

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ДОМАШНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ: АРХИТЕКТУРА И ПРОТОКОЛЫ, ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Д. Д. Дмитриев, Е. В. Дерябин, К. А. Удодова, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлен системный анализ современных подходов к построению комплексных систем домашней автоматизации («умный дом»). Рассмотрены архитектурные принципы, ключевые компоненты, протоколы связи и поэтапная методология реализации.

Ключевые слова: «умный дом», домашняя автоматизация, IoT, протоколы связи, центральный контроллер, Matter, архитектура системы.

ANALYTICAL REVIEW OF HOME AUTOMATION SYSTEMS: ARCHITECTURE AND PROTOCOLS, CONSTRUCTION PRINCIPLES AND MODERN TRENDS

D. D. Dzmitryeu, Ya. V. Dzerabin, K. A. Udodava, A. Ya. Zapolsky

Sukhoi State Technical University of Gomel, Belarus

The paper presents a systematic analysis of modern approaches to building comprehensive home automation systems (“smart home”). The architectural principles, key components, communication protocols, and a step-by-step implementation methodology are considered.

Keywords: smart home, home automation, IoT, communication protocols, central controller, Matter, system architecture.

В современном мире наблюдается значительный рост в применении интеллектуальных систем управления жилыми пространствами. Анализ рынка показывает наличие проблемы совместимости устройств разных производителей, их недостаточную энергоэффективность и наличие уязвимостей в области информационной безопасности. Современные решения способны автоматизировать определенные задачи, однако у них есть ряд нерешенных проблем: зависимость от Интернета (особенно актуальна для устройств, которые используют беспроводной протокол Wi-Fi), несовместимость устройств от различных производителей. Исследования показывают, что правильно реализованная система «умного дома» может повысить энергоэффективность на 20–30 % по сравнению с обычным домом без систем интеллектуальной автоматизации. Эффективная система строится на уровне трехуровневой модульной архитектуры – сенсорный уровень (уровень восприятия), сетевой уровень, уровень управления.

Первый уровень включает в себя все физические датчики (например, датчики движения, температуры, влажности, газа, протечки) и исполнительные устройства (например, «умные» реле, сервоприводы, термостаты, клапаны).

Второй уровень обеспечивает передачу данных между устройствами через различные протоколы связи (Wi-Fi, Zigbee, Thread, Z-Wave) для создания надежной Mesh-сети. Главным звеном третьего уровня является центральный контроллер (хаб), который агрегирует данные, осуществляет управление всей системой, обеспечивая единый интерфейс. Выбор протокола определяет надежность, энергоэффективность и масштабируемость системы. Протоколы «умной» автоматизации можно разделить на проводные и беспроводные.

К проводным протоколам относятся протоколы KNX, DALI, которые характеризуются высочайшей надежностью, но требуют профессионального монтажа на этапе производства [1].

К беспроводным протоколам относятся протоколы Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Thread, Matter.

Протоколы Zigbee и Z-Wave используют Mesh-сеть и обладают высокой помехоустойчивостью. Zigbee характеризуется очень низким энергопотреблением и является самоорганизующейся сетью. Ключевыми особенностями протокола Z-Wave являются низкое потребление при высокой помехоустойчивости, обеспечение гарантированной совместимости между различными устройствами.

Протокол Wi-Fi работает с использованием IP-сети, является очень распространенным, так как его использует для организации беспроводного соединения большое количество различных устройств. Но при этом он не обладает низким энергопотреблением и имеет ограничения по подключению: количество подключаемых устройств к 1 хабу ограничено, что может быть критичным при разворачивании масштабных систем автоматизации с большим количеством устройств [3].

Протокол Thread обладает очень низким энергопотреблением и высокой помехозащищенностью. Он создает надежную Mesh-сеть с использованием интернет-протокола IPv6. Каждое устройство Thread имеет собственный IPv6-адрес и может взаимодействовать напрямую с другими IP-устройствами в локальной сети и через Интернет, без необходимости в шлюзах для преобразования протоколов. Это особенность отличает его от других протоколов, таких как Zigbee, которые для подключения к сети Интернет требуют наличия специального шлюза.

Перспективным направлением является стандарт Matter, целью которого является унификация экосистемы разных производителей за счет сложного IP-базированного протокола. Протокол обеспечивает кроссплатформенную совместимость, локальное управление без зависимости от сети Интернет и повышенную безопасность благодаря сквозному шифрованию [2].

Связка «Matter over Thread» («Matter поверх Thread») считается идеальным решением для систем «умного дома». Пользователь получает преимущества надежной Mesh-сети Thread и гарантию совместимости устройств Matter от разных производителей [2–4].

Анализ современного рынка выявил следующие существенные недостатки у систем типа «Умный дом»: фрагментация экосистемы, энергетическая неэффективность, зависимость от роутера.

Фрагментация экосистемы проявляется в том, что каждый производитель устройств для «умного дома» создает свое собственное решение, часто для настройки требующее фирменного программного обеспечения от производителя. Таким образом, простой пользователь сталкивается в конечном итоге с большим количеством различных программных продуктов, которые требуются ему для разворачивания системы «умной» автоматизации в своем доме. Производитель Яндекс в своем решении «Умный дом с Алисой» решил частично эту проблему, так как позволяет к своему хабу «умного дома» подключать аппаратные решения от других производителей. Однако в ряде случаев использовать полностью функциональные возможности, изначально заложенные производителем устройства, не является возможным.

Ряд популярных решений на рынке используют для своих устройств в качестве беспроводного протокола связи Wi-Fi. Такие устройства потребляют значительное

количество энергии, что особенно критично для датчиков, работающих от аккумуляторных батарей.

Кроме этого такие устройства в качестве головного хаба используют роутер и домашнюю сеть Wi-Fi, тем самым являются от них критично зависимыми. Однако при формировании концепции собственного «умного дома» необходимо учитывать ограниченные возможности роутера по количеству подключенных к 1 роутеру устройств.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить требования к системам автоматизации жилых помещений: модульность конструкции, мультипротокольная поддержка, локальная обработка данных, наличие резервного питания, наличие системы безопасности [5].

Модульность конструкции подразумевает наличие основного головного устройства с подключаемыми к нему модулями расширений (датчики и исполнительные механизмы). Для удобного взаимодействия между модулями и подключениями устройств сторонних производителей хаб должен иметь мультипротокольную поддержку (Zigbee 3.0, Thread, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.2). Локальная обработка данных позволит сделать устройство полностью независимым и способным работать в автономном режиме. Для организации эффективной системы безопасности система может быть спроектирована с использованием аппаратного модуля TPM 2.0 и шифрования AES-256.

При разработке системы необходимо также проработать вопросы:

- 1) автоматическое распределение устройств между различными протоколами для оптимизации производительности сети;
- 2) предиктивная автоматизация, основанная на механизмах машинного обучения для анализа поведенческих закономерностей и автоматической корректировки результатов;
- 3) энергетический мониторинг для анализа энергопотребления с учетом режимов оптимизации работы устройств.

Таким образом, современное решение для организации домашней автоматизации типа «умный дом» должно обладать модульностью, универсальной архитектурой с множеством сетевых протоколов, механизмом локальной обработки данных и интеллектуальными алгоритмами оптимизации, поддержкой устройств сторонних производителей.

Литература

1. DALI, KNX & LON: The Pillars of Smart Building Automation Protocols URL: <https://www.linkedin.com/pulse/dali-knx-lon-pillars-smart-building-automation-protocols-salim-ja7hc/> (date of access: 14.09.2025).
2. Чем отличаются протоколы умного дома и какой выбрать? – URL: <https://journal.citilink.ru/articles/chem-otlichayutsya-protokoly-umnogo-doma-i-kakoj-vybrat> (date of access: 15.09.2025).
3. Лучшие стандарты умного дома. – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/smart-home-zigbee-thread-matter-advice/34761/> (date of access: 17.09.2025).
4. Альянс стандартов связи. Официальные ресурсы протокола Matter. – URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>.
5. Как работает умный дом и для чего он нужен? Все функции и возможности системы. – URL: <https://hoff.ru/blog/chto-takoe-umnyy-dom/> (date of access: 20.09.2025).