задачу алгоритм, а результат их работы совмещается в ансамбле для принятия наиболее информированного и точного решения о достоверности данных цифрового двойника в целом.

Выводы

Внедрение разработанной системы в контур цифрового двойника позволяет повысить устойчивость системы к деградации датчиков, изменениям внешней среды, поломкам. В составе мультиагентной системы создания цифрового двойника, комплексная система обнаружения аномалий и дрейфа данных позволяет уменьшить необходимость вовлечения людей в настройку цифровых двойников, снижая расходы на их развертывание.

Литература

1. Zhou Q. [и др.]. AnomalyCLIP: Object-agnostic Prompt Learning for Zero-shot Anomaly Detection // 2023.
2. Kim B., Jeon B. Exploring Feasibility of Data Drift Detection via In-Stream Data for Vision Models 2025.С. 1–2.
3. Wilmet V. [и др.]. A Comparison of Supervised and Unsupervised Deep Learning Methods for Anomaly Detection in Images // 2021.
4. Rahmaniar W., Suzuki K. Multi-AD: Cross-Domain Unsupervised Anomaly Detection for Medical and Industrial Applications // Pattern Recognition. 2026. (172). С. 112486.
5. Li Y., Ivanova E., Bruveris M. FADE: Few-shot/zero-shot Anomaly Detection Engine using Large Vision-Language Model // 2024.
6. Alnegheimish S. [и др.]. M²AD: Multi-Sensor Multi-System Anomaly Detection through Global Scoring and Calibrated Thresholding // 2025.
7. Filatov D. [и др.]. D3R-Net: Dual-Domain Denoising Reconstruction Network for Robust Industrial Anomaly Detection // 2026.
8. Wasserstein GAN-Based Digital Twin-Inspired Model for Early Drift Fault Detection in Wireless Sensor Networks [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10122519> (дата обращения: 26.02.2026).
9. Fung C. [и др.]. Model Selection of Anomaly Detectors in the Absence of Labeled Validation Data // 2024.
10. Viviers C. [и др.]. Can Your Generative Model Detect Out-of-Distribution Covariate Shift? // 2024.