

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2020, №4, Том 7 / 2020, No 4, Vol 7 <https://resources.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/11INOR420.pdf>

DOI: 10.15862/11INOR420 (<http://dx.doi.org/10.15862/11INOR420>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Зайнетдинов А.Р., Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Рагулин П.Г. Использование ячеистой топологии в построении беспроводной сети домашней автоматизации // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2020 №4, <https://resources.today/PDF/11INOR420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/11INOR420

**For citation:**

Zainetdinov A.R., Nedyak A.V., Rudzeyt O.U., Ragulin P.G. (2020). Using mesh topology in building a wireless home automation network. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online] 4(7). Available at: <https://resources.today/PDF/11INOR420.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/11INOR420

УДК 004.73

ГРНТИ 49.33.35

**Зайнетдинов Артем Ришатович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Магистрант  
E-mail: Zainet.ar@gmail.com

**Недяк Антон Витальевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Магистрант  
E-mail: nedyaq@gmail.com

**Рудзейт Олег Юрьевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Магистрант  
E-mail: rudzeyt18@mail.ru

**Рагулин Петр Григорьевич<sup>1</sup>**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Научный руководитель  
Кандидат технических наук, профессор  
E-mail: Ragulin\_p@mail.ru

## Использование ячеистой топологии в построении беспроводной сети домашней автоматизации

**Аннотация.** В настоящее время с приходом умных устройств жизнь общества стала более удобной – теперь проще вести домашние дела, отслеживать перемещения товаров, снизились временные затраты на изготовление продукции и др. Развитие умных устройств с появлением новых стандартов беспроводных связей позволило дать толчок к объединению умных гаджетов в единую сеть, которая часто используется в умных домах. При таком подходе появляются некоторые проблемы с безопасностью, такие как несанкционированный доступ к

---

<sup>1</sup> [https://www.dvfu.ru/schools/school\\_of\\_natural\\_sciences/structures/department/cluster-physics-and-mathematics-departments/department-of-computer-systems/employees/ragulin-pg.php](https://www.dvfu.ru/schools/school_of_natural_sciences/structures/department/cluster-physics-and-mathematics-departments/department-of-computer-systems/employees/ragulin-pg.php)

устройствам третьими лицами, вмешательство в работу устройств, отказ в работе маршрутизаторов, ограничение радиуса передачи данных между устройствами, уменьшение пропускной способности устройств с увеличением расстояния между гаджетом и маршрутизатором и др. В данной статье рассказывает о технологии Интернета вещей, а также говорится о том, как ее использовать для домашней автоматизации. Современный взгляд на построение беспроводных сетей домашней автоматизации, позволяющий решить некоторые перечисленные проблемы, предполагает децентрализованный подход, например, использование ячеистой топологии сети (mesh-сеть). В статье описывается принцип работы mesh-сети, а также перечислены преимущества ее использования в домашней автоматизации. При использовании таких технологий mesh-сетей как Z-Wave или Zigbee появляется возможность связывать несколько устройств в “бесшовную” сеть, используя Bluetooth или Wi-Fi. Авторами, были рассмотрены самые популярные технологии, использующие ячеистую топологию сети для домашней автоматизации. Эти технологии увеличивают пропускную способность устройств в несколько раз, а также это позволяет обезопасить устройства от вторжения третьих лиц в систему благодаря присвоению уникальных закрытых ключей каждому устройству сети, который расшифровывает только те пакеты, которые предназначены этому устройству.

**Ключевые слова:** mesh-сеть; ячеистая топология; интернет вещей; умный дом; информационная безопасность; домашняя автоматизация; интеллектуальные устройства; стандарты беспроводной связи; технологии беспроводной сети

## Введение

Термин «Интернет вещей» был придуман предпринимателем Кевином Эштоном, одним из основателей центра Auto-ID в MIT<sup>2</sup>. Эштон входил в команду, обнаружившая, как можно настроить связь между объектами и Интернетом используя метки RFID. Термин «Интернет вещей» был использован им на конференции в 1999 году, и с тех пор этот термин используется постоянно. Эштон, скорее всего, был первым, кто начал использовать этот термин, однако сама концепция подключения устройств (машин) существует давно.

Интернет вещей или IoT (Internet of Things) описывает сеть физических объектов, в которые встроены датчики, программное обеспечение и другие технологии с целью подключения и обмена данными с другими устройствами и системами через Интернет [1]. Другими словами, IoT представляет из-за себя не просто множество различных электронных датчиков и устройств, объединенных в единую сеть, которая имеет доступ к Интернету, а это более тесная интеграция реального и виртуального миров, в котором общение производится между людьми и электронными устройствами.

С помощью высокопроизводительных вычислений, облачных технологий, больших данных, современными системами аналитики и мобильных технологий электронные устройства могут обмениваться данными и собирать их с минимальным вмешательством человека [2]. Устройства, подключенные к Интернету вещей, обмениваются данными через сеть или облачные платформы. Они передают данные и собирают их в реальном времени, т. е. они объединяются в единую цифровую систему и могут записывать, отслеживать и настраивать каждое взаимодействие между подключенными устройствами [3]. Другими словами, физический мир встречается с цифровым миром, и они работают совместно.

---

<sup>2</sup> [https://www.sas.com/ru\\_ru/insights/big-data/internet-of-things.html](https://www.sas.com/ru_ru/insights/big-data/internet-of-things.html) – Интернет вещей (IoT). Что это и почему это важно.

Это включает в себя невероятное количество объектов всех форм и размеров – от интеллектуальных микроволновок, которые автоматически разогревают и наливают кофе в нужный период времени, до носимых устройств для фитнеса, которые измеряют ваш пульс и количество шагов, которые вы сделали в этот день, а затем используйте эту информацию, чтобы предложить планы упражнений, адаптированные для вас.

Устройства и объекты со встроенными датчиками подключены к платформе Интернета вещей, которая объединяет данные с разных устройств и применяет аналитику для обмена наиболее ценной информацией с приложениями, созданными для удовлетворения конкретных потребностей [4]. Эти платформы позволяют точно определять, какие данные полезны, а какие можно проигнорировать. Эти данные могут использоваться для поиска закономерностей, составления рекомендаций и выявления некоторых проблем до их реального появления.

За последние несколько лет Интернет вещей стал одной из важнейших технологий 21 века. Теперь, когда мы можем подключать предметы повседневного использования к Интернету через встроенные устройства, стало возможным беспрепятственное общение между людьми, процессами и вещами.

### Умный дом

Технология «Умный дом» – это общий термин, обозначающий основные домашние удобства, оснащенные компьютерными технологиями, технологиями управления, технологиями отображения изображений и технологиями связи для соединения различных объектов через сеть, что позволяет в определенной степени автоматизировать ваш дом или дистанционно им управлять [5]. Он включает в себя такие вещи, как: бытовая техника, домашние развлекательные системы, системы домашней безопасности, контроль окружающей среды и т. д.

Технология умного дома также включает в себя различные вышедшие на рынок контроллеры, которые регулируют и контролируют устройства, подключенные к системе управления дома. Эти контроллеры создают единую систему, которая объединяет все ваши умные устройства и дает вам один узел для доступа ко всему, и обычно они поставляются с некоторым мобильным программным обеспечением или приложением, так что вы можете делать это из любого места в доме или когда вы находитесь вне дома.

Подключение всей вашей бытовой техники к вашему смартфону является очевидным плюсом – это означает, что вы можете стирать белье, пока вы на работе, или экономить деньги на счетах за электроэнергию, оптимизировав обогрев, чтобы он работал только тогда, когда вы дома. Еще одно преимущество состоит в том, что люди лучше осведомлены о том, куда направляются их ресурсы, и имеют больше информации о том, что они используют. Большинство систем умного дома оснащены технологией регистрации использования, что позволяет легко увидеть использование ваших ресурсов.

Огромным препятствием на пути к Интернету вещей в целом и технологиям умного дома в частности является безопасность. Вообще говоря, необходимо преодолеть две проблемы. Во-первых, каждый раз, когда вы подключаете устройство к сети и подключаете эту сеть к Интернету, вы открываете другой порт, который необходимо защитить. Вторая проблема, заключается в том, что большая часть бытовой техники, представленной на рынке, теперь работает на некоторых вариантах операционной системы Linux, а это означает, что они подвержены тем же проблемам безопасности, что и компьютеры, за исключением того, что большинство устройств не обеспечивают безопасность так, как это делают ПК.

В 2014 году компания HP провела исследование 10 популярных продуктов IoT и обнаружила в среднем 25 неисправностей на каждое устройство. Хотя они не назвали ни одного из устройств, они сказали, что это были: «телевизоры, веб-камеры, домашние термостаты, удаленные розетки, контроллеры, концентраторы для управления несколькими устройствами, дверные замки, домашняя сигнализация, весы и устройства открывания гаражных ворот» [3]. Все эти вещи относятся к технологиям умного дома.

Сейчас превратить свою квартиру в умный дом, очень просто. Датчики можно с легкостью установить на любую поверхность, умные розетки подключаются к обычным розеткам, а выключатели можно установить имея школьные знания физики, которые с легкостью можно найти в сети Интернета. Вам не нужно платить компаниям, которые занимаются установкой умного дома, т. к. вы с легкостью можете справиться сами.

В общем все устройства для домашней автоматизации можно разделить на несколько основных типов [6]:

Контроллер – это устройство, которое управляет умным домом. Он контролирует всю работу сети и всех устройств, подключенные к ней, в его памяти хранятся все сценарии, определяющие работу умного дома, и поддерживает связь умного дома с пультом управления (планшетом, смартфон, ноутбук и т. д.).

Датчики – это приборы, определяющие движения, задымления, температуру и т. д., благодаря которым умный дом непрерывно получает информацию о том, что происходит внутри него.

Исполнители – это группа устройств, выполняющие команды от контроллера, которые формируются на основании собранных данных с датчиков.

Устройства управления – это гаджеты используются для удобного управления умным домом (пульта, ПО, приложения и т. д.).

Стороннее интегрируемое оборудование/веб-сервисы – это камеры видеонаблюдения, оборудование с открытым API или управляемое специальными пультами.

### **Ячеистая топология сети**

Беспроводные сети домашней автоматизации в современном мире предполагают децентрализованный подход, использующий ячеистую топологию сети или mesh-сеть. Ячеистая сеть представляет собой группу устройств, которые действуют как единая сеть Wi-Fi, поэтому вокруг вашего дома есть несколько источников Wi-Fi, а не один маршрутизатор. Эти дополнительные источники Wi-Fi называются точками (узлами). В классическом понимании mesh-сеть – это топология сети, отдельные узлы которой напрямую, в динамическом режиме и в отсутствие какой-либо строгой иерархии подключаются к максимально возможному количеству других узлов с целью эффективной передачи данных [7].

Mesh-сеть позволяет бесшовно передавать данные между отдельными узлами сети на большие расстояния. При этом промежуточные узлы активно участвуют в передаче данных из одной точки в другую, принимая соответствующие решения на базе своих знаний о маршрутах и топологии сети.

Mesh-сети решают многие проблемы традиционного Wi-Fi. В традиционной беспроводной сети маршрутизатор является единственным каналом, передающим беспроводной сигнал между вашим модемом и устройствами по всему дому или зданию. Чем дальше устройство от этого маршрутизатора, тем больше вероятность того, что ваше соединение будет нестабильным или отсутствующим.

В отличие от использования одного маршрутизатора или точки доступа в традиционной системе Wi-Fi, mesh-сеть может предоставить вам несколько точек доступа. Одна точка доступа может быть ближе к модему и действовать как шлюз, а другие точки доступа могут ретранслировать этот сигнал друг другу. Поэтому при выпадении одного узла из сети оставшиеся, если их затронула эта потеря, автоматически устанавливают новые связи с соседними точками доступа.

Типичная домашняя сеть Wi-Fi имеет традиционный маршрутизатор, который подключается к вашему модему, устройству, которое обеспечивает подключение к Интернету в вашем доме. Затем ваш маршрутизатор передает беспроводной сигнал, насколько это возможно. Иногда этого недостаточно, если ваш дом большой, то ваш сигнал может не достигать всех комнат или этажей – или сигнал может быть неравномерным, т. к. есть бетонные стены или другие структурные препятствия, блокирующие сигнал Wi-Fi, т. е. мертвые зоны. Ячеистой сети эти факторы не мешают, потому что она использует ряд узлов, которые действуют как спутники и могут связываться друг с другом. При этом эти узлы могут усилить ваш сигнал и расширить зону вашей сети на большую территорию, достигая этих удаленных или заблокированных пространств в вашем доме и, вероятно, устраняя любые мертвые зоны.

Помимо расширения домашней сети Wi-Fi для охвата большей площади, ячеистые сети имеют и другие преимущества, которые делают их привлекательными для некоторых потребителей, а именно:

- все под вашим контролем;
- автоматические обновления;
- повышенная безопасность устройства;
- простота настройки и использования;
- более сильный сигнал и более быстрая скорость Интернета;
- управление приоритетами сети [8].

### **Популярные технологии беспроводной сети, использующие ячеистую топологию**

Z-Wave – это технология беспроводной сети, использующая радиоволны с малым энергопотреблением, которая обладает своим программным обеспечением, что дает обычным пользователям возможность простого, эффективного и надежного удаленного управления устройств умного дома [9]. Эта технология относится к той же категории, что и Wi-Fi или Bluetooth, но с более уникальными качествами, которые делают Z-Wave идеальным для домашней автоматизации. Z-Wave не предназначен для передачи больших объемов данных, потому что эта технология отправляет только такие данные, как информация или инструкция, от различных устройств, например, от датчиков движения или термостата.

Технология Z-wave построена на основе mesh-сети. Ячеистая сеть состоит из узлов, а устройства, используемые в умном доме, выступают в роле этих узлов. Эти устройства сети выполняют роль ретрансляторов, поэтому имеют возможность перенаправлять через себя сообщения, пока они не достигнут адресата. Такой подход позволяет значительно расширить диапазон действия беспроводной сети, но и повышает ее надежность. Это также позволяет поддерживать до 232 устройств, когда в типичных сетях Wi-Fi практический предел составляет 40 или 50 устройств, после чего возникает перегрузка [10]. Чем больше устройств вы добавляете, тем больше и сильнее сеть.

Данные Wi-Fi отправляются прямо с вашего роутера на такое устройство, как смартфон, а в Z-Wave ячеистая сеть обнаруживает данные, передаваемые через контроллер на одно устройство, а затем на другое, и ни одно устройство никогда не выходит за пределы диапазона. Каждое устройство Z-Wave подключается к розетке (если оно не использует батареи) и действует как ретранслятор, то есть транслирует каждое сообщение, отправляемое по сети, на каждое устройство Z-Wave в этой сети [10]. Сигнал перемещается на небольшое расстояние от одного устройства к другому, где он отражается или перескакивает к следующему устройству, пока не дойдет до адресата.

ZigBee как и Z-Wave, обладает низкими показателями скорости и минимальным энергопотреблением, который полностью оптимизирован для удаленного управления умным домом, а также для мониторинга потребляемых ресурсов. Обе эти технологии используют mesh-сеть и имеют схожие функции, однако в отличие от Z-Wave, которая для передачи сообщения между узлами сети использует схему маршрутизации от источника (контроллера), ZigBee использует маршрутизацию от адресата (конечного устройства).

Каждое устройство Zigbee может отправлять и получать данные с других устройств. Что наиболее важно, каждое устройство Zigbee использует один и тот же стандарт связи с обратной и прямой совместимостью [11]. Устройства Zigbee также могут копировать и пересылать сообщение с одного устройства на другое. Это означает, что вы можете последовательно подключить устройства и связать их с контроллером, даже если некоторые из этих устройств находятся вне диапазона. В реализации mesh-сети в технологии ZigBee участвует три класса устройств: координатор, маршрутизатор и конечные устройства [11].

Координатор – выполняет роль администратора. Он настраивает сеть, к которой подключена технология умного дома. Эту роль обычно выполняет хаб, например, Homey или другие устройства. Он служит центральной точкой вашей сети, где вы можете устанавливать разрешения, разрешать доступ другим устройствам и координировать вашу персональную сеть. Если вы используете контроллер, вы также подключаете свои устройства к Интернету и приложениям.

Маршрутизатор – это все полнофункциональные устройства, которые действуют как маршрутизаторы для повторения сигнала сети, если они не настроены для другой роли. Это настройка по умолчанию для большинства источников света, интеллектуальных розеток и т. д. Маршрутизаторы взаимодействуют со всеми другими устройствами в радиусе действия сети и «повторяют» сетевой сигнал. Пока ваши устройства могут «слышать» друг друга, они безупречно передают сообщение.

Конечное устройство – это устройство с ограниченной функциональностью или устройство с питанием от батареи, которое будет работать как конечное устройство. Это устройство очень простое и не повторяет, и не пересылает сигналы. Важно отметить, что эти устройства не разговаривают друг с другом. Конечные устройства или устройства с ограниченными функциями общаются только с маршрутизаторами и координаторами. Эти устройства в основном находятся в спящем режиме, чтобы экономить заряд батарей. Они могут принимать и отправлять сообщения, но не участвуют в их ретрансляции.

Технологии Zigbee и Z-Wave уже хорошо себя зарекомендовали на рынке беспроводных сетей для умного дома. Каждая из них имеет определенный набор преимуществ и недостатков [12]. Z-Wave потребители критикуют, потому что она имеет закрытую систему, но это также является ее одним из основных преимуществ. Zigbee, напротив, критикуют из-за того, что исходный код этого продукта открыт. Она является открытым продуктом, потому что эта технология ориентирована на бюджетную аудиторию.

## Заключение

Устройства, подключенные к mesh-сети, которые находятся слишком далеко друг от друга, могут связываться между собой через другие промежуточные устройства этой сети, что позволяет увеличить зону действия сети. Также, легко добавлять новые устройства, а старые удалять без какого-либо влияния на надежность сети. Это является главным преимуществом ячеистой топологии сети.

Mesh-сети используют контроллер для координации совместной работы всех устройств, которые находятся в радиусе этой сети. Это никак не влияет на надежность и самовосстановление сети, потому что если контроллер выйдет из строя, то другое устройство может автоматически принимать на себя управление сетью. Именно это свойство ячеистой топологии сети имеет решающее значение для обеспечения постоянной бесперебойно работы всего умного дома.

Привлекательность использования ячеистых сетей в умном доме очевидна – больше информации, больше контроля и больше домашней автоматизации позволяют пользователю принимать более обоснованные решения и оптимизировать использование его ограниченных ресурсов. Это хорошо, как для планеты, так и для денежных ресурсов потребителя.

Технологии домашней автоматизации, использующие в основе mesh-сеть, имеют возможность предоставлять услуги с высокой скоростью передачи данных, масштабируемостью, повышенной безопасностью и возможности самовосстановления по сниженным ценам. Современные технологии умного дома позволяют с малыми затратами автоматизировать свой дом так, как ему хочется. Сейчас это настолько стало доступно, что не надо нанимать специалистов, которые занимаются домашней автоматизации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кранц М. Интернет вещей. Новая технологическая революция // Бомбора, 2018, – 336 с.
2. Грингард С. Интернет вещей. Будущее уже здесь // Альпина Паблишер, 2019, – 188 с.
3. Ли Перри Архитектура интернета вещей // ДМК Пресс, 2020, – 454 с.
4. Зараменских Е.Р., Артемьев И.Е. Интернет вещей. Исследования и область применения // ИНФРА-М, 2018, – 188 с.
5. Тесля Е.В. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире // ISBN (EAN): 9785911809508, 2011, – 194 с.
6. Min Li, Wenbin Gu. Smart Home: Architecture, Technologies and Systems, № 131 // 2018, 393 – 400 с.
7. Гусс С.В. Самоорганизующиеся mesh-сети для частного использования // Математические структуры и моделирование, № 4(40). 2016, 102–115 с.
8. Вишневецкий В., Фролов С. Сверхвысокоскоростные беспроводные mesh-сети: архитектура и базовые принципы // Первая миля, № 1. 2010, 16–21 с.
9. Christopher W. The Z-Wave routing protocol and its security implications // Computers & Security, №68. 2017, 112–129 с.
10. Salah Abdulghani. Overview of Wireless Mesh Networks // Journal of Communications, DOI: 10.12720/jcm.8.9.586-599. 2013.
11. Anthony S. Application of ZigBee-Based Internet of Things Technology to Demand Response in Smart Grids // IFAC-PapersOnLine, №51. 2018, 43–48 с.
12. Jianghua Liu. Smart-Home Architecture Based on Bluetooth mesh Technology // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, DOI: 10.1088/1757-899X/322/7/072004. 2018.

**Zainetdinov Artem Rishatovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: Zainet.ar@gmail.com

**Nedyak Anton Vitalievich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: nedyaq@gmail.com

**Rudzeyt Oleg Urievich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: rudzeyt18@mail.ru

**Ragulin Petr Grigorievich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: Ragulin\_p@mail.ru

## Using mesh topology in building a wireless home automation network

**Abstract.** Currently, with the advent of smart devices, our life has become more convenient – it is now easier to do household chores, track the movement of goods, etc. The development of smart devices with the advent of new wireless communication standards helped to give impulse to the unification of smart gadgets into a network, which is often used in smart homes. With this approach, there are some security problems, such as unauthorized access to devices by third parties, interference with the operation of devices, failure of routers, limiting the radius of data transfer between devices, reducing the bandwidth of devices with increasing distance between the gadget and the router, etc. This article talks about IoT technology and how I use it for home automation. The modern view of building wireless home automation networks, which allows you to solve some of these problems, involves a decentralized approach, for example, the usage of mesh-network. This article describes how mesh networking works, and lists the benefits of using it in home automation. When using mesh networking technologies such as Z-Wave or Zigbee, it is possible to link multiple devices into a "seamless" network using Bluetooth or Wi-Fi. The authors reviewed the most popular technologies that use mesh network topology for home automation. These technologies increase the throughput of devices several times. It also allows you to protect devices from third-party intrusion into the system by assigning unique private keys to each device of the network, which decrypts only those packets that are intended for this device.

**Keywords:** mesh network; mesh topology; internet of things; smart home; information security; home automation; smart devices; wireless standards; wireless technologies