

ОРГАНИЗАЦИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Э.А. Неганова, В.Д. Марквирер,

А.В. Кычкин,

Пермский филиал НИУ ВШЭ,

кафедра информационных технологий в бизнесе

Аннотация

В работе рассматривается задача проектирования системной архитектуры киберфизической системы (cyber-physical system, CPS) управления интеллектуальным офисным зданием – CPS «Умный офис». Проект направлен на повышение оперативности и качества решений по управлению подсистемами здания, снижение эксплуатационных затрат и энергопотребления, обеспечение комфортных для работы персонала условий за счет использования технологий Интернета вещей и цифровых двойников. Исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки Пермского филиала НИУ ВШЭ «Исследование методов управления в киберфизических системах».

Введение

Одним из направлений, стремительно развивающихся в рамках концепции цифровой экономики, является создание интеллектуальных зданий. При управлении цифровым зданием должны адекватно учитываться реальные физические процессы, производится прогнозирование изменений параметров в реальном времени [1].

Целью исследования является разработка архитектуры киберфизической системы (CPS) интеллектуального здания, подразумевающей оснащение объектов и оборудования здания набором датчиков, устройствами управления и вычислительными устройствами, которые взаимодействуют между собой, серверами и внешней сетью через виртуальное киберпространство [2]. Повышение качества управления зданием может быть достигнуто благодаря таким технологиям Индустрии 4.0 [1], как интеллектуальный анализ данных (Data Mining), анализ больших данных (Big Data), Интернет вещей (Internet of Things) и др. Каждое физическое устройство должно иметь свое цифровое представление, в совокупности формируя цифрового двойника (Digital Twin) [2, 3].

Ключевыми задачами являются: анализ стандартов и принципов работы CPS, определение требования к CPS здания, разработка системной архитектуры, отвечающей выявленным требованиям. Сформированная архитектура должна содержать компоненты, оптимизирующие эксплуатационные характеристики рабочего помещения в части энерго- и ресурсопотребления. Система, реализуемая в рамках предложенной архитектуры должна обеспечивать комфортные условия труда сотрудников.

В первом разделе отражены основные результаты анализа предметной области и поиска стандартов, на основании которых реализуются CPS. Во втором разделе сформулированы основные требования к Умному офису, как базовому элементу CPS интеллектуального здания. В третьем разделе перечислены все модули системы, описаны принципы их работы и взаимосвязь между собой, показана системная архитектура, интегрирующая все необходимые модули.

Анализ принципов работы CPS и стандартов разработки CPS.

Согласно определению Американского Института Стандартов и Технологий (NIST), представленного в CPS Framework 1.0, будем понимать под CPS – систему, включающую в себя инженерные взаимодействующие сети физических и вычислительных компонентов [4].

Концепция CPS тесно связана с IoT (Интернет вещей). В России разработкой стандартов IoT и CPS занимается технический комитет 194 «Киберфизические системы».

В [5] авторами приводится обзор решений по созданию интеллектуальных киберфизических сред (Smart Cyber-Physical Environment, SE), предлагается использование платформы iSapiens для проектирования и реализации распределенных киберфизических систем.

В работе [6] представлен фреймворк Syndesi, основанный на беспроводных сенсорных сетях (Wireless Sensor Networks, WSN), помимо других возможностей, позволяющий реализовывать действия, например, управление электрическими устройствами, в зависимости от предпочтений и потребностей идентифицированных в помещении людей. Платформа Syndesi объединяет сети датчиков, узлов и исполнительных механизмов с различными коммуникационными технологиями, такими как Near Field Communication (NFC), Bluetooth, ZigBee и 6LoWPAN. Существуют и другие платформы.

Необходимость исследований архитектурных реализаций CPS «Умный офис» обусловлена наличием большого числа различных способов организации интеграционных решений, что затрудняет адаптацию аналитических компонент и цифровых двойников к конкретным сооружениям и условиям их эксплуатации. Стоимость профессиональных информационно-аналитических средств, используемых для управления высокотехнологичными зданиями, очень высока, они характеризуются высокими требованиями не только к эксплуатации, но и к квалификации сотрудников компаний. Это препятствует широкому распространению интеллектуальных офисных зданий на имеющихся рабочих пространствах.

Выявление требований к CPS «Умный офис».

Определим варианты использования системы на трех уровнях: физический объект, цифровой двойник, интерфейс.

На уровне физического объекта CPS должна учитывать энергию, потребляемую оборудованием, датчики должны обеспечивать измерение физических параметров окружающей среды (температура, влажность воздуха и др.), преобразовывать эти измерения в данные и отправлять в систему.

На уровне цифрового двойника осуществляется управление данными: хранение, обработка, изменение, обновление, удаление, обеспечение безопасности доступа к данным и обеспечение качества используемых данных, получение данных из внешних систем, проведение учета аварий и сбоев в работе системы. Цифровой двойник должен обеспечивать анализ данных, поиск шаблонов в больших объемах информации, прогнозирование поведения системы, планирование математических экспериментов, формирование рекомендаций по энергопотреблению, работу с документацией и составление отчетов.

На уровне интерфейса должно обеспечиваться взаимодействие пользователей с системой, в том числе сотрудники офиса должны иметь возможность через интерфейс исследовать состояние системы и оказывать на нее воздействия.

Важным требованием к CPS является возможность реализации энергоменеджмента, то есть оптимизации потребления энергетических ресурсов, обеспечивающих функционирование офиса. Помимо установки датчиков, снимающих необходимые метрики о состоянии температуры внутри помещения и вне его, освещенности, качестве воздуха, состоянии дверей и окон, должны учитываться количество сотрудников в офисе и количество работающей оргтехники. Система должна собирать информацию о происходящих сбоях,

своевременно определять риск возникновения новых аварий, рассчитывать необходимое количество энергии, а также управлять работой оборудования.

Системная архитектура CPS «Умный офис».

На основании выявленных требований к системе был выбран гибридный архитектурный стиль, сочетающий в себе стили вызов с возвратом, брокер сообщений и архитектуру, ориентированную на сервисы, (рис.1).

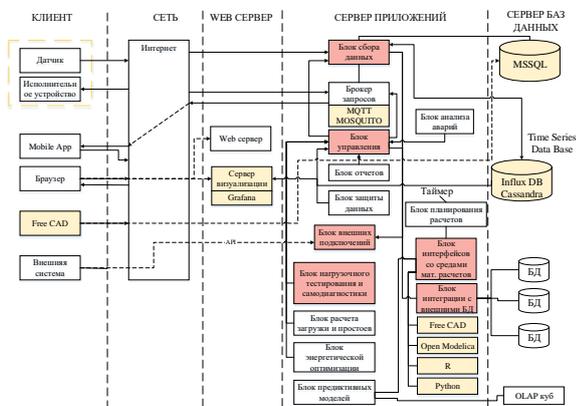


Рис. 1. Системная архитектура CPS «Умный офис»

На стороне клиента осуществляется взаимодействие сотрудников офиса с системой через мобильное приложение или web-приложение в браузере, в том числе визуализация данных и статистики в реальном времени [7]. На этом же уровне происходит сбор параметров с датчиков температуры, влажности, качества воздуха и др., реализация команд на исполнительных устройствах подсистем тепло-, электро-, водоснабжения, освещения, вентиляции [7] и др. Бесперебойная работа системы должна обеспечиваться качественной и безопасной связью между компонентами, реализованной посредством сети IoT. Web-приложение разворачивается на web-сервере, который, в свою очередь, получает от клиента запросы на ресурсы и предоставляет доступ к необходимым данным. Доступ к серверу визуализации метрик осуществляется также через web-приложение.

Уровень сервера приложений реализует управление, сбор и обработку данных для последующей передачи ее на уровень клиента или записи на уровне данных. Взаимодействие и обмен сообщениями между IoT устройствами здания реализуется с помощью брокера запросов – MQTT Mosquitto.

Блок управления реализует управление микросервисами CPS. Блок сбора данных необходим для получения данных из разных источников, их обработки, регистрации и перенаправления. Блок анализа аварий обеспечивает безопасное функционирование системы, в нем ведется учет аварий и неисправностей, анализируются произошедшие инциденты с целью прогнозирования дальнейшего поведения системы и планирования превентивных мер ее защиты и совершенствования. В блоке отчетов формируются отчеты в формате pdf. Обеспечение кибербезопасности осуществляется за счет блока защиты данных, в котором реализуются меры по защите от цифровых атак и потери данных, контроля доступа пользователей к системе и управления учётными записями. Блок внешних подключений необходим для связи с внешними системами, а блок интеграции с внешними БД служит для получения данных с внешних источников.

Запуск математических вычислений реализуются с помощью блока планирования расчетов. Блок интерфейсов со средами математических расчетов

обеспечивает управление средами моделирования (FreeCAD, Open Modelica) и языками программирования (R, Python). Блок предиктивных моделей с помощью OLAP-технологий определяет паттерны в данных и прогнозирует будущее поведение процессов в здании с целью определения возможных рисков и принятия оптимальных решений. Блоки нагрузочного тестирования и самодиагностики, расчета загрузки и простоев реализуют сервисы выявления неисправностей, своевременного информирования сотрудников офиса о неполадках в системе и необходимости принимать меры по их устранению. Блок энергетической оптимизации реализует сервис энергоменеджмента.

Подключение к БД обеспечивается уровнем данных, содержащим MSSQL Server, БД временных рядов (Time Series Data Base - Cassandra или Influx DB). Внешние БД могут использоваться в целях снижения стоимости ведения собственных информационных массивов. OLAP технологии хранения многомерных данных позволяют находить закономерности в больших массивах данных и в дальнейшем использовать их для прогнозирования.

Заключение

Полученная архитектура описывает класс CPS интеллектуальных офисных зданий. Архитектура отличается от известных наличием блоков, реализующих сервисы анализа и формирования рекомендаций по оптимизации потребления энергоресурсов, автоматической настройки параметров офисного помещения. Это реализуется за счет наличия в системе элементов IoT управления и цифровых двойников. CPS «Умный офис» может быть использована в рамках цифровой трансформации городской среды.

Список литературы:

1. Negri, E. A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems / Negri E., Fumagalli L., Macchi M. // Procedia Manufacturing. – 2017. – № 11 - pp. 939-948.
2. Schroeder, G. N. Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange / Schroeder G. N., Steinmetz C., Pereira C. E., Espindola D. B. // IFAC-PapersOnLine, Elsevier. – 2016. – pp. 12-17.
3. Lee, E. A. Cyber physical systems: Design challenges // 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). – 2018. – pp. 363-369.
4. Framework for Cyber-Physical Systems. Release 1.0 by Cyber Physical Systems Public Working Group. URL: https://s3.amazonaws.com/nist-sgpcs/cpspwg/files/pwgglobal/CPS_PWG_Framework_for_Cyber_Physical_Systems_Release_1_0Final.pdf
5. Cicirelli, F. Edge enabled development of Smart Cyber-Physical Environments / Cicirelli F., Fortino G., Guerrieri A., Spezzano G., Vinci A. // 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. – 2016.
6. Evangelatos, O: A Framework for Creating Personalized Smart Environments Using Wireless Sensor Networks / Evangelatos O., Samarasinghe K., Rolim J. Syndesi // Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. IEEE Computer Society. – 2013. – pp. 325–330.
7. Кычкин, А. В. Проектирование IoT-платформы для управления энергоресурсами интеллектуальных зданий / Кычкин А. В., Дерябин А. И., Викентьева О. Л., Шестакова Л. В. // Прикладная информатика - Journal Of Applied Informatics. – 2018. – том 13, № 4 (76). – С. 29-41.