

Интеграция интеллектуальных систем умного дома для повышения их надежности и устойчивости

Хейн Вай Зо, С.А. Лупин

Аннотация— Быстрое развитие технологии Интернета вещей (IoT) преобразовало системы «умного дома», используя гибкую автоматизацию и пользовательский опыт. Однако автономные интеллектуальные системы часто страдают от точечных сбоев и ограниченной точности датчиков, что снижает их надежность. В этой статье исследуется возможность использования интеграции интеллектуальных подсистем освещения и безопасности, реализованных по технологии Интернета вещей, для повышения надежности и точности системы за счёт объединения информации с датчиков. В среде моделирования AnyLogic проведена оценка эффективности автономных и интегрированных подсистем прототипа умного дома. Результаты моделирования показывают, что интеграция позволяет повысить точность обнаружения событий до 99% по сравнению с 94% и 87% для автономных систем освещения и безопасности соответственно. Интеграция смягчает сбои отдельных подсистем, повышает точность принятия решений и вводит дополнительные функции, например, такие как автоматическое включение освещения для сдерживания злоумышленников. Проведенные исследования подтверждают потенциал интегрированных систем Интернета вещей для повышения надежности и расширения функциональности систем «умного дома».

Ключевые слова— Интернет вещей, умный дом, системная интеграция, умное освещение, система безопасности, моделирование в AnyLogic.

1. ВВЕДЕНИЕ

Концепция домашней автоматизации, то есть возможности автоматического или удаленного управления домашними устройствами, значительно изменилась за последние десятилетия. Истоки этого явления восходят к началу 20 века, с появлением электроприборов, таких как стиральные машины и холодильники. Эти инновации заложили основу для повышения комфорта в доме с помощью машин. В 1970-х годах появились первые настоящие системы домашней автоматизации. Этому способствовало внедрение протокола X10 — стандарта связи, который позволяет совместимым устройствам обмениваться управляющими сигналами по бытовой электропроводке, реализуя такие базовые функции, как дистанционное включение или выключение света и управление приборами по расписанию.

В 1990-х и начале 2000-х годов технологические

достижения в области микроконтроллеров, беспроводной связи и встроенных систем привели к появлению более эффективных систем автоматизации, включая программируемые термостаты, сенсоры движения и системы ранней сигнализации. Однако эти системы часто были проприетарными, сложными в установке и не обладали функциональной совместимостью.

Технология, которая обеспечивает новые формы двунаправленной связи между людьми с вещами и вещами с вещами, известная как Интернет вещей, впервые представлена в 1998 году Кевином Эштоном [1]. В последнее время ей уделяется много внимания и в научных публикациях и в промышленности, и это приносит новое измерение в мир информационных и коммуникационных технологий.

Появление технологии Интернета вещей (IoT) произвело революцию во многих отраслях, таких как транспорт, здравоохранение, розничные услуги, промышленное управление и умный дом. Среди них индустрия умного дома особенно выигрывает от развития IoT технологий. Благодаря Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee и облачным платформам интеллектуальные устройства стали более доступными и взаимосвязанными. В результате число устройств для умного дома, продаваемых на мировом рынке, значительно увеличилось.

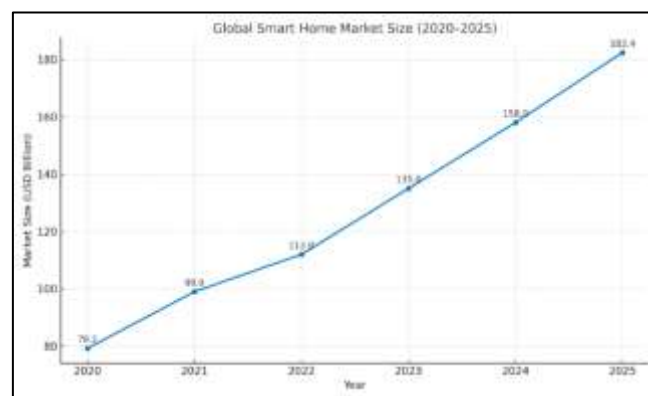


Рис. 1 Рост мирового рынка услуг и систем IoT для умного дома

По данным Statista (2024 г.), прогнозируется, что мировой рынок умного дома вырастет со 158,0 млрд долларов в 2024 году до 182,4 млрд долларов к 2025 году, что представляет собой совокупный годовой темп роста (CAGR) примерно 15%, (рис. 1) [2]. Этот рост также

обусловлен повышением осведомленности потребителей, доступностью устройств, улучшением стандартов беспроводной связи, таких как Wi-Fi, Zigbee и Z-Wave, а также широким распространением решений на базе искусственного интеллекта. Эти достижения подчеркивают роль Интернета вещей не просто как технологического фактора, но и преобразующей силы, которая переопределяет домашнюю жизнь посредством отзывчивых, адаптивных и автономных систем.

Среди различных приложений для умного дома наиболее часто используются интеллектуальные системы освещения и безопасности. Эти системы превратились из базовых автоматизированных средств управления в контекстно-зависимые интеллектуальные

подсистемы, которые повышают удобство, обеспечивая комфорт, энергоэффективность и безопасность.

Сегодня существует множество коммерческих предложений, которые управляются мобильными приложениями, голосом и удобны для пользователя. В таблицах 1 и 2 представлены примеры автономных интеллектуальных систем освещения и безопасности, доступных в настоящее время на рынке. Точность обнаружения этих систем, оцененная для целей моделирования, основана на совокупности данных из обзоров тестирования продуктов и опыта пользователей, опубликованных в таких источниках, как PCMag, TechRadar и Tom's Guide.

Таблица 1. Системы умного освещения.

Название	Производитель	Тип соединения	Основные особенности	Точность
Philips Hue	Signify (Philips)	Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth	Адаптивное интеллектуальное освещение с автоматизацией IFTTT	95%
LIFX Smart Bulbs	Feit Electric	Wi-Fi	Миллионы цветов, интегрируется с Nest & Ring	92%
Nanoleaf Panels	Nanoleaf	Wi-Fi	Сенсорные модульные панели, синхронизация музыки	90%
Wyze Smart Bulbs	Wyze Labs	Wi-Fi	Бюджетный вариант с голосовым управлением	88%
TP-link Kasa	TP-Link	Wi-Fi	Мониторинг энергопотребления, расписания, голосовое управление	89%

Таблица 2. Системы безопасности.

Название	Производитель	Тип соединения	Основные особенности	Точность
Ring Alarm	Amazon	Wi-Fi, Z-Wave	Запись видео с активацией по движению	96%
Arlo Pro Cameras	Arlo Technologies	Wi-Fi, Cellular	Обнаружение объектов на базе искусственного интеллекта	98%
Google Nest Secure	Google	Wi-Fi	Обнаружение движения на основе искусственного интеллекта и геозоны	95%
SimpliSafe	SimpliSafe Inc.	Wi-Fi, Cellular	Беспроводная интеллектуальная система безопасности	94%
ADT Smart Security	ADT Security	Wi-Fi, Z-Wave	Мониторинг и интеллектуальная автоматизация	97%

Несмотря на возможность объединения интеллектуальных устройств, многие системы продолжают функционировать как автономные решения. Это ограничивает их потенциал по предоставлению надежных, взаимосвязанных услуг. К основным проблемам, препятствующим интеграции, относятся:

- **Устаревшее оборудование.** В старых системах отсутствует программное обеспечение или протоколы связи, необходимые для современной интеграции Интернета вещей.
- **Высокие затраты на интеграцию.** Обновление

оборудования, внедрение совместимого программного обеспечения и обучение персонала могут быть непомерно дорогими.

- **Узкие варианты использования.** Для некоторых приложений интеграция может принести ограниченную добавленную функциональность.
- **Техническая сложность.** Объединение данных с датчиков из разных систем требует сложных алгоритмов и коммуникационной инфраструктуры с достаточной пропускной способностью.

Автономные системы более уязвимы к точечным сбоям, когда отказ одного компонента может нарушить работу всей системы. Интеграция дает возможность

повысить достоверность информации за счет объединения сенсоров, при котором данные из нескольких источников объединяются для создания более полного понимания окружающей среды. Такой подход улучшает восприятие, повышает точность принятия решений и надежность системы [3].

Таким образом, объединение информации с датчиков обеих подсистем, включая их координацию с помощью интегрированного механизма управления, позволит:

- преодолеть ограничения отдельных систем,
- повысить точность и надежность системы,
- обеспечить дополнительные контекстно-зависимые функции.

В нашем исследовании рассматривается пример интеграции интеллектуальных систем освещения и безопасности. Ниже будут представлены результаты моделирования, подтверждающие справедливость этих утверждений.

II. ПРИМЕРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ УМНОГО ДОМА

Последние достижения в технологиях Интернета вещей значительно расширили возможности получения, передачи и анализа данных с датчиков и устройств умного дома. Эта эволюция вызвала всплеск исследований, направленных на разработку и внедрение систем интеллектуального освещения, безопасности и, во все большей степени, интегрированных систем, которые реализуют множество функций на единой платформе.

Рассмотрим последние работы в трех категориях: автономные интеллектуальные системы безопасности, автономные интеллектуальные системы освещения и интегрированные среды умного дома.

Автономные интеллектуальные системы безопасности. Значительный объем исследований был посвящен системам обнаружения злоумышленников с поддержкой технологий Интернета вещей. В [4] авторы предложили внутреннюю систему обнаружения людей с использованием термодатчиков, дополненных фильтром Калмана для снижения шума и улучшения интерпретации данных. В другом исследовании [5] была представлена компактная система обнаружения злоумышленников, использующая ультразвуковой датчик и микроконтроллер NodeMCU, которая передавала оповещения пользователям в режиме реального времени через мобильное приложение Blynk. В [6] была представлена реализация системы охраны с использованием PIR-датчика движения в сочетании с платой Raspberry Pi. Система достигла средней точности обнаружения 89% в ходе 100 тестов, предлагая экономичное и масштабируемое решение для домашней безопасности.

Автономные интеллектуальные системы освещения. Решениям интеллектуального освещения также уделяется пристальное внимание, особенно в области энергоэффективности и интеллектуального управления. В статье [7] предложена интеллектуальная инфраструктура системы общественного освещения с

использованием светодиодных светильников, датчиков движения PIR и датчиков внешней освещенности. Управление светильниками производится посредством временного планирования на основе Интернета вещей и показаний датчиков в реальном времени. Система может работать в ручном, запланированном или автоматическом режимах. Во всех случаях её производительность оставалась чувствительной к условиям окружающей среды и задержкам в сети.

В более широком исследовании, проведенном в [8], были рассмотрены современные интеллектуальные системы освещения (SLS) с упором на их применение в складской логистике и сборе заказов. Исследование показало, как светодиоды, интегрированные с датчиками движения и контекстно-зависимыми элементами управления, могут значительно снизить потребление энергии, одновременно повышая эффективность труда за счет адаптивного освещения.

В [9] была описана энергосберегающая система освещения с использованием Bluetooth-модуля HC-05 для дистанционного управления яркостью светодиодов. Система позволяла пользователям взаимодействовать с источниками света через мобильное приложение, созданное с помощью MIT App Inventor, что дает возможность настраивать яркость в режиме реального времени и способствует экологически безопасной эксплуатации.

Интегрированные системы умного дома. В последнее время исследователи стали уделять внимание и интегрированным решениям Интернета вещей, которые объединяют несколько подсистем, таких как освещение, охрана, пожарная безопасность и контроль окружающей среды.

В работах [10] и [11] продемонстрированы недорогие прототипы умного дома с использованием микроконтроллеров Arduino, датчиков движения PIR, детекторов пламени и модулей Wi-Fi ESP8266. Системы дают возможность пользователям удаленно управлять такими приборами, как освещение и вентиляторы, через приложение Blynk, объединяя несколько функций на одной платформе.

В другой работе [12] оценивалась система умного дома, объединяющая управление освещением, мониторинг температуры и обнаружение движения. В исследовании сообщается, что чувствительность PIR-датчика может значительно варьироваться в зависимости от внешних факторов, таких как температура, воздействие солнечного света и физические препятствия, такие как стекло. Представленные результаты обосновывают необходимость точного размещения датчиков для обеспечения надежного обнаружения.

Интеллектуальная система освещения, включающая дверной замок с сервоуправлением, модуль Wi-Fi ESP8266, датчики света и ИК-датчики, и облачный IoT-сервер, предложена в работе [13]. Система демонстрировала различное время ответа на команду в зависимости от условий сети, что подчеркивает важность надежности связи в интегрированных системах.

Недостатки автономных систем. Анализ литературы позволяет выделить основные ограничения, предлагаемых решений. Для автономных систем к ним относятся:

Уязвимость к единичным отказам. Многие автономные системы принимают решения от отдельных датчиков. Если датчик выходит из строя или не обнаруживает активности — из-за факторов окружающей среды, низкой чувствительности или аппаратной ошибки — система не может компенсировать это, что приводит к снижению надежности. Точность и ограничения широко используемых датчиков в существующих интеллектуальных системах освещения и безопасности представлены в Таблице 3.

Недостаточное использование технологий объединения данных в интегрированных системах. Хотя датчики в комплексных системах технически интегрированы, их информационное объединение не реализуется. Локальные данные датчиков используются только для инициирования действий или уведомления пользователей без использования межсистемного

анализа, который мог бы повысить точность принятия решений или вызвать контекстно-зависимые ответы.

Оценить эффективность интеграции подсистем умного дома можно с помощью моделирования. Мы разработали модель, которая объединяет интеллектуальные системы освещения и безопасности с помощью централизованного блока управления, который позволяет обеим системам работать совместно, обмениваясь данными их сенсоров. Такая интеграция не только повышает общую точность и отказоустойчивость системы, но также открывает возможности для реализации дополнительных функций, которые используют общие ресурсы данных. Простейший пример выигрыша от интеграции - если одна система не смогла обнаружить движение, другая может компенсировать это, тем самым снижая риск пропущенных событий.

В следующих разделах описывается структура модели и результаты сравнительного анализа интегрированной системы с автономными реализациями.

Таблица 3. Точность и ограничения широко используемых датчиков.

Тип датчика	Точность (%)	Обнаруживает сквозь стены?	Ложные срабатывания	Область применения
PIR (Passive Infrared)	85-95%	Нет	Да (домашние животные, солнечный свет)	Умные системы освещения и безопасности
Ultrasonic	90-98%	Да (тонкие стены)	Да (шумы)	Системы внутренней безопасности
Microwave/Radar	98-99%	Да	Да (слишком чувствительный)	Системы повышенной безопасности

III. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Имитационная модель, включающая в себя как интеллектуальную систему освещения, так и систему безопасности, была разработана в среде моделирования AnyLogic, которая поддерживает моделирование на основе агентов, дискретных событий и системной динамики. Обе системы могут работать как автономно, так и в режиме интеграции данных.

Прототип умного дома и логики движений человека. Для проведения исследований был использован прототип «умного дома» (рис. 2), состоящего из прихожей, двух коридоров и семи комнат. Система освещения включает в себя лампочки, оснащенные датчиками движения, которые размещены во всех коридорах и комнатах. Система безопасности состоит из 10 датчиков движения, расположенных на входе, в каждом коридоре и во всех помещениях.

Для моделирования передвижений обитателей дома был создан агент Person с использованием пешеходной библиотеки AnyLogic – Pedestrian Library (рис. 3).



Рис. 2 Прототип систем освещения и безопасности умного дома

Во время выполнения моделирования в доме одновременно может присутствовать до трех человек. Эти агенты были запрограммированы на случайное перемещение между комнатами и коридорами, выбирая пункты назначения из заранее определенного списка, используя следующую логику:

PedGoTo -> randomFrom(roomList).

Такой подход, с одной стороны, имитирует движение человека в реальном мире, а с другой – с помощью создаваемых списков позволяет порождать и некоторые исключительные ситуации, необходимые для оценки функциональности подсистем умного дома.



Рис. 3 Моделирование передвижения людей в доме

Умная система освещения. Система умного освещения оснащена девятью датчиками движения, каждый из которых соответствует отдельной комнате или коридору. Эти датчики отслеживают появление людей и соответствующим образом управляют освещением. Внутренняя логика системы управляется диаграммой состояний с тремя состояниями: MotionDetected, LightOn и LightOff, как показано на рисунке 4.

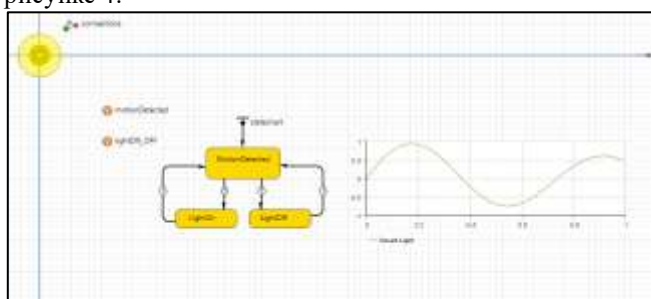


Рис. 4 Диаграмма состояний и временная диаграмма работы интеллектуальной системы освещения

- При обнаружении движения система переходит в режим LightOn, активируя освещение в соответствующей комнате:

```
lightON_OFF = true;
light.setEnabled(true);
```

- Если сенсор не обнаружил движущийся объект, система переходит в режим LightOff, отключая освещение:

```
lightON_OFF = false;
light.setEnabled(false);
```

- После каждого перехода диаграмма состояний обеспечивает возврат системы в состояние MotionDetected для продолжения мониторинга.

В систему была интегрирована временная диаграмма для регистрации и анализа активности датчиков с течением времени.

Система безопасности. Система безопасности включает 10 датчиков движения, каждый из которых установлен на входе и в отведенных для этого местах. Эти датчики запрограммированы на работу только тогда, когда домовладелец отсутствует и активирован режим охраны дома. Для этого в модели используется специальный флажок (рис. 6). Если этот флажок установлен, система интерпретирует, что владелец находится дома, и, таким образом, система безопасности дома не переводится в режим охраны.

Основная логика определена с помощью диаграммы состояний, имеющей четыре состояния: **Idle_State**, **OwnerHome**, **DetectMotion** и **TriggerAlarm** (рис. 5).

- В состоянии **OwnerHome** система проверяет статус присутствия владельца. Если владелец дома, система возвращается в **Idle_State**, в противном случае, система переходит в режим **DetectMotion**.
- В состоянии **DetectMotion**, если обнаружено движение, система охраны переходит в состояние **TriggerAlarm**, который активирует сигнал тревоги:

```
get_House().rectangle.setFillColor(red);
```

- Независимо от обнаружения движения система возвращается в состояние **Idle_State** для непрерывного мониторинга.

Как и в системе освещения, для записи активности датчиков используется временная диаграмма.

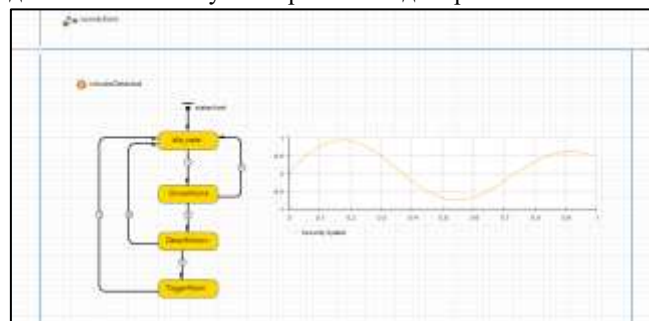


Рис. 5 Диаграмма состояний системы безопасности.

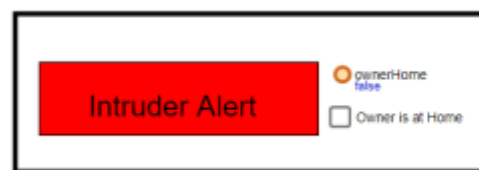


Рис. 6. Активация режима охраны дома

Настройка точности датчика. Как указано в Таблице 3, в интеллектуальных системах освещения и безопасности потребительского уровня чаще всего используются PIR-датчики. Несмотря на широкую популярность из-за своей доступности, совместимости и простоты установки, PIR-датчики чувствительны к изменениям параметров окружающей среды, таких как колебания температуры и препятствия, обеспечивая среднюю точность обнаружения около 85%.

Чтобы воспроизвести это при моделировании, вероятность обнаружения датчиком события определяется посредством следующей логики кода:

```
smartLight7.motionDetected = uniform(0,1) < 0.85;
securitySensor8.intruderDetected = uniform(0,1) < 0.85;
```

Результаты моделирования. На рисунке 7 показан пример реакции модели на отдельные события. Когда человек входит в коридор, интеллектуальная система освещения включает соответствующую лампу. Одновременно система безопасности проверяет статус владельца и при необходимости включает сигнализацию в случае обнаружения несанкционированного проникновения.



Рис. 7. Моделирование прототипа умного дома в AnyLogic.

В ходе моделирования формируются временные диаграммы работы датчиков. Для сенсоров в коридоре они показаны на рисунке 8. Анализ показал, что когда одна система смогла не обнаружить движение, другой это все же удавалось. Это указывает на возможность взаимной компенсации ошибок в отдельных системах. Следовательно, интеграция может повысить точность принятия решений и общую надежность.

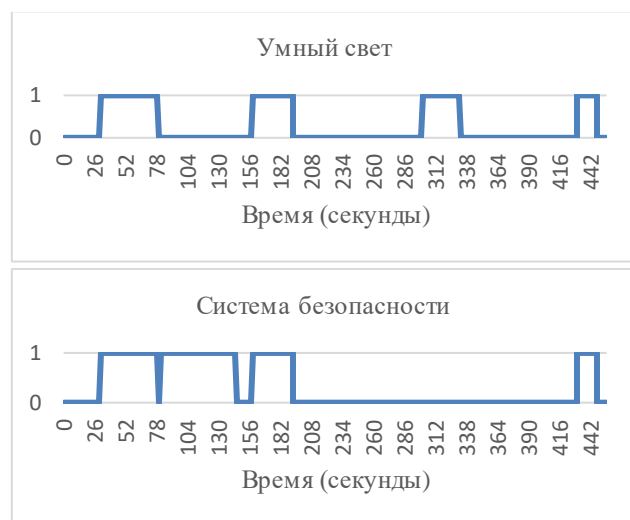


Рис. 8. Данные датчиков умного освещения и систем безопасности в коридоре.

В примере сценария, показанном на рисунке 9, в коридор входили шесть раз:

- Обе системы обнаружили движение - 4 раза;
- Обнаружила только система освещения - 1 раз;
- Обнаружила только система безопасности - 1 раз.



Рис. 9. Частичные результаты моделирования



Рис. 10. Общие результаты моделирования

На рисунке 10 представлены общие результаты моделирования для 98 событий:

- Обе системы обнаружили движение - 80 раз;
- Обнаружила только система освещения - 12 раз;
- Обнаружила только система безопасности - 5 раз;
- Обе системы ошиблись - 1 раз.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что интеграция двух систем может помочь преодолеть ограничения отдельных датчиков и привести к более надежной и точной среде умного дома.

Для численной оценки эффективности интеграции двух автономных систем, введем следующие обозначения:

- A - событие, когда интеллектуальная система освещения обнаружила движение;
- B - событие, когда система безопасности обнаружила движение;
- $P(A)$ - вероятность того, что система освещения обнаружит движение;
- $P(B)$ - вероятность того, что система безопасности обнаружит движение;
- $P(A \cup B)$ - вероятность того, что хотя бы одна из систем обнаружит движение;
- $P(A \cap B)$ - вероятность того, что обе системы обнаружат движение.

Используем результаты моделирования для расчёта этих вероятностей:

$$Accuracy_{Smart\ Lighting} = P(A) = \frac{92}{98} \approx 0.939 \approx 94\%$$

$$Accuracy_{Security} = P(B) = \frac{85}{98} \approx 0.867 \approx 87\%$$

$$P(A \cap B) = \frac{80}{98} \approx 0.816$$

Используя принцип включения-исключения, вероятность того, что хотя бы одна из систем обнаружит движение, равна:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = 0.939 + 0.867 - 0.816 = 0.990$$

поэтому,

$$Accuracy_{Integrated\ system} = P(A \cup B) \approx 99\%$$

Это значение наглядно подтверждает предположение о том, что информационная интеграция автономных подсистем способна повысить эксплуатационные характеристики объединённой системы. Их совместная эффективность обнаружения движения значительно улучшается, преодолевая ограничения точности отдельных подсистем.

Результат подчеркивает потенциал интеграции для повышения надежности системы управления, уменьшения количества ложноотрицательных результатов в реальных средах умного дома.

В следующем разделе мы расширяем этот подход, создавая имитационную модель интегрированной системы и оценивая ее функциональность для дальнейшей проверки теоретических предположений.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Для обеспечения информационной интеграции интеллектуальных систем освещения и безопасности между каждой подсистемой и централизованным блоком управления, называемым интегрирующим менеджером (Integrated Manager), был установлен канал связи. При обнаружении движения каждая подсистема не только выполняет свои функции - включение света или срабатывание сигнализации, но также отправляет уведомление блоку управления с помощью следующего кода:

```
getHouse().statechart.fireEvent(msg).
```

Диаграмма состояний интегрирующего менеджера, показанная на рисунке 11, описывает реакцию объединенной системы на фиксируемые события. Когда менеджер получает сообщение от любой подсистемы, он оценивает статус обнаружения обеих. Если обе подсистемы обнаруживают движение, Integrated Manager не предпринимает дальнейших действий и остается в состоянии ожидания. Однако если только одна подсистема обнаруживает движение, менеджер вмешивается, запуская пропущенную функцию другой подсистемы и обеспечивая её корректную работу.

В Integrated Manager встроена временная диаграмма, позволяющая фиксировать происходящие события и реакцию на них системы управления. Результаты моделирования, представленные на рисунке 12, показывают, что менеджер эффективно компенсирует ошибки одной из подсистем. Когда подсистема интеллектуального освещения не зафиксировала движение, интегрированная система использует данные датчиков подсистемы безопасности для активации освещения.

И наоборот, если подсистема безопасности пропускает критическое событие, она может использовать данные датчика освещения, чтобы инициировать сигнал тревоги, если владелец отсутствует.

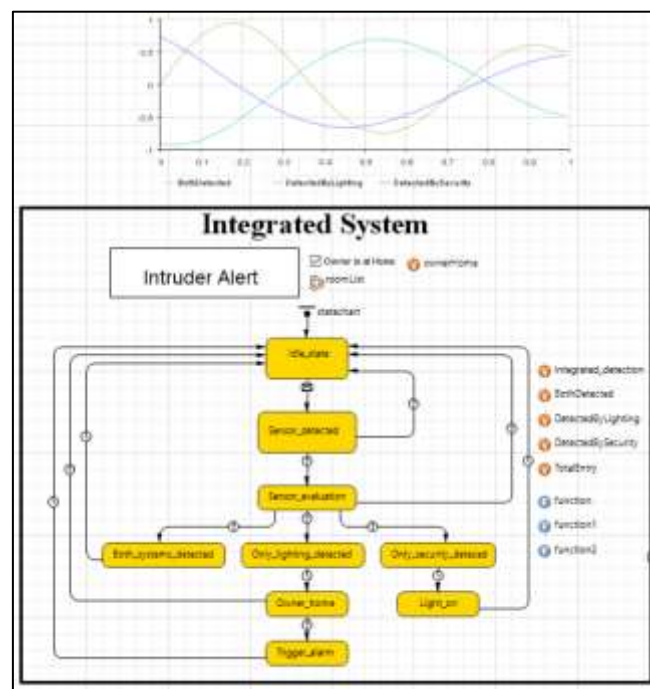


Рис. 11. Архитектура интегрированной системы

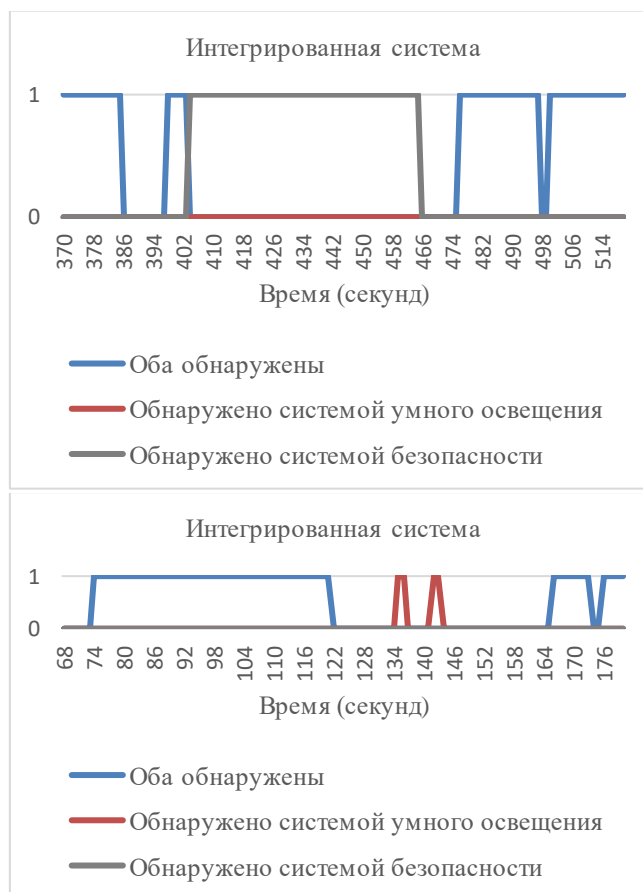


Рис. 12 Компенсация ошибки одной из подсистем

Более того, благодаря интеграции можно реализовать и дополнительные функции. Например:

- когда владелец возвращается домой, система может зафиксировать это событие с помощью

датчиков безопасности и заранее включить освещение в коридоре для повышения комфорта;

- если владельца нет дома, а у входа обнаружено движение, система может активировать освещение коридора, чтобы имитировать присутствие людей, потенциально отпугивая злоумышленников.

Результаты моделирования подтверждают, что интеграция не только повышает базовую точность обнаружения, но и обеспечивает интеллектуальное управление, основанное на использовании общих данных. Из этого следует, что интегрированная система более адаптивна и надежна, чем традиционные автономные решения.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря продолжающемуся развитию технологий Интернета вещей и доступности различных датчиков системы управления умным домом постоянно совершенствуются. Однако многие интеллектуальные системы по-прежнему разворачиваются как автономные единицы, часто из-за устаревшей конструкции, затрат на интеграцию или технической сложности. Эти системы уязвимы к единичным сбоям и допускают ошибочную реакцию в случае сбоя датчика или его отказа.

Хотя концепция интеграции рассматривалась во многих исследованиях, большинство реализаций ориентированы на взаимодействие с пользователем и отображение данных, а не на объединение информации с датчиков разных подсистем для более обоснованного принятия решений.

Чтобы продемонстрировать потенциал информационной интеграции, в рамках данного исследования в среде AnyLogic была разработана модель прототипа умного дома, имеющего интеллектуальные системы освещения и безопасности.

На первом этапе с учётом реальной конфигурации умного дома проведено моделирование подсистем, работающих в автономном режиме. Вероятность обнаружения движения ИК-датчиками устанавливалась на уровне 85%, что соответствует их реальным параметрам. Результаты моделирования показали, что все 98 событий были зафиксированы хотя бы одной из подсистем. Однако, действуя независимо, подсистемы не могут компенсировать свои ошибки и сбои.

Для второго этапа экспериментов был создан прототип интегрированных подсистем. Благодаря централизованному управлению и логике объединения данных интегрированная система успешно компенсировала сбои датчиков, обеспечивая повышение точности фиксации событий. Кроме того, за счет объединения информационных ресурсов в системе появилась новая функциональность, повышающая удобство пользователей.

Проведенные исследования убедительно подтверждают, что интеграция информации отдельных подсистем не только повышает их надежность и устойчивость, но также открывает новые возможности для автоматизации умного дома.

Хотя моделирование и является мощным инструментом исследования систем управления, дальнейшая работа предполагает переход к реальным аппаратным реализациям подсистем умного дома и включение дополнительных подсистем, например, пожарная сигнализация, контроль климата.

Ну и конечно, интеграция предполагает и совершенствование алгоритмов работы отдельных подсистем для создания интеллектуальных, масштабируемых и отказоустойчивых сред умного дома.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] L. Jadhav, Prof. V. Pai, "Smart Home Automation and Security Using Internet of Things", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume 5, Issue 2, 2018, p 617-621.
- [2] Statista, "Smart home - worldwide revenue 2016–2025", <https://www.statista.com/statistics/682204/global-smart-home-market-size/>
- [3] B. Parida, "Sensor Fusion: The Ultimate Guide to Combining Data for Enhanced Perception and Decision-Making", <https://www.wevolver.com/article/sensor-fusion>
- [4] K. Vijayaprabakaran, P. Kodidela, P. Gurram, "IoT Based Smart Intruder Detection System for Smart Homes", International Journal of Scientific Research in Science and Technology, Volume 8, Issue 4, 2021, p 48-53.
- [5] N. Surantha, W. R. Wicaksono, "Design of Smart Home Security System using Object Recognition and PIR Sensor", 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence, 2018.
- [6] P. Chiradeja, S. Yoomak, "Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (IoT) technologies for smart city", Energy Reports Journal, 2023, p 3355–3372.
- [7] M. Füchtenhans, E. H. Grosse & C. H. Glock, "Smart lighting systems: state-of-the-art and potential applications in warehouse order picking", International Journal of Production Research, 2021, p 3817-3839.
- [8] E. M. Diaconu, "Smart Lighting System", Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, 2021, p 6-9.
- [9] B. Mustafa, M. W. Iqbal, "IoT Based Low-Cost Smart Home Automation System", 3rd international congress on human-computer interaction, optimization and robotic applications (HORA), 2021, P 7.
- [10] J. Chandramohan, R. Nagarajan, K. Satheeshkumar, "Intelligent Smart Home Automation and Security System Using Arduino and Wi-fi", International Journal of Engineering and Computer Science, Volume 6, Issue 3, 2017, p 20694-20698.
- [11] P. Wibowo, S. A. Lubis, "Smart Home Security System Design Sensor Based on PIR and Microcontroller", International Journal of Global Sustainability, Volume 1, 2017, p 67-73.
- [12] Lasmadi, F. Kumiawan, Ramdan & H.o Sajati, "Design of Servo Door Lock System and Home Lighting Based on The Internet of Things", Journal of Electrical and System Control Engineering Volume 8, Issue 2, 2025, p 227-237.

Статья получена 26 августа 2025 г.

Хейн Вай Зо, аспирант Национального исследовательского университета «МИЭТ»; (email: mayhtetwaizaww86@gmail.com);

С.А. Лупин, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: lupin@mice.ru).

Integration of intelligent smart home systems to improve their reliability and sustainability

Hein Wai Zaw, S.A. Lupin

Abstract— The rapid development of the Internet of Things technology has transformed smart home systems by leveraging flexible automation and user experience. However, standalone intelligent systems often suffer from point failures and limited sensor accuracy, which reduces their reliability. This paper explores the feasibility of using the integration of intelligent lighting and security subsystems implemented using IoT technology to improve the reliability and accuracy of the system by combining sensor information. The performance of standalone and integrated subsystems of a smart home prototype is evaluated in the AnyLogic simulation environment. The simulation results show that integration can improve the event detection accuracy to 99% compared to 94% and 87% for standalone lighting and security systems, respectively. Integration mitigates failures of individual subsystems, improves decision-making accuracy, and introduces additional features such as automatic lighting to deter intruders. The conducted research confirms the potential of integrated IoT systems to improve the reliability and expand the functionality of smart home systems.

Keywords— Internet of things, smart home, system integration, smart lighting, security system, modeling in AnyLogic.

VI. REFERENCES

- [1] L. Jadhav, Prof. V. Pai, "Smart Home Automation and Security Using Internet of Things", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume 5, Issue 2, 2018, p 617-621.
- [2] Statista, "Smart home - worldwide revenue 2016–2025", <https://www.statista.com/statistics/682204/global-smart-home-market-size/>
- [3] B. Parida, "Sensor Fusion: The Ultimate Guide to Combining Data for Enhanced Perception and Decision-Making", <https://www.wevolver.com/article/sensor-fusion>
- [4] K. Vijayaprakaran, P. Kodidela, P. Gurram, "IoT Based Smart Intruder Detection System for Smart Homes", International Journal of Scientific Research in Science and Technology, Volume 8, Issue 4, 2021, p 48-53.
- [5] N. Surantha, W. R. Wicaksono, "Design of Smart Home Security System using Object Recognition and PIR Sensor", 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence, 2018.
- [6] P. Chiradeja, S. Yoomak, "Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (IoT) technologies for smart city", Energy Reports Journal, 2023, p 3355–3372.
- [7] M. Füchtenhans, E. H. Grosse & C. H. Glock, "Smart lighting systems: state-of-the-art and potential applications in warehouse order picking", International Journal of Production Research, 2021, p 3817-3839.
- [8] E.M. Diaconu, "Smart Lighting System", Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, 2021, p 6-9.
- [9] B. Mustafa, M. W. Iqbal, "IOT Based Low-Cost Smart Home Automation System", 3rd international congress on human-computer interaction, optimization and robotic applications (HORA), 2021, P 7.
- [10] J. Chandramohan, R. Nagarajan, K. Satheeshkumar, "Intelligent Smart Home Automation and Security System Using Arduino and Wi-fi", International Journal of Engineering and Computer Science, Volume 6, Issue 3, 2017, p 20694-20698.
- [11] P. Wibowo, S. A. Lubis, "Smart Home Security System Design Sensor Based on PIR and Microcontroller", International Journal of Global Sustainability, Volume 1, 2017, p 67-73.
- [12] Lasmadi, F. Kurniawan, Ramdan & H.o Sajati, "Design of Servo Door Lock System and Home Lighting Based on The Internet of Things", Journal of Electrical and System Control Engineering, Volume 8, Issue 2, 2025, p 227-237.