



**Fundusze
Europejskie**
Wiedza Edukacja Rozwój

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Akademia Techniczno-Informatyczna w Naukach Stosowanych we Wrocławiu

Skrypt do zajęć Internet rzeczy

Paweł Dobrowolski

Wrocław 2024

Skrypt przygotowany w ramach projektu „Kształcenie przyszłości: internet rzeczy w zrównoważonej automatyce i robotyce” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027, Priorytet 1 Umiejętności, Działanie 01.05 Umiejętności w szkolnictwie wyższym, Typ projektu Dostosowanie oferty podmiotów systemu szkolnictwa wyższego do potrzeb rozwoju gospodarki oraz zielonej i cyfrowej transformacji.



Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Internet of things (IoT)	4
2.1. Architektura.....	9
2.2. Nawiązywanie połączenia i kontrolowanie urządzeń IoT	12
3. Smart City.....	21
4. Zastosowanie IoT	24
4.1. Smart parking - inteligentny parking	24
4.2. Smart bin – inteligentny system koszy na śmieci.....	26
4.3. Smart home – inteligentne budynki	28
5. Wykaz literatury	31



1. Wstęp

Internet rzeczy to koncepcja, w której każde urządzenie zakwalifikowane jako urządzenie IoT przesyła dane do globalnej chmury. Informacje te mogą mieć status publiczny lub prywatny. Dzięki mnogości danych oraz ich analizie można wyznaczać trendy (np. w ruchu ulicznym) i na tej podstawie sterować sygnalizacją świetlną. Zastosowanie rozwiązań technologicznych określanych mianem internetu rzeczy w tzw. inteligentnych miastach (Smart City) rozwiązuje określone i sprecyzowane problemy oraz ułatwia ich mieszkańcom funkcjonowanie.

Dzięki rozwojowi technologii urządzenia internetu rzeczy są bardzo popularne. Ich aplikacje ułatwia zasilanie bateryjne oraz komunikacja bezprzewodowa, dzięki czemu instalacja nie wymaga specjalistycznego sprzętu czy pozwoleń. Urządzenia te mogą być również mobilne lub zostać zamontowane w pojazdach, o ile bezprzewodowa transmisja danych będzie możliwa na obszarze ich stosowania.



Każde urządzenie zaliczane do grupy IoT składa się z trzech modułów:

- moduł komunikacyjny:

Odpowiada on za przesyłanie danych do innych urządzeń za pomocą komunikacji przewodowej lub bezprzewodowej. Ze względu na mnogość bezprzewodowych protokołów komunikacyjnych oraz braku konieczności doprowadzania linii zasilającej są one najczęściej wybierane. Dobór protokołu zależy od warunków pracy, odległości transmisji danych oraz ich ilości.

- moduł zasilania:

Jest to jeden z najważniejszych modułów zapewniający stabilną i długotrwałą pracę urządzeń elektronicznych. Z uwagi na sposób zasilania (baterijny lub akumulatorowy) musi mieć on jak najwyższą sprawność oraz cechować się niskimi stratami podczas pracy bez obciążenia. Urządzenia z grupy IoT zasilane są bardzo niskim napięciem. Układy mikrokontrolera z wbudowanym Bluetooth Low Energy (Nordic Semiconductor rodziny nRF51x, nRF52x) pracują poprawnie już od 1,8V.

- moduł pomiarowy:

To moduł, którego zadaniem jest gromadzenie danych. Zależnie od zastosowania mogą być to czujniki położenia, detekcji pola magnetycznego, układy otwarte / zamknięte, czujniki temperatury, wilgotności, prędkości wiatru, a także każdy inny czujnik określający dowolną wielkość lub stan fizyczny. Moduły pomiarowe, podobnie jak pozostałe moduły urządzeń IoT, charakteryzują się niskim poborem energii i możliwie jak najniższym napięciem zasilania.

Popularność rozwiązań IoT stale wzrasta. Szacuje się, że w 2025 roku będzie około 22 miliardów urządzeń. Taka mnogość urządzeń oraz danych przekazywanych do chmur pozwala na zdalne zarządzanie procesami oraz ich monitorowanie. Mnogość i różnorodność danych pozwala na rozwój sztucznej inteligencji (AI) oraz nowych algorytmów predykcyjnych. Dzięki uczeniu maszynowemu oraz analityce danych przedsiębiorstwa mogą w bardzo szybki sposób uzyskać interesujące je dane.



Rysunek 2 Stacja pogodowa IoT z LoRa²

Urządzenia IoT ze względu na szereg korzyści są wykorzystywane w różnych sektorach gospodarki. Dzięki nim możliwa jest:

Optymalizacja produkcji

Dzięki zbieraniu danych dotyczących wydajności działania maszyn można usprawniać produktywność i zwiększać niezawodność procesów przemysłowych. Na podstawie zebranych danych oraz korzystając z prognozowania (algorytmy predykcyjne) można zamówić oraz zaplanować wymianę komponentów maszyny, które z dużym prawdopodobieństwem w niedługim czasie ulegną uszkodzeniu.

Ochrona zdrowia

Dzięki rozwiązaniom IoT pacjenci mogą mieć zawsze i wszędzie dostęp do usług związanych z ochroną zdrowia. Lekarz ma możliwość zdalnego monitorowania stanu zdrowia pacjenta i na tej podstawie opracować lub korygować plan leczenia. Obecnie wiele osób korzysta z funkcjonalności oferowanych przez smartwatche tj. pomiar tętna, ciśnienia i natlenienia, aby

² Źródło: https://botland.com.pl/sensecap-moduly-lorawan/22419-sensecap-s2120-8w1-stacja-pogodowa-lorawan-seedstudio-101990961.html?cd=18298825651&ad=&kd=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0Oq2BhCCARIsAA5hubVXG6eOiJpbkpFB4zHukVWxpEpPRAksMCS3Nklc1SEkpMTS94V4Tv4aAgk7EALw_wcB , dostęp 06.09.2024 r.



bardziej dbać o swoje zdrowie, a w przypadku pojawienia się stanów anormalnych zebrane dane można bezpośrednio przekazywać lekarzowi.

Monitorowanie stanów magazynowych

Urządzenia IoT pomagają w utrzymaniu stanów magazynowych oraz w optymalizacji kosztów związanych z działaniem magazynu. Dzięki stałemu monitorowaniu stanów magazynowych możliwe jest zamówienie i dostawa towaru z odpowiednim wyprzedzeniem tak, aby towaru nie zabrakło dla realizacji bieżących zamówień. Dzięki czujnikom IoT można automatyzować praktycznie wszystkie działania związane z magazynem, np. uzupełnianie stanów, pakowanie, wysyłanie, itp.

Dom połączony z internetem

Urządzenia IoT m.in. termostaty, kamery, sterowniki oświetlenia i rolet pozwalają na usprawnianie codziennych zadań domownikom oraz mieszkańcom nieruchomości i miast. Dzięki urządzeniom IoT można optymalizować koszty związane z utrzymaniem mieszkania, domu czy też całego bloku. Zastosowanie liczników energii i optymalizacja jej zużycia np. poprzez zmniejszenie temperatury w wybranych godzinach pozwoli na obniżenie rachunków oraz będzie miało również pozytywny wpływ na środowisko. Ponadto nieruchomość można wyposażyć w urządzenia umożliwiające monitoring z każdego miejsca na świecie i w dowolnej chwili.

Rolnictwo

Jest to bardzo ważny obszar dla człowieka. Czujniki IoT mierzące wilgotność, warunki pogodowe i temperaturę pomagają w osiągnięciu lepszych plonów z upraw. Dzięki połączeniu danych dotyczących wilgotności i prognozy pogody można ustalić, kiedy należy podlać uprawy lub w jakim okresie nie należy stosować oprysków ze względu na wysokie prawdopodobieństwo opadów.

Efektywność energetyczna

Za pomocą urządzeń IoT można efektywnie zarządzać zasobami energetycznymi pochodzącymi z odnawialnych źródeł energii (OZE). Dzięki monitorowaniu w czasie



rzeczywistym pracy farm wiatrowych czy farm fotowoltaicznych można z wyprzedzeniem wykryć potencjalne nieprawidłowości oraz zaplanować konserwację bądź naprawę.

Transformacja komunikacji

IoT wspiera znaczną transformację komunikacji publicznej na rzecz pojazdów autonomicznych. Najlepszym przykładem są tutaj samochody firmy Tesla wyposażone w wiele rozwiązań z grupy IoT – w pełni samodzielnie poruszające się pojazdy, w których w czasie rzeczywistym są zbierane dane pochodzące z dziesiątek tysięcy punktów pomiarowych. [9]

Zwiększony poziom bezpieczeństwa

Urządzenia IoT pomagają w zapewnieniu większego poziomu bezpieczeństwa w domach, biurach i fabrykach. Jest to możliwe dzięki nieustannemu monitorowaniu maszyn oraz obiektów, domów czy mieszkań. W przypadku wykrycia incydentu związanego z naruszeniem bezpieczeństwa powiadamiane są odpowiednie służby (ochrona zakładu, firma ochroniarska, itp.).

Dostęp do platform IoT nie jest ograniczony wyłącznie dla przedsiębiorców. Na rynku istnieje wiele rozwiązań dostępnych dla użytkowników prywatnych. Przykładem takiego rozwiązania jest chmura Blynk, która po połączeniu z Arduino umożliwia sterowanie procesem i odczyt danych oraz ich wizualizację w aplikacji webowej oraz mobilnej. Innym bezpłatnym narzędziem jest chmura ThingSpeak udostępniona przez firmę Mathworks. Pozwala ona na przesyłanie i zapis do 8 strumieni danych. Dane te można wyeksportować do pliku CSV lub do oprogramowania Matlab, w którym przy wykorzystaniu odpowiednich pakietów np. Neural Networks można dokonać predykcji z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.



Rysunek 3 Chmura ThingSpeak³

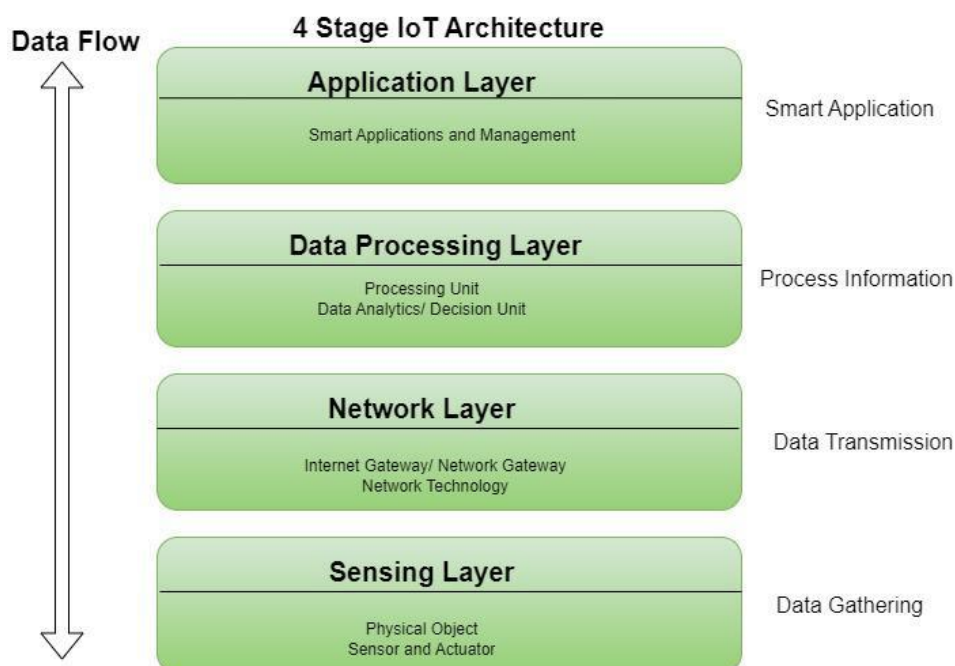
³ Źródło: <https://thingspeak.com/>, dostęp 06.09.2024 r.



2.1. Architektura

Technologia Internetu rzeczy ma szeroki zakres zastosowań, a jego wykorzystanie charakteryzuje się wysokim trendem wzrostowym. Internet rzeczy to połączenie urządzeń elektronicznych tak, aby mogły przysyłać oraz odbierać różnego typu informacje. W architekturze IoT wyróżniamy cztery warstwy:

- warstwę czujników,
- warstwę sieciową,
- warstwę przetwarzania danych,
- warstwę aplikacji.



Rysunek 4 Architektura IoT

Warstwa czujników

Warstwa czujników jest pierwszą warstwą architektury Internetu rzeczy i odpowiada za zbieranie danych z różnych źródeł. Ta warstwa obejmuje czujniki, które są umieszczane w celu zbierania informacji o temperaturze, wilgotności, świetle, dźwięku i innych wielkościach bądź stanach fizycznych. Przewodowe lub bezprzewodowe protokoły komunikacyjne (Wi-Fi, BLE, LoRa, Zigbee, Z-Wave) łączą te urządzenia z wyższą warstwą sieciową.



Warstwa sieciowa

Warstwa sieciowa odpowiada za zapewnienie komunikacji i łączności pomiędzy urządzeniami. Obejmuje protokoły i technologie, które umożliwiają urządzeniom łączenie się i komunikowanie ze sobą oraz z internetem (np. chmurą). Technologie sieciowe powszechnie stosowane w IoT to WiFi, Bluetooth, Zigbee, GSM (4G i 5G) oraz LoRa. Warstwa sieciowa może również obejmować bramki (gateway) i routery, które działają jako pośrednicy pomiędzy urządzeniami a internetem. Mogą również zapewniać bezpieczeństwo przesyłanych danych za pomocą algorytmów szyfrowania i uwierzytelniania, aby uniemożliwić dostęp nieautoryzowanym użytkownikom.

Warstwa przetwarzania danych

Warstwa przetwarzania danych to oprogramowanie i sprzęt, które są odpowiedzialne za zbieranie, analizowanie i interpretowanie danych z urządzeń IoT. Odpowiada za odbieranie surowych danych z urządzeń, przetwarzanie ich oraz udostępnianie do dalszej analizy. Warstwa przetwarzania danych obejmuje różnorodne technologie i narzędzia, takie jak systemy zarządzania danymi, platformy analityczne czy algorytmy uczenia maszynowego np. w celu określenia trendów jakiegoś zjawiska. Narzędzia te wspomagają również w podejmowaniu decyzji na szczeblu administracyjnym. Przykładem technologii wykorzystywanej w warstwie przetwarzania danych jest *Data Lake*. Jest to miejsce do przechowywania ustrukturyzowanych lub nieustrukturyzowanych danych pochodzących z urządzeń IoT.

Warstwa aplikacji

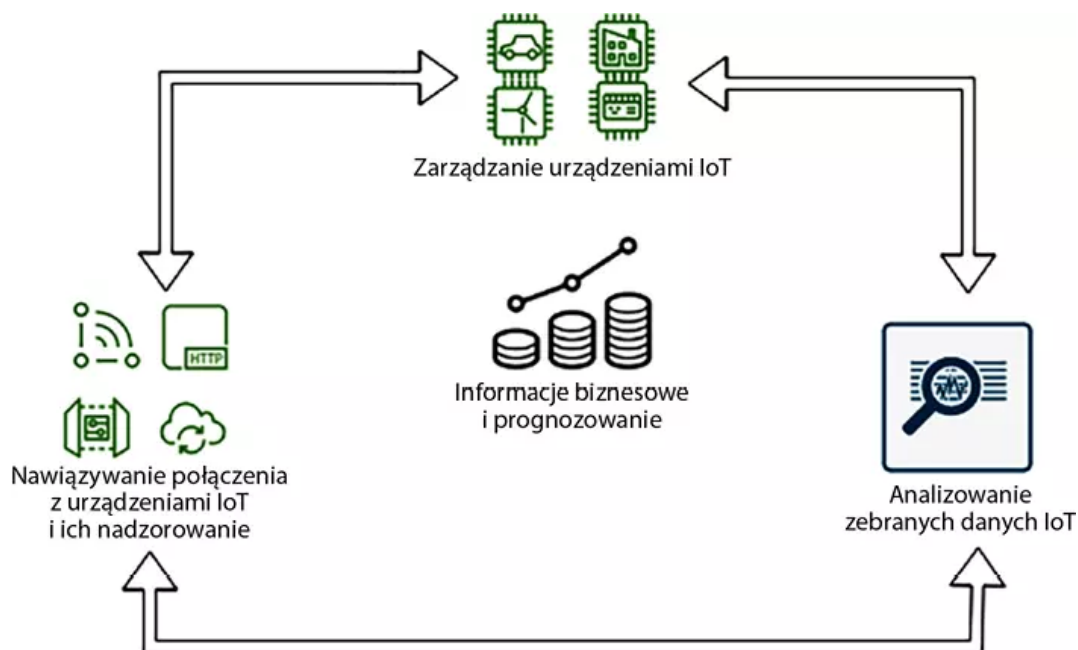
Jest to najwyższa warstwa, która bezpośrednio współdziała z użytkownikiem końcowym. Jest odpowiedzialna za dostarczanie przyjaznych dla użytkownika interfejsów i funkcjonalności, które umożliwiają użytkownikom dostęp do urządzeń IoT i sterowanie nimi. Obejmuje ona różne oprogramowania i aplikacje, takie jak aplikacje mobilne (Blynk, Gotify), portale internetowe (ThingSpeak) oraz inne interfejsy użytkownika, które są zaprojektowane do interakcji z podstawową infrastrukturą IoT. Obejmuje również usługi, które umożliwiają różnym urządzeniom i systemom IoT bezproblemową komunikację pomiędzy nimi oraz wzajemne udostępnianie danych. Warstwa aplikacji obejmuje również analizę i przetwarzanie



danych oraz analizę trendów zaobserwowanych zjawisk. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu algorytmów uczenia maszynowego (ML) oraz narzędzi do wizualizacji danych.

Mając do dyspozycji wiele urządzeń IoT wymagana jest architektura, która będzie zdolna na pobierania wszystkich przesyłanych danych w czasie rzeczywistym oraz ich udostępniania określonym użytkownikom. Wyróżnia się trzy główne elementy [9]:

- zarządzanie oprogramowaniem urządzeń IoT,
- nawiązywanie połączenia z urządzeniami IoT i ich nadzorowanie,
- analizowanie zebranych danych IoT.



Rysunek 5 Cykl pracy urządzeń w systemie IoT [9]

Zarządzanie oprogramowaniem urządzeń IoT

W celu zbudowania rozwiązania IoT konieczne jest wdrożenie dużej liczby urządzeń liczonych co najmniej w tysiącach w ramach fabryki, zakładu pracy czy też miasta (lub lokalnej społeczności). Urządzenia te powinny mieć możliwość pomiaru i zbierania odpowiednich danych.



Nawiązywanie połączenia z urządzeniami IoT i ich nadzorowanie

Zarządzanie tak dużą liczbą urządzeń i ich zabezpieczanie to żmudny i długotrwały proces. Na każdym z urządzeń powinno być zainstalowane najnowsze oprogramowanie. Może również zachodzić potrzeba współdziałania z różnymi wersjami oprogramowania czy systemów. W celu łatwiejszego zarządzania urządzeniami konieczne jest ich grupowanie (w obrębie tego samego systemu lub dostawcy) oraz zadbanie o bezpieczeństwo połączenia (transmisji) np. poprzez szyfrowanie kluczem AES 128-bit [9].

Analizowanie zebranych danych IoT

Gdy urządzenia są wdrożone i połączone konieczne będzie zbieranie ogromnej ilości danych, których analiza różnego typu algorytmami pozwoli na uzyskanie pewnej wiedzy lub wartości biznesowej [9].

2.2.Nawiązywanie połączenia i kontrolowanie urządzeń IoT

Z uwagi na fakt mnogości urządzeń w systemach IoT należy zmierzyć się nie tylko z problemem ilości danych, ale również uwzględnić istotne czynniki mające wpływ na działanie systemu, które opisano poniżej.

Identyfikacja usługi

Konieczne jest zidentyfikowanie usług przeznaczonych do zarządzania autoryzacją urządzeń i przygotowaniem unikatowych identyfikatorów na dużą skalę. IoT Core pozwala na użycie własnego urzędu certyfikacji (ang. certificate authority, CA) i certyfikatów klienta bądź też pozostawienie platformie IoT zadania wygenerowania certyfikatów. Platforma IoT musi obsługiwać SigV4, X.509 i autoryzację niestandardową, a jednocześnie zapewniać szczegółową kontrolę dostępu za pomocą polityki IoT aż do poziomu tematu MQTT [9].

Brama usługi

Pozwala na bezpieczne połączenie urządzeń z centrum danych bądź z chmurą. W trakcie pierwszego połączenia brama powinna automatycznie zaadresować ogromne ilości urządzeń dostępnych w sieci z użyciem unikatowych identyfikatorów, a także mieć możliwość

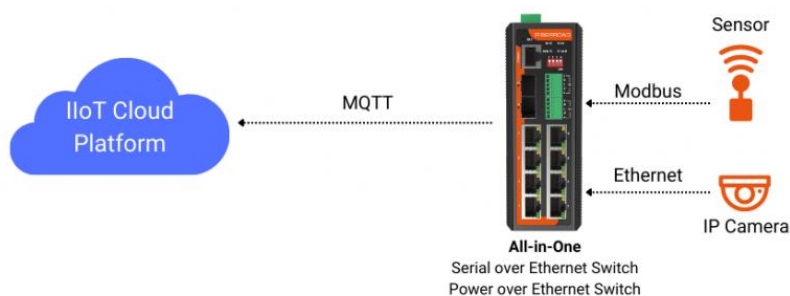


automatycznej rejestracji urządzenia w systemie na żądanie. Brama danych zapewnia bezpieczne połączenie urządzeń z chmurą, centrum danych i innymi urządzeniami na dużą skalę. W celu zapewnienia niezawodności połączenia brama powinna nawiązywać trwałe połączenia przeznaczone do komunikacji dwukierunkowej za pomocą MQTT, WebSocket lub HTTP oraz bezpiecznej komunikacji z użyciem wzajemnego uwierzytelnienia TLS 1.2. [9]

Broker komunikatów

Przetwarza i kieruje komunikaty danych do centrum danych bądź chmury. Musi mieć możliwość przekierowania danych z urządzeń IoT, używając do tego niezawodnego o niskim opóźnieniu routingu komunikatów. Ponadto broker zapewnia obsługę trybu producent-konsument dla urządzeń oraz aplikacji, a także ułatwia dwukierunkowe strumieniowanie komunikatów. Broker pomaga również w zrozumieniu i kontrolowaniu stanu urządzenia w dowolnej chwili, zachowuje komunikaty dla urządzeń w trybie offline oraz rozszerza obsługę komunikatów QoS (ang. quality of service) dla MQTT:

- **Poziom 0 QoS** definiuje maksymalnie jednorazowe dostarczenie komunikatu. Ten poziom jest nazywany jako uruchom i zapomnij gdyż nie ma gwarancji dostarczenia komunikatu. Odbiorca nie potwierdza otrzymania komunikatu.
- **Poziom 1 QoS** określa co najmniej jednokrotne dostarczenie komunikatu, przy czym komunikat może być również powielony i dostarczony więcej niż tylko raz.
- **Poziom 2 QoS** jest najwyższym poziomem w MQTT. Gwarantuje, że każdy komunikat będzie otrzymany tylko jednokrotnie. To jednocześnie najwolniejsza metoda i wymaga czteroetapowej wymiany informacji pomiędzy nadawcą i odbiorcą [9].



Rysunek 6 MQTT jako część IoT⁴

⁴ Źródło: <https://fiberroad.com/pl/why-is-mqtt-an-important-part-of-iot/>, dostęp 07.09.2024 r.



Silnik reguł

Powoduje wykonywanie działań w urządzeniach zgodnie z określonymi wymaganiami. Silnik pobiera ogromne ilości danych i przetwarza je. Na potrzeby usług analizy, raportowania i wizualizacji udostępnia je. Silnik reguł wymaga wbudowanych funkcji dla zadań matematycznych, operacji na ciągach tekstowych, datach, przekształceń danych oraz zapewnia możliwości w zakresie filtrowania danych przed ich przekazaniem do innych usług na potrzeby analizy i uczenia maszynowego.

Usługa Device Shadow

Pozwala aplikacji na pracę z urządzeniami, nawet jeśli są w trybie offline. Pomaga kontrolować stan urządzenia w dowolnej chwili. Usługa przedstawia ostatni znany stan urządzenia pozostającego obecnie w trybie offline, np. ostatnia zmierzona wartość temperatury czy wilgotności lub ostatni stanysterowania zaworu ogrzewania. Usługa Device Shadow pozwala na wprowadzanie zmian stanu w czasie rzeczywistym na podstawie działań aplikacji i urządzeń kontrolnych, np. zmianę stanuysterowania zaworu ogrzewania. Gdy urządzenie odzyska połączenie z internetem i przejdzie do trybu online, zostanie automatycznie zsynchronizowane.

Rejestr urządzeń

Pozwala na automatyczne rejestrowanie urządzeń i pomaga w zarządzaniu nimi. Rejestr urządzeń definiuje i kataloguje urządzenia w celu ułatwienia pracy z nimi. Pozwala to na standaryzację atrybutów przesyłanych pomiędzy urządzeniami. W celu dalszego uproszczenia można zdefiniować grupy np. czujniki temperatury i wilgotności na danej linii uprawy w szklarni, aby tym samym umożliwić prostsze zarządzanie uruchomionymi zadaniami. Do obsługi rejestru urządzeń można wykorzystać m.in. zarządzaną platformę IoT, np. AWS IoT Core, która zapewnia dostęp do wszystkich powyższych usług. AWS IoT Core pozwala nawiązywać bezpieczne połączenie z dowolną liczbą urządzeń w chmurze oraz z innymi urządzeniami bez konieczności przygotowania serwerów. Dane można przekierowywać, przetwarzać i używać ich z połączonych urządzeń, a także można pozwalać aplikacji na pracę z urządzeniami, nawet jeśli są aktualnie w trybie offline. Usługa IoT Core oferuje usługi AWS przeznaczone do pracy z danymi w zakresie analizy, AI i uczenia maszynowego, dostarczane jako część ekosystemu chmury [9].

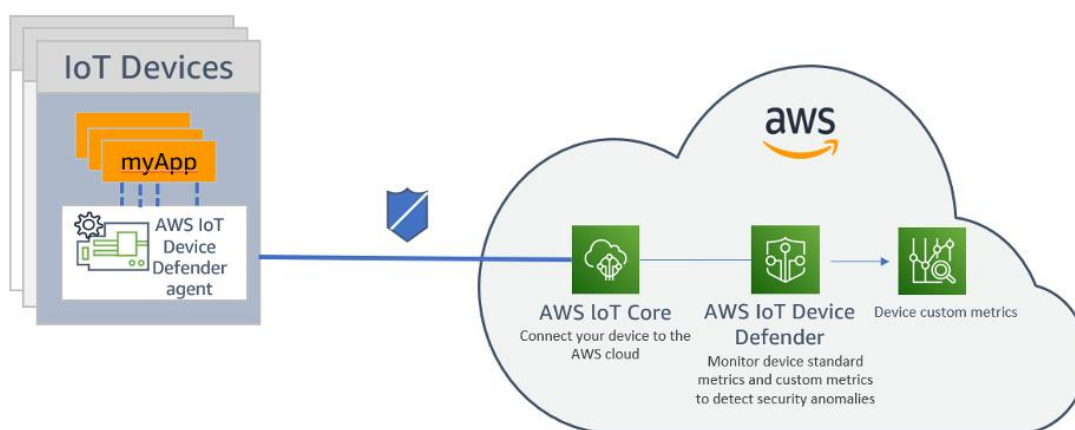


Usługa AWS IoT Device Management

Ta usługa pomaga rejestrować, organizować i monitorować zwiększającą się liczbę połączonych urządzeń oraz zdalnie nią zarządzać.

Usługa AWS IoT Device Defender

To w pełni zarządzana usługa bezpieczeństwa IoT ułatwiająca nieustanne zapewnianie bezpieczeństwa wszystkim połączonym urządzeniom IoT. Monitoruje zasoby pod kątem nietypowego sposobu działania, który mógłby sugerować potencjalny problem zagrażający bezpieczeństwu urządzenia lub systemu. Omawiana usługa przekazuje powiadomienia po wychwyceniu podejrzanych zachowań np. ruchu sieciowego z urządzenia do nieautoryzowanego adresu IP, bądź nagłego wzrostu ilości wychodzącego ruchu sieciowego, co mogłoby wskazywać, że urządzenie uczestniczy w ataku typu DDoS. Poprzez ścisłą integrację z usługą IoT Device Management usługa IoT Device Defender pozwala na podejmowanie odpowiednich działań mających na celu pełne zabezpieczenie urządzeń.



Rysunek 7 Usługi AWS w IoT⁵

⁵ Źródło: <https://aws.amazon.com/blogs/iot/how-to-detect-anomalies-in-device-metrics-and-improve-your-security-posture-using-aws-iot-device-defender-custom-metrics/>, dostęp 07.09.2024 r.



2.3. Protokoły komunikacyjne w IoT

Wszystkie urządzenia IoT komunikują się wykorzystując protokoły przeznaczone dla urządzeń IoT. Protokół internetowy jest określonym zestawem reguł, które definiują sposób, w jaki dane są wysyłane do internetu. Zapewniają, że informacje z jednego urządzenia lub czujnika zostaną odczytane i zrozumiane przez inne urządzenie, bramę lub usługę. Zależnie od przeznaczenia urządzenia i sposobu jego użytkowania należy wybrać właściwy protokół komunikacyjny. Wybór nie może być przypadkowy, gdyż protokoły różnią się prędkością przesyłania danych oraz zasięgiem. Każdy z protokołów został indywidualnie zaprojektowany i zoptymalizowany dla określonego zastosowania.

Wybór typu wykorzystanego protokołu IoT zależy od warstwy architektury systemu, w której dane będą przesyłane. Model Open Systems Interconnection (OSI) zawiera mapę różnych warstw umożliwiających wysyłanie i odbieranie danych. Poszczególne protokoły IoT w architekturze systemu IoT umożliwiają komunikację między różnymi urządzeniami, między urządzeniami i bramami, bramami i centrami danych, bramami i chmurą, a także między różnymi centrami danych.

Warstwa aplikacji

Warstwa aplikacji pełni rolę interfejsu pomiędzy urządzeniem IoT a użytkownikiem w ramach wybranego protokołu IoT. W ramach warstwy aplikacji dostępne są protokoły:

- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)

Warstwa oprogramowania, dzięki której możliwe jest współdziałanie pomiędzy oprogramowaniem pośredniczącym do obsługi komunikatów. Dzięki niej wiele systemów i aplikacji łatwiej ze sobą współpracuje, tworząc ustandaryzowane środowisko obsługi komunikatów na skalę przemysłową.

- Constrained Application Protocol (CoAP)

Protokół o ograniczonej przepustowości działający w niektórych sieciach, przeznaczony dla urządzeń o ograniczonej wydajności, umożliwiający nawiązywanie połączeń między komputerami. CoAP to również protokół transferu dokumentów, który działa za pośrednictwem protokołu UDP (User Datagram Protocol).



- **Data Distribution Service (DDS)**

Uniwersalny protokół komunikacji równorzędnej, który obsługuje wszystkie operacje — od uruchamiania niewielkich urządzeń do łączenia sieci o wysokiej wydajności. Usługa DDS usprawnia wdrożenie, zwiększa niezawodność i zmniejsza złożoność.

- **Message Queue Telemetry Transport (MQTT)**

Protokół obsługi komunikatów zaprojektowany w celu zapewnienia uproszczonej komunikacji między komputerami. Jest używany głównie w przypadku połączeń o niskiej przepustowości z lokalizacjami zdalnymi. Technologia MQTT korzysta ze wzorca wydawca-subskrybent. Jest idealna w przypadku niewielkich urządzeń, które wymagają wydajnej przepustowości i są zasilane z wbudowanej baterii lub akumulatora.

Warstwa transportowa

Zapewnia bezpieczeństwo danych podczas przesyłania ich pomiędzy warstwami. W ramach warstwy transportowej dostępne są protokoły:

- **Transmission Control Protocol (TCP)**

Protokół wykorzystywany najczęściej do obsługi większości połączeń z internetem. Oferuje komunikację pomiędzy hostami. W tym celu dzieli duże zestawy danych na pojedyncze pakiety i, jeśli jest to wymagane, ponownie je wysyła i składa.

- **User Datagram Protocol (UDP)**

Protokół komunikacyjny, który umożliwia komunikację między procesami i działa na bazie protokołu IP. Protokół UDP zwiększa szybkość przesyłania danych za pomocą protokołu TCP. Sprawdza się najlepiej w przypadku aplikacji, które wymagają bezstratnej transmisji danych.



Warstwa sieciowa

Zapewnia komunikację urządzeń IoT z routerem. W ramach warstwy sieciowej dostępne są protokoły:

- Adres IP

Wiele protokołów IoT wykorzystuje protokół IPv4, podczas gdy nowsze wykonania używają protokołu IPv6.

- 6LoWPAN

Ten protokół IoT działa najlepiej z urządzeniami o niskim poborze energii, które mają ograniczone możliwości przetwarzania.

Warstwa łącza danych

Przesyła dane w ramach architektury systemu, identyfikując i naprawiając błędy znalezione w warstwie fizycznej. W ramach warstwy łącza danych dostępne są protokoły:

- IEEE 802.15.4

Standard radiowy połączeń bezprzewodowych o niskim zużyciu energii. Jest używany ze standardami Zigbee, 6LoWPAN i innymi do tworzenia osadzonych sieci bezprzewodowych.

- LPWAN

Sieci rozległe o małej mocy (LPWAN) zapewniają w niektórych miejscach komunikację na odległość od 500 metrów do ponad 10 km. LoRaWAN to przykład sieci LPWAN, który jest zoptymalizowany pod kątem niskiego zużycia energii.



Warstwa fizyczna

Jest to kanał komunikacyjny pomiędzy urządzeniami w ramach określonej technologii / środowiska. W ramach warstwy fizycznej dostępne są protokoły:

- Bluetooth Low Energy (BLE)

Protokół komunikacyjny BLE znacznie zmniejsza zużycie energii i koszty, utrzymując podobny zakres łączności jak klasyczny Bluetooth. Komunikacja BLE działa w sposób natywny. Szybko staje się popularna wśród użytkowników urządzeń elektronicznych ze względu na niski koszt i wydłużony czas pracy baterii.

- Ethernet

To połączenie przewodowe jest tańszą alternatywą zapewniającą szybkie połączenie danych i małe opóźnienia.

- Long-term evolution (LTE)

Standard bezprzewodowej komunikacji szerokopasmowej dla urządzeń przenośnych i terminali danych. Technologia LTE zwiększa pojemność i szybkość sieci bezprzewodowych oraz obsługuje strumienie multimedialne i rozgłaszania.

- Komunikacja zbliżeniowa (NFC)

Zestaw protokołów komunikacyjnych korzystających z pól elektromagnetycznych, które umożliwiają komunikację pomiędzy dwoma urządzeniami znajdującymi się w odległości do czterech centymetrów. Urządzenia obsługujące komunikację NFC działają jak identyfikacyjne karty kodowe i są często używane na potrzeby płatności zbliżeniowych i mobilnych, zakupu biletów oraz obsługi kart inteligentnych. NFC umożliwia również ładowanie urządzeń z mocą do 15W.

- Technologia Power Line Communication (PLC)

Technologia komunikacji, która umożliwia wysyłanie i otrzymywanie danych przez istniejące kable zasilające. Pozwala to zarówno na zasilanie urządzenia IoT, jak i sterowanie nim, za pośrednictwem tego samego przewodu.



- Systemy identyfikacji radiowej (RFID)

Technologia RFID korzysta z pól elektromagnetycznych do śledzenia niezasilanych identyfikatorów elektronicznych. Urządzenie nadawcze (czytnik) dostarcza energię elektryczną za pośrednictwem pola magnetycznego (zjawisko indukcji magnetycznej) i komunikuje się z tymi identyfikatorami w celu odczytania zawartych w nich informacji na potrzeby identyfikacji i uwierzytelniania.

- Wi-Fi/802.11

Wi-Fi/802.11 to standard używany w domach i biurach. Mimo że jest to niedrogie rozwiązanie, może nie nadawać się do zastosowania we wszystkich scenariuszach z powodu ograniczonego zasięgu.

- Z-Wave

Sieć w topologii mesh używająca fal radiowych o niskiej energii do komunikowania się pomiędzy urządzeniami.

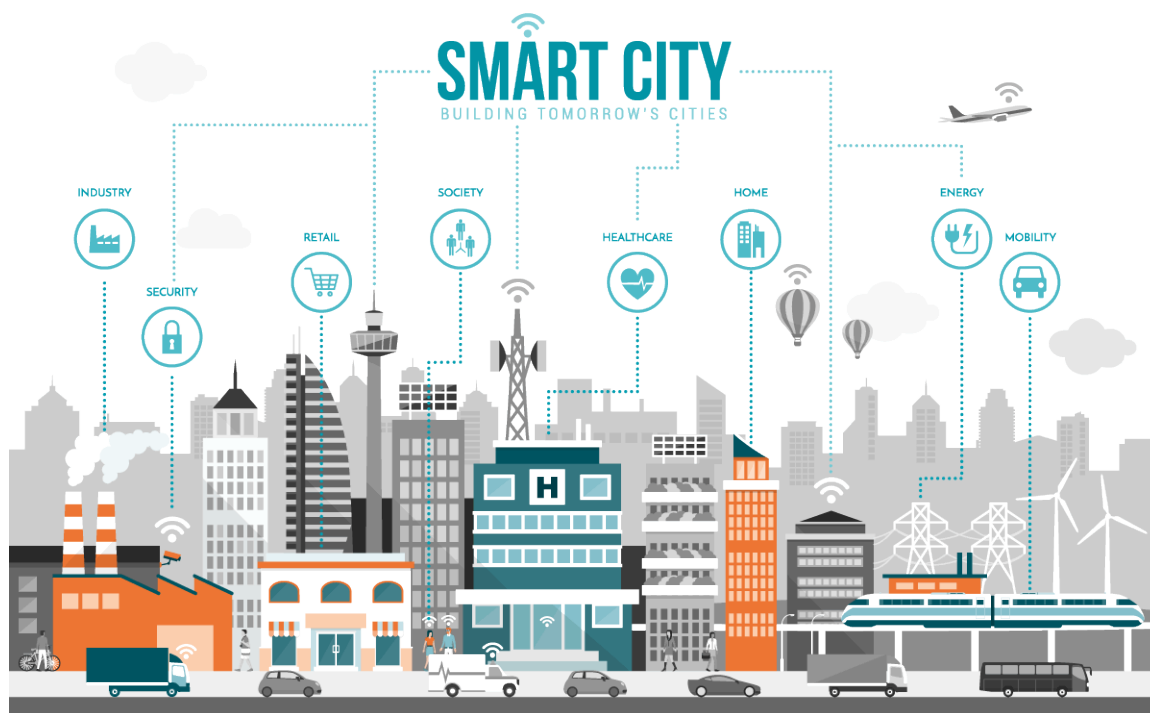
- Zigbee

Specyfikacja oparta na standardzie IEEE 802.15.4 dla zestawu protokołów komunikacyjnych wysokiego poziomu służących do tworzenia sieci osobistych za pomocą małych, cyfrowych urządzeń radiowych o małej mocy.



3. Smart City

Smart City to idea inteligentnego miasta, które wykorzystuje najnowsze technologie informacyjne w celu zwiększenia wydajności całej infrastruktury miejskiej oraz jej składowych. Dzięki wykorzystaniu danych można w optymalny sposób zarządzać komunikacją miejską, ruchem ulicznym (skrzyżowania z sygnalizacją świetlną) czy zbieraniem odpadów z miejskich koszy zamontowanych w parkach oraz przy ulicach. W łatwy sposób można zarządzać zajętością miejsc parkingowych dla samochodów osobowych czy autobusów w centrach miast ograniczając przy tym ruch pojazdów (skierowanie się na inny parking, gdy wybrany jest w pełni zajęty).



Rysunek 8 Idea Smart City⁶

Profesor Nicos Komninos uważa, że inteligentne miasto to obszar składający się z czterech elementów:

- kreatywnej populacji realizującej działania intensywnie wykorzystujące wiedzę lub klaster takich działań,
- efektywnie działających instytucji i procedur w zakresie tworzenia wiedzy, umożliwiających jej nabywanie, adaptację i rozwój,

⁶ Źródło: <http://weisiyin.com/top-technology-trends-smart-cities-buildings-infrastructure.html> , dostęp 06.09.2024 r.



- rozwinięte infrastruktury szerokopasmowej, cyfrowych przestrzeni, e-usług oraz narzędzi on-line do zarządzania wiedzą,
- udokumentowanej zdolności do innowacji, zarządzania i rozwiązywania problemów, które pojawiają się po raz pierwszy, ponieważ innowacyjność i zarządzanie w warunkach niepewności są kluczowe do oceny inteligencji [1].

Ze względu na poziom zaawansowania rozwiązań w Smart City, naukowiec Boyd Cohen jako pierwszy zdefiniował pojęcia *Smart City 1.0*, *Smart City 2.0* oraz *Smart City 3.0*.

Smart City 1.0 jest inspirowane dostępnymi technologiami. Jest pierwszą fazą tworzenia inteligentnych miast, w którym zastosowano różnego typu rozwiązania technologiczne bez analizy, czy oferowane technologie są potrzebne oraz czy w praktyce rozwiązują rzeczywiste problemy. Nie analizowano również, czy problemy można rozwiązać w inny, optymalny sposób niż za pomocą rozwiązań wykorzystujących sektor IT. Przykładami takich miast są Masdar w Zjednoczonych Emiratach Arabskich oraz Songdo w Korei Południowej – miasta te wybudowano od podstaw jako eksperyment naukowy, który umożliwił otrzymanie danych niezbędnych do opracowania koncepcji idealnego miasta przyszłości. Obecnie rozwiązania techniczne i technologiczne zastosowane w powyższych miastach są krytykowane, gdyż zabrakło w nich, podczas fazy projektowania, odniesienia do prawdziwego życia mieszkańców.

Smart City 2.0 to faza, w której decydującą rolę pełni administracja publiczna. Jest ona inicjatorem wszelkich wdrażanych zmian wykorzystujących nowe technologie. Poszukuje ona rozwiązań dla zdefiniowanych i sprecyzowanych problemów, których rozwiązanie polepszy jakość życia mieszkańców. W *Smart City 2.0* istotny jest efekt wdrożenia, a nie tylko obecność i wykorzystanie technologii. Według naukowca Boyda Cohena większość miast określanych mianem inteligentnych należy do generacji 2.0. *Smart City 2.0* charakteryzuje się mnogością projektów ułatwiających dostęp do sieci internetowej oraz występuje w nim wiele projektów wykorzystujących inteligentne rozwiązania technologiczne tj.:

- inteligentne sterowanie ruchem ulicznym,
- wykorzystanie big data,
- wykorzystanie elementów Internet of Things – sensory, liczniki czy układy sterujące.



Smart City 3.0 to model, który rozpoczął się kreować od 2015 roku i można w nim zaobserwować podejście oparte o zaangażowanie mieszkańców w rozwój miasta i określaniu kierunków dalszego ich rozwoju. Rolą administracji staje się tworzenie środowiska, które umożliwi wykorzystanie potencjału mieszkańców. Do takich programów należą projekty dla osób wykluczonych cyfrowo, co zachęca je do korzystania z nowych technologii czy umożliwianie opracowywania własnych rozwiązań technologicznych np. z wykorzystaniem *open data*. W modelu *Smart City 3.0* poza wykorzystaniem nowoczesnych technologii do poprawy jakości życia w miastach zwraca się również uwagę na zagadnienia społeczne, równościowe, edukacyjne czy ekologiczne.



Rysunek 9 Smart City - zakres⁷

⁷ Źródło: <https://aliga.sk/en/what-the-heck-is-a-smart-city/> , dostęp 06.09.2024 r.

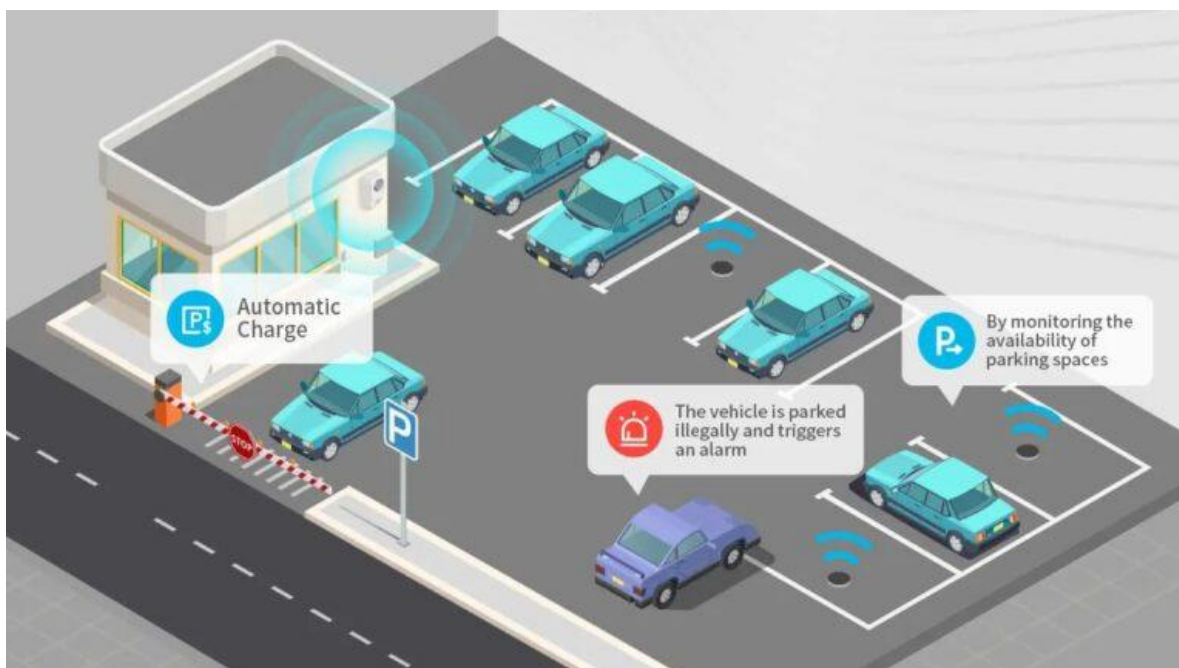


4. Zastosowanie IoT

W związku z popularyzacją urządzeń internetu rzeczy z roku na rok stały się one coraz bardziej popularne i wszechobecne. Dziś z urządzeniami IoT mamy styczność w muzeach, parkach, na ulicy czy w domach. Często przechodzimy tuż obok zaawansowanych systemów IoT nie zdając sobie sprawy z ich obecności oraz jaką rolę pełnią dla otoczenia, w którym się znajdujemy.

4.1. Smart parking - inteligentny parking

Systemy inteligentnych parkingów są coraz bardziej popularne. Można je spotkać na parkingach zamkniętych, na które wjazd jest możliwy po autoryzacji, jak też publicznie dostępnych np. w galeriach handlowych. Dzięki nim możliwe jest określenie ilości pustych miejsc parkingowych, a dzięki interaktywnym tablicom, kierowcy kierowani są do wolnych miejsc parkingowych. Takie rozwiązanie pozwala uniknąć wzmożonego ruchu pojazdów np. w bezpośrednim otoczeniu wejścia do galerii, gdy brakuje tam wolnych miejsc parkingowych. Ponadto, z uwagi na fakt, iż kierowcy kierują się bezpośrednio do miejsca docelowego ogranicza to emisję spalin.

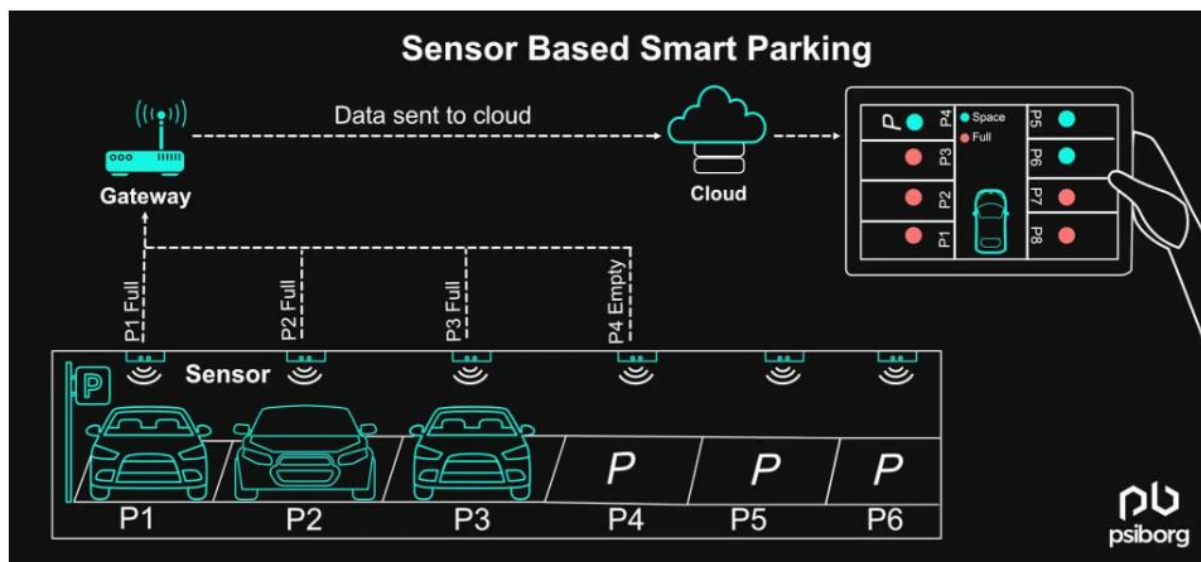


Rysunek 10 Idea inteligentnego parkingu⁸

⁸ Źródło: <https://aime.com.tr/smart-parking/>, dostęp 06.09.2024 r.



Detektory w systemach parkingowych najczęściej można spotkać w dwóch odmianach – montowanych na suficie parkingu wraz z diodą wskazującą stan zajętości miejsca lub całkowicie bezprzewodowe montowane w drodze / nawierzchni parkingu. Systemy montowane na sufitach parkingów najczęściej zasilane są przewodowo. W taki sam sposób odbywa się również komunikacja. Grupa urządzeń (detektorów pojazdów) podłączona jest do jednej bramki (Gateway), która zbiera informacje i za pomocą sieci Wi-Fi, lub innego połączenia przewodowego lub bezprzewodowego, przesyła dane do chmury, z której tablice informacyjne pobierają dane i wyświetlają informacje o ilości wolnych miejsc. Dane przesyłane do chmury są również dostępne dla użytkowników parkingu np. w formie aplikacji mobilnej oraz dla zarządcy w formie bardziej rozbudowanego narzędzia webowego lub aplikacji.



Rysunek 11 Transmisja danych w systemie inteligentnego parkingu⁹

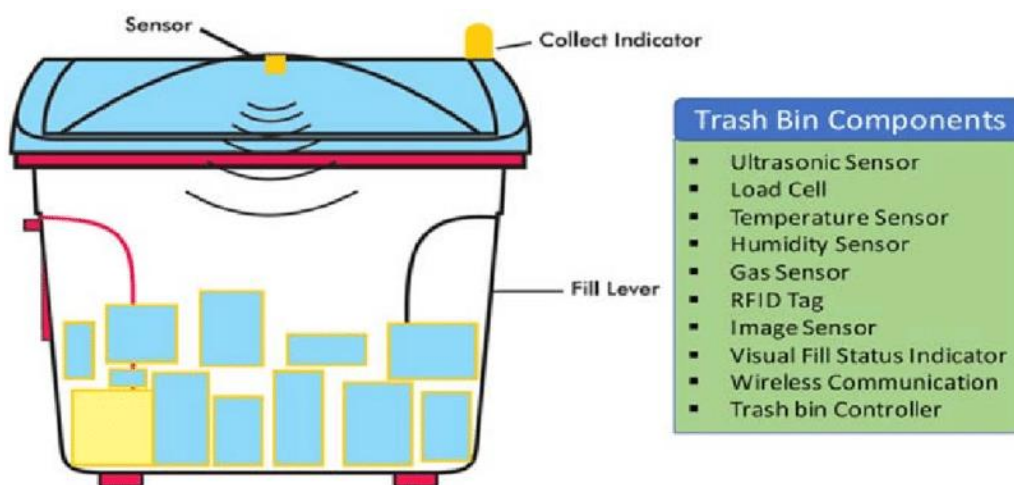
Detektory montowane w nawierzchni parkingu bardzo często można spotkać na parkingach publicznych, najczęściej wzdłuż dróg, gdzie nie ma możliwości kontrolowania ilości korzystających z nich samochodów. Dzięki temu, że urządzenia są w pełni bezprzewodowe (zasilanie bateryjne oraz komunikacja bezprzewodowa) ich montaż polega na umieszczeniu detektorów we wcześniej przygotowanych otworach technologicznych wykonanych w nawierzchni. Po skonfigurowaniu urządzeń w systemie są one widoczne dla użytkownika końcowego i gotowe do przesyłania danych.

⁹ Źródło: <https://psiborg.in/smart-parking-system-using-iot-for-efficient-management/> , dostęp 06.09.2024 r.



4.2. Smart bin – inteligentny system koszy na śmieci

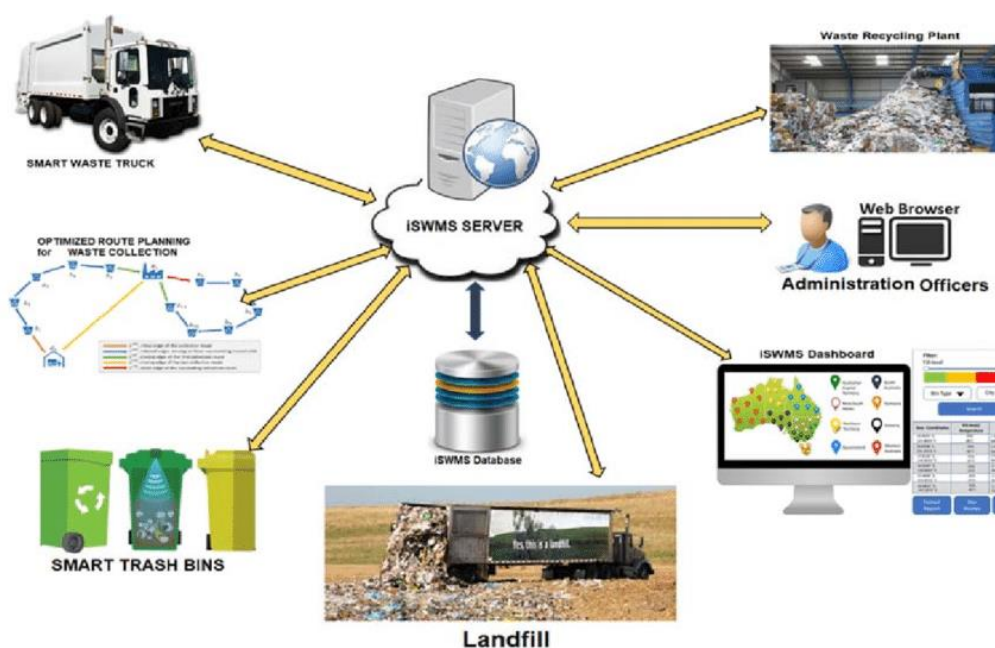
System inteligentnych koszy na śmieci umożliwia odbiór odpadów, gdy poziom zapęnlennia przekroczy ustaloną wartość lub zawartość kosza będzie wydzielala nieprzyjemny zapach, co negatywnie wpływa na otoczenie. Systemy te najczęściej stosowane są w koszach zamontowanych w przestrzeni publicznej (parki, centra miast, przystanki autobusowe). Są to miejsca gdzie niemożliwe jest określenie stopnia zapęnlennia kosza i ustalenie harmonogramu odbioru odpadów. W związku z tym służby porządkowe codziennie opróżniają wszystkie kosze bez względu na ich stopień zapęnlennia. Takie działanie wpływa negatywnie na środowisko (emisja spalin) oraz generuje dodatkowe koszty dla przedsiębiorstwa zajmującego się utrzymaniem porządku. Dzięki informacji z czujników o poziomie zapęnlennia kosza system określa, z których koszy należy odebrać odpady oraz wyznacza optymalną trasę przejazdu.



Rysunek 12 Koncepcja inteligentnego kosza [2]

Ze względu na charakter obiektów (koszy) sensory napęnlennia są urządzeniami zasilanymi bateryjnie z komunikacją bezprzewodową dalekiego zasięgu. W niektórych wersjach można spotkać system detekcji poziomu zapęnlennia kosza wykorzystujący zasilanie akumulatorowe z wbudowanym panelem fotowoltaicznym.

Dane zebrane przez sensory przesyłane są za pomocą GSM lub LoRa. Po odebraniu danych przez bramkę GSM lub bramkę LoRa przesyłane są one dalej za pomocą TCP/IP do chmury, skąd systemy planowania odbioru odpadów pobierają informacje o stopniu zapęnlennia kosza.



Rysunek 13 Koncepcja systemu [2]

Technologia Smart bin możliwa jest do implementacji w dwóch wariantach – jako modyfikacja zamontowanych już koszy w przestrzeni publicznej poprzez dodanie do nich modułu pomiarowo-komunikacyjnego lub jako nowe wersje koszy ze zintegrowanym systemem pomiarowym oraz wbudowanym panelem fotowoltaicznym co zwiększa bezobsługowość rozwiązania.



Rysunek 14 Inteligentny kosz¹⁰

¹⁰ Źródło: <https://binology.com/products/smart-city-bin-120-lightbox/> , dostęp 06.09.2024 r.



4.3. Smart home – inteligentne budynki

Smart home, smart buildings – inteligentne domy, inteligentne budynki. To hasła, które określają rozwiązania dostępne dla domu w celu zwiększenia bezpieczeństwa, zmniejszenia zużycia energii oraz wysokości opłat za wodę oraz ogrzewanie. Na rynku dostępnych jest wiele systemów automatyki budynkowej, które spełniają wyżej wymienione funkcje m.in. KNX, ABB Free&Home, automatyka domowa oparta o ZigBee (systemy firmy Zamel) czy Z-Wave. Systemy te cechują się dużą elastycznością w konfiguracji. Dostępnych jest również wiele modułów, które obsługują sterowanie roletami, oświetleniem czy ogrzewaniem. Możliwy jest zakup sensorów zalania, ruchu czy otwarcia okna lub drzwi. Do sterowania systemem najczęściej wykorzystywany jest centralny panel sterowania oraz aplikacja webowa dostępna na tablet lub smartphone.



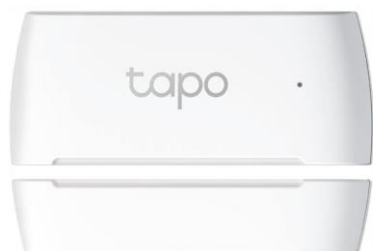
Rysunek 15 Idea Smart home¹¹

Poza komercyjnymi rozwiązaniami dostępne są również rozwiązania typu open-source, np. system automatyki domowej Domoticz wykorzystujący jako serwer dowolny model Raspberry Pi podłączony do sieci. Dzięki wykorzystaniu połączenia Wi-Fi oraz protokołu MQTT możliwe jest stworzenie własnego systemu automatyki budynkowej. Otwartość systemu Domoticz umożliwia połączenie go nie tylko z innymi urządzeniami Raspberry Pi, ale również z modułami ESP32 wyposażonymi w wbudowany moduł Wi-Fi. Dodatkowo istnieje

¹¹ <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building> , dostęp 06.09.2024 r.



możliwość zainstalowania i skonfigurowania aplikacji mobilnej, która umożliwi sterowanie całym systemem.



Rysunek 16 Czujnik otwarcia drzwi / okna jako urządzenie IoT



Rysunek 17 Czujnik ruchu PIR jako urządzenie IoT

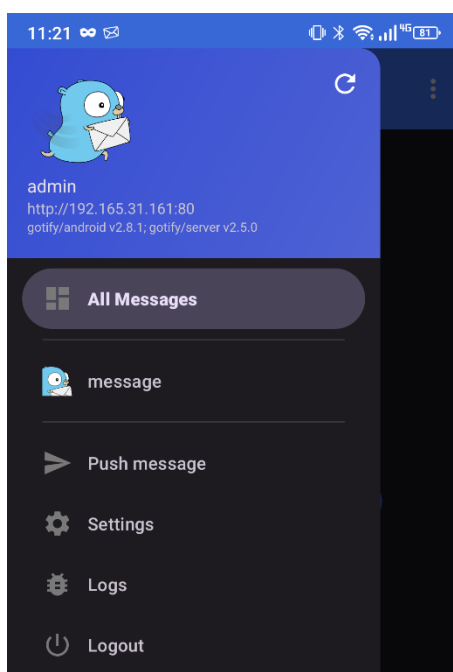
Sterowanie domem w ramach koncepcji Smart Home nie musi się odbywać wyłącznie poprzez wykorzystywanie dedykowanych do tego celu systemów. Wykorzystując bezpłatne rozwiązania chmurowe oraz urządzenia IoT można wykonać prosty projekt sterowania pomieszczeniem z wykorzystaniem aplikacji Blynk. Blynk jest pakietem oprogramowania, który umożliwia prototypowanie i zdalne zarządzanie podłączonymi urządzeniami elektronicznymi. Pozwala na analizowanie danych w czasie rzeczywistym i danych historycznych, a także na zdalne sterowanie urządzeniami z dowolnego miejsca na świecie, gdzie zapewniony jest dostęp do internetu. Występuje w formie aplikacji przeglądarkowej, w której konfiguruje się parametry połączenia, a także można stworzyć webowy panel sterowania. Korzystając z aplikacji mobilnej zainstalowanej na Android lub iOS można stworzyć prosty interfejs, który umożliwi podgląd paramentów i sterowanie urządzeniem.



Rysunek 18 Aplikacja Blynk



Innym przykładem wykorzystania urządzeń IoT w systemach automatyki domowej są systemy oparte o rozsyłanie wiadomości typu push. Można je zastosować do wykonania prostego systemu alarmowego. Umożliwia to rozwiązanie chmurowe Gotify, które należy zainstalować na lokalnym serwerze np. Raspberry Pi oraz podłączyć do niego pozostałe urządzenia (np. po sieci Wi-Fi). Wówczas, gdy po uzbrojeniu alarmu okno lub drzwi zostaną otwarte to powiadomienie zostaje rozesłane do wszystkich użytkowników serwera (w tym również do użytkowników aplikacji mobilnej).



Rysunek 19 Aplikacja Gotify



5. Wykaz literatury

1. Komninos Nicos, „Intelligent Cities and Globalisation of Innovation Networks”, London and New York, Routledge, 2008
2. Gade Dipak, Aithal Sreeramana, „Smart City Waste Management through ICT and IoT driven Solution”, International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML), ISSN: 2581-7000, Vol. 5, No. 1, May 2021
3. Cirani Simone, „Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards”, Wiley, 2018
4. Qusay F Hassan, „Internet of Things A to Z - Technologies and Applications”, John Wiley and Sons Ltd, 2018
5. Miller Michael, „Internet of Things, The: How Smart TVs, Smart Cars, Smart Homes, and Smart Cities Are Changing the World”, Que Publishing, 2015
6. Andrew Minter, „Analytics for the Internet of Things (IoT): Intelligent analytics for your intelligent devices”, Packt Publishing, 2017
7. Cuno Pfister, „Getting Started with the Internet of Things”, ebook
8. Anand Tamboli, „Build Your Own IoT Platform: Develop a Fully Flexible and Scalable Internet of Things Platform in 24 Hours”, Apress, 2019
9. Saurabh Shrivastava, Neelanjali Srivastav, „Podręcznik architekta rozwiązań. Poznaj reguły oraz strategię projektu architektury i rozpocznij niezwykłą karierę. Wydanie II”, Helion, 2023



Spis rysunków

Rysunek 1 Idea Internet of Things.....	4
Rysunek 2 Stacja pogodowa IoT z LoRa.....	6
Rysunek 3 Chmura ThingSpeak.....	8
Rysunek 4 Architektura IoT	9
Rysunek 5 Cykl pracy urządzeń w systemie IoT [9].....	11
Rysunek 6 MQTT jako część IoT	13
Rysunek 7 Usługi AWS w IoT	15
Rysunek 8 Idea Smart City	21
Rysunek 9 Smart City - zakres.....	23
Rysunek 10 Idea inteligentnego parkingu.....	24
Rysunek 11 Transmisja danych w systemie inteligentnego parkingu	25
Rysunek 12 Koncepcja inteligentnego kosza [2]	26
Rysunek 13 Koncepcja systemu [2]	27
Rysunek 14 Inteligentny kosz	27
Rysunek 15 Idea Smart home.....	28
Rysunek 16 Czujnik otwarcia drzwi / okna jako urządzenie IoT	29
Rysunek 17 Czujnik ruchu PIR jako urządzenie IoT	29
Rysunek 18 Aplikacja Blynk.....	29
Rysunek 19 Aplikacja Gotify	30