В наше время большинство крупных городов начинают изучать возможность применение модели «умного города». Различные передовые технологии используются для повышения качества жизни своих жителей и для повышения эффективности использования городской инфраструктуры. Эти технологии находят свое применение в медицине, транспорте, образовании, энергетике и во многих других областях. Примерами таких технологий являются:

* Wireless Sensor Networks (WSNS) – используются для отслеживания состояния и инфраструктуры умного города в режиме реального времени [1].
* Internet of Things (IoT) – облегчает интеграцию физических объектов в городскую сеть [2].
* Cyber-Physical Systems (CPS) – используется для обеспечения связи между физическим и кибермиром в умных городах [3].
* Робототехника, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – используется для обеспечения автоматизации и предоставления полезных услуг [4].
* Туманные вычисления – используются для обеспечения поддержки с низкой задержкой определения местоположения, лучшей поддержки мобильности, а также потоковой передачи и поддержки в режиме реального времени для приложения «умного города» [5].
* Облачные вычисления – обеспечивает эффективную платформу для хранения и вычисления данных для поддержки приложения «умного города»[6]
* Анализ больших данных – используется для принятия оптимизированных и интеллектуальных краткосрочных или долгосрочных решений, на основе полученных данных для улучшений действий «умного города»[7]

Данные технологии дают много преимуществ и дополнительных услуг для «умного города»

В различных передовых технологиях, обсуждаемых здесь, но также нуждаются в надежных и надежных сетевых и коммуникационных инфраструктурах для обеспечения эффективного обмена сообщениями между различными компонентами систем, предоставляющими ту или иную услугу. Сервисы «умного города» разрабатываются в разных масштабах, что требует различных сетевых и коммуникационных технологий для их внедрения и функционирования. Кроме того, для служб «умного города» можно использовать различные сетевые и коммуникационные модели и подходы. В этой статье будет рассмотрена проблема протоколов туманных вычислений в системах «умного города». Также будут рассмотрены протоколы для различных приложений «умного города»

Интернет затронул почти все уголки мира. И оказывает огромное влияние на человеческую жизнь. Сейчас мы вступаем в эру крупномасштабного распространения интернета. Развитие Internet of Things (IoT) дало толчок для развития и распространения различных типов устройств в компьютерных сетях по всему миру. Информация, поступающая с данных устройств обычно обрабатывается центрами обработки данных с использованием облачных технологий. В последнее время наиболее получила развитие концепция туманных вычислений. Туманные вычисления – это горизонтальная архитектура системного уровня, которая распределяет ресурсы и службы (такие как вычисления, хранение данных, управление и организация сети) между облачной вычислительной средой (ОВС) и конечным устройством/узлом. Использование данной архитектуры ориентированно на задачи, требования к которым являются:

* Высокая пропускная способность
* Ограниченные ресурсы
* Высокие меры безопасности
* Сверхнизкая задержка прохождения сигнала

Архитектура туманных вычислений находит широкое применение в различных отраслях и рынках (среди них транспорт, сельское хозяйство и смарт-города)

Рассмотрим различные типы связей между узлами в туманных вычислениях. Можно выделить три типа связей:

* Node-to-Cloud
* Node-to-Node
* Node-to-Device

Соединение Node-to-Cloud сохраняет протоколы интернет-коммуникаций и API-интерфейсы, которые используются облачными серверами для взаимодействия с внешними устройствами (включая устройства IoT, персональные мобильные устройства, терминалы, автономные компьютеры и серверы) [8]. Почти все эти коммуникации в настоящее время осуществляются с помощью наборов протоколов, представленных в табл. 1.

Таблица №1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Приложения | Протоколы | |
| Передачи данных | Безопасность |
| Для предприятия | SOAP over HTTP | WSS |
| Мобильные и пользовательские | RESTful HTTP/COAP | TLS/DTLS |

Соединение Node-to-Node. Распределенная туманная вычислительная платформа (ТВП) может состоять из иерархии туманных узлов, охватывающих несколько интернет-подсетей или административных доменов. Эти узлы ТВП должны взаимодействовать друг с другом, используя шаблон издатель-подписчик (на основе событий) и клиент-серверных сообщений, что позволит обеспечить прямое и своевременное взаимодействие. Для реализации этих парадигм обычно используются стеки протоколов, представленные в табл. 2.

Таблица №2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Приложения | Протоколы | |
| Передачи данных | Безопасность |
| Клиент-сервер | SOAP, RESTful HTTP/COAP | WSS, TLS/DTLS |
| Издатель- подписчик | MQTT, AMQP, RTPS | TLS/DTLS |

Соединение Nod-to-Device – это связь описывает соединение между узлом и конечными устройствами. Устройства могут быть связаны узлом с помощью коммуникационных протоколов. С использованием стека протоколов (TCP/UDP/IP) были предприняты усилия по конвергенции протоколов между беспроводными сетями, проводными сетями и промышленной автоматизацией. Таким устройствам доступно только ограниченное множество криптографических функций (симметричные шифры, которые используют установленные вручную ключи). Эти устройства должны быть установлены в физически защищенных средах и подключены через аппаратные соединения к одному или нескольким узлам тумана, которые могут обеспечить большинство служб безопасности. В табл. 3 представлены протоколы взаимодействия для связи Node-to-Device.

Таблица №3

|  |  |
| --- | --- |
| Уровень | Протоколы |
| PHY & MAC Layer | WLAN: 802.11, WPAN: 802.15, PLC: PRIME, Automation: CIP |
| Wireless Protocol Stacks | Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee |
| Adaptation Layer | WLAN/WPAN: 6LowPAN, PLC: PRIME IPv6 SSCS, Automation: Ethernet/IP |
| Transport/Network Layers | UDP over IPv6, TCP over IPv6, IPv6 Stack |
| Application Layer (Publish-Subscribe Messaging) | CoAP, MQTT, AMQP, RTPS |
| Routing | RPL, PCEP, LISP (Cisco) |
| Security | 802.1AR – Secure Device Identity 802.1AE – Media Access Control (MAC) Security 802.1X – Port-Based (Authenticated) Media Access Control IPsec AH & ESP, Tunnel/Transport Modes (D)TLS – (Datagram) Transport Layer Security |

Рассмотрим протоколы в табл. 4, которые использует каждое приложения «умного города»

Таблица №4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приложения «Умный город» | Соответствующая сеть | Ширина полосы | Допуск задержки | Энергопотребление | Мобильность | Безопасность |
| Умные здания | IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1 | L, M, H | L | L, M | M | H |
| Интеллектуальная сеть | IEEE 802.16, сотовая связь | L, M | L, H | M, H | L | H |
| Интеллектуальные сети водоснабжения | Стандарты IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16 | L, M | L, H | L | L | H |
| Мониторинг и управление газо- и нефтепроводами | IEEE 802.16, сотовая связь | L, M, H | L, H | L | L | H |
| Интеллектуальный транспорт | IEEE 802.16, IEEE 802.11, IEEE 802.15.4, сотовая связь | L, M | L, H | L, M | H | H |
| Производственный контроль и мониторинг | Стандарты IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11 | L, M | L, H | L, M | M | M |
| Беспилотный летательный аппарат | IEEE 802.11, IEEE 802.16, спутниковый | L, M, H | L, H | L | H | M, H |

"Умные здания" и "умные сети водоснабжения", могут использовать протоколы из класса персональных вычислительных сетей (PAN), такие как IEEE 802.15.4 (Zigbee) и 801.15.1 (Bluetooth). Эти протоколы обычно характеризуются меньшей пропускной способностью, низким энергопотреблением и малым радиусом действия. Приложения, требующие больших диапазонов, такие как интеллектуальная транспортировка, а также протоколы производства и управления, которые относятся к классу локальных вычислительных сетей (LAN), такие как IEEE 802.11 (WiFi). Приложения, требующие широкополосной связи, такие как беспилотные летательные аппараты и интеллектуальная сеть, могут использовать протоколы, относящиеся к классу глобальных сетей (WAN), такие как IEEE 802.16 (WiMAX), сотовые и спутниковые. Все эти протоколы предусматривают поддержку асинхронных и синхронных подключений к данным. Первый может использоваться с приложениями "умного города" с максимальным трафиком, которые могут допускать задержки, в то время как второй может использоваться с приложениями, которые генерируют трафик, требующий более строгих требований к качеству обслуживания (QoS), таких как большая пропускная способность и ограниченная задержка. Такие приложения предполагают взаимодействие в режиме реального времени и мультимедиа. Кроме того, эти протоколы имеют службы надежности и безопасности. Однако большинство функций безопасности требуют дополнительной обработки и могут привести к дополнительным задержкам и потреблению энергии. Следовательно, эти соображения следует учитывать, прежде чем включать такие функции.

**Ссылки**

1. Watteyne T, Pister KSJ (2011) Smarter cities through standards-based wireless sensor networks. IBM J Res Dev 55(1.2):1–7. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5697280
2. Zanella A, Bui N, Castellani A, Vangelista L, Zorzi M (2014) Internet of things for smart cities. IEEE Internet Things J 1(1):22–32. https://ieeexplore.ieee.org/document/6740844
3. Gurgen L, Gunalp O, Benazzouz Y, Gallissot M (2013) Self-aware cyber-physical systems and applications in smart buildings and cities In: Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, pages 1149–1154. EDA Consortium. https://ieeexplore.ieee.org/document/6513686
4. Ermacora G, Rosa S, Bona B (2015) Sliding autonomy in cloud robotics services for smart city applications In: Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts, 155–156.. ACM. https://www.researchgate.net/publication/275027745\_Sliding\_Autonomy\_in\_Cloud\_Robotics\_Services\_for\_Smart\_City\_Applications
5. Giordano A, Spezzano G, Vinci A (2016) Smart agents and fog computing for smart city applications In: International Conference on Smart Cities, 137–146. https://www.researchgate.net/publication/303706864\_Smart\_Agents\_and\_Fog\_Computing\_for\_Smart\_City\_Applications
6. Clohessy T, Acton T, Morgan L (2014) Smart city as a service (scaas): a future roadmap for e-government smart city cloud computing initiatives In: Proceedings of the 2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing, 836–841. https://www.researchgate.net/publication/282238107\_Smart\_City\_as\_a\_Service\_SCaaS\_A\_Future\_Roadmap\_for\_E-Government\_Smart\_City\_Cloud\_Computing\_Initiatives
7. Al-Nuaimi E, Al-Neyadi H, Mohamed N, Al-Jaroodi J (2015) Applications of big data to smart cities. <https://www.researchgate.net/publication/284196317_Applications_of_big_data_to_smart_cities>
8. Д. А. Еременко, А. В. Шоров Анализ сетевой безопасности эталонной архитектуры туманных вычислений https://izv.etu.ru/assets/files/sh-tbtvtp-2017\_10\_p13-18.pdf