

RFID w Internecie Rzeczy

Ekspansja obecnego „internetu komputerów” na Internet rzeczy (IoT) wymaga ekosystemu charakteryzującego się interakcjami między przedmiotami codziennego użytku z wbudowaną inteligencją online. W konsekwencji takie inteligentne obiekty byłyby zdolne do interwencji w czasie rzeczywistym opartych na danych bez pośrednictwa człowieka. Jednym z wymogów tego wszechobecnego środowiska pozyskiwania i udostępniania informacji jest to, że obiekty powinny charakteryzować się wrodzoną zdolnością do gromadzenia danych kontekstowych o ich środowisku wewnętrznym lub zewnętrznym. Sugeruje to konieczność osadzenia czujników w przedmiotach codziennego użytku. Ponadto inteligentne obiekty powinny mieć możliwość przekazywania pozyskanych danych innym podmiotom. Historycznie, identyfikacja radiowa (RFID) jest jedną z najwcześniejszych technologii, których użyteczność wymagała osadzenia lub umieszczenia elektroniki na przedmiocie. Biorąc pod uwagę fakt, że RFID jest również technologią komunikacyjną, jest obecnie reklamowany jako obiecująca technologia, którą można włączyć do inteligentnych obiektów dla Internetu Rzeczy. Ta część ma na celu przedstawienie podstaw wykorzystania RFID w IoT. Rozpoczyna się krótką perspektywą historyczną technologii RFID, pokazującą, jak wiąże się ona z narodzinami i rozwojem IoT.

Perspektywa historyczna

Demonstracja alternatora o mocy 2 kW, 100 Hz w 1906 r. przez Ernsta Alexandersona była ważnym kamieniem milowym w rozwoju komunikacji bezprzewodowej poprzez generowanie i transmisję fal ciągłych (CW). Systemy radarowe były jedną z wczesnych technologii wykorzystujących potencjał transmisji fal radiowych CW, wykorzystując ich odbicie do wykrywania obecności i lokalizacji obiektów. W 1948 opublikowano przełomową pracę Stockmana, która badała możliwości komunikacji poprzez odbite fale radiowe. Niedługo potem wynalezienie tranzystora i opracowanie układu scalonego umożliwiło dalsze poszukiwania pomysłów inspirowanych twórczością Stockmana, a tym samym narodziny RFID. RFID to technologia wykorzystująca przesyłaną i odbieraną energię o częstotliwości radiowej (RF) do automatycznej identyfikacji obiektów. W podstawowym sensie systemy RFID składają się z dwóch elementów, a mianowicie transpondera lub znacznika RFID oraz interrogatora lub czytnika RFID. Znacznik RFID to zminiaturyzowany obwód elektroniczny zawierający dane, który jest przymocowany do zidentyfikowanego obiektu lub osadzony w nim. Czytnik RFID to stosunkowo większy obwód elektroniczny, który odczytuje dane bezprzewodowo przesyłane do niego za pomocą tagów RFID. Jednym z najwcześniejszych zastosowań RFID były systemy elektronicznego nadzoru artykułów (EAS), opracowane w latach 60. XX wieku. Systemy EAS zapewniały niedrogi i skuteczny środek zabezpieczający przed kradzieżą. Zasadniczo systemy te wykorzystywały sprzężenie indukcyjne między obwodem rezonansowego czytnika a znacznikiem. Jednobitowe znaczniki zostały umieszczone na towarach, a systemy EAS mogły wykryć ich obecność lub brak. Lata siedemdziesiąte charakteryzowały się znaczącymi postępami w technologii RFID w wyniku badań w instytucjach takich jak Los Alamos Scientific Laboratory w Stanach Zjednoczonych i Fundacja Instytutu Mikrofalowego w Szwecji. Systemy Backscatter RFID zostały opracowane do pracy w zakresie ultrawysokiej częstotliwości (UHF), umożliwiając rozmieszczenie systemów RFID w większych odległościach niż było to możliwe do tej pory. Wysiłki rozwojowe skierowane były również na miniaturyzację znaczników i obwodów RFID oraz poprawę funkcjonalności. Podczas gdy lata 70. charakteryzowały się badaniami i rozwojem RFID, lata 80. były dekadą komercjalizacji tej technologii. Technologie RFID bliskiego zasięgu zostały przyjęte w Europie do śledzenia zwierząt gospodarskich, a także do zastosowań biznesowych i przemysłowych. Jednak w Stanach Zjednoczonych głównymi zastosowaniami RFID były kontrola dostępu i transport. Elektroniczne pobieranie opłat również szybko stawało się ważnym niszowym zastosowaniem RFID. Ważne jest, aby zwrócić uwagę na rolę komputerów osobistych w rozwoju RFID w tej erze. Dostępność

komputerów osobistych oznaczała, że dane o obecności i lokalizacji obiektów mogły być przesyłane do systemów komputerowych w celu przechowywania i dalszego przetwarzania. W związku z tym trzeci element systemów RFID - oprogramowanie pośredniczące - stał się przedmiotem znacznej uwagi badawczej. Dekada lat 90. przyniosła dalszą konsolidację wykorzystania RFID w zarządzaniu transportem, zarządzaniu zapasami, zarządzaniu łańcuchem dostaw i kontroli dostępu. Opracowywane były również nowe aplikacje w zarządzaniu opieką zdrowotną. Wiele firm na całym świecie aktywnie włączyło się w rozwój rozwiązań RFID. Doprowadziło to do konieczności opracowania standardów zapewniających interoperacyjność sprzętu RFID opracowanego przez różnych dostawców. Jednolita Rada Kodeksu z siedzibą w USA (UCC) rozpoczęła rozmowy z podobną organizacją normalizacyjną, European Article Number (EAN) International, na temat globalnej normalizacji. Założone w 1999 roku Centrum Auto-ID opracowało Electronic Product Code (EPC), przy wsparciu UCC, jako uniwersalny system RFID. W 2003 roku Auto-ID Center przekształciło się w dwie oddzielne jednostki: Auto-ID Labs i EPCglobal. Podczas gdy laboratoria Auto-ID są zaangażowane w działalność badawczą, z laboratoriami w siedmiu krajach, EPCglobal jest zaangażowane w działalność standaryzacyjną EPC. W 2005 roku EAN International został zreorganizowany, a jego nazwa zmieniona na GS1 (GS1, 2013). Bezpośrednią konsekwencją tych wysiłków standaryzacyjnych było pojawienie się wielozadaniowych tagów RFID, które mogą być wykorzystywane w różnych segmentach biznesowych. Na przykład pojedynczy znacznik może być wykorzystany do uzyskania dostępu do budynku biurowego i nadal służyć jako e-portfel do elektronicznego poboru opłat. Późne lata 90. charakteryzowały się również szybkim wzrostem korzystania z internetu. Komputery osobiste stawały się coraz tańsze, a łączność bezprzewodowa była łatwiej dostępna. Globalny wzrost korzystania z Internetu, który trwa do dziś, oznaczał, że ogromne ilości danych były stale generowane i przesyłane za pośrednictwem sieci komputerowych. Początkowo większość danych wprowadzanych do systemów komputerowych, a tym samym do Internetu, pochodziła z ludzkiej interwencji. Zwłaszcza w zastosowaniach przemysłowych i biznesowych takie dane często dostarczały jakościowych lub ilościowych opisów fizycznych procesów i zmiennych. Twórcy społeczności RFID zaczęli więc bawić się ideą wprowadzania danych do Internetu bezpośrednio z obiektów wystawionych na działanie fizycznych procesów i samych zmiennych, bez pośrednictwa człowieka. Pomysł polegał na tym, że RFID można by zastosować, aby zapewnić komputerom możliwość gromadzenia dla siebie informacji o świecie fizycznym. Doprowadziło to do powstania terminu „Internet rzeczy” (IoT), ekosystemu, w którym dane wprowadzane do Internetu pochodziły bezpośrednio od „rzeczy”, a nie od ludzi. z konceptualnych początków tego ostatniego.

RFID i Internet Rzeczy

Specyficzną rolę RFID w IoT można zaobserwować, zwracając uwagę na niektóre podstawowe elementy IoT, a mianowicie wykrywanie, komunikację, usługi, semantykę, obliczenia i identyfikację. Podczas gdy wykrywanie zajmuje się zbieraniem danych przez obiekty, technologie komunikacyjne umożliwiają połączenia między tymi heterogenicznymi obiektami dla określonych usług. Takie usługi mogą obejmować agregację informacji, podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym lub zapewnienie bezproblemowego dostępu na żądanie do danych. Komponent semantyczny IoT zajmuje się inteligentnym wydobywaniem wiedzy z zebranych danych w celu świadczenia wymaganych usług. Z drugiej strony obliczenia odnoszą się do komponentów sprzętowych i programowych, które przetwarzają zebrane dane w czasie rzeczywistym. Wreszcie możliwość jednoznacznej identyfikacji obiektów umożliwia dopasowanie usług do popytu w świecie fizycznym. Automatyczna identyfikacja realizowana przez RFID jest obecnie najszerszej wykorzystywaną funkcjonalnością do świadczenia szerokiego zakresu usług. Rozwiązania RFID do zarządzania inwentaryzacją i łańcuchem dostaw są szeroko stosowane w wielu organizacjach na całym świecie. Jako środek pozyskiwania danych, technologia RFID może zapewnić połączenie między światem fizycznym a wirtualnymi elementami IoT. Potencjał ten został zademonstrowany przez naukowców z University of Washington w mikrokosmosie

IoT w skali budynku, który nazwali „ekosystemem RFID”. W budynku o powierzchni 8000 m² umieszczono wiele czytników RFID, a do osób i przedmiotów osobistych przymocowano znaczniki śledzące. Za pomocą różnych narzędzi dane RFID niskiego poziomu zostały przekształcone w informacje kontekstowe wyższego poziomu o śledzonych osobach i obiektach.

Identyfikacja obiektów za pomocą RFID

Czytniki i tagi to podstawowy sprzęt wykorzystywany w RFID. Czytniki i tagi są wyposażone w anteny do komunikacji. Ponadto typowy znacznik zawiera chip, który przechowuje unikalny numer identyfikacyjny (ID). Dostępne są jednak również tagi bez chipów, w których identyfikator tagu jest zakodowany w fizycznej strukturze tagu. Zwykle znacznik RFID jest osadzony lub przymocowany do obiektu, który ma być śledzony, tak że identyfikator znacznika jest powiązany z obiektem. Tagi RFID są klasyfikowane jako aktywne, półpasywne lub pasywne, w zależności od sposobu ich zasilania. Ogólnie rzecz biorąc, aktywne i półpasywne tagi są zasilane bateryjnie, natomiast pasywne tagi RFID nie mają niezależnych źródeł zasilania. W konwencjonalnej interakcji RFID czytnik odpytuje znacznik, aby uzyskać jego unikalny identyfikator, który w efekcie identyfikuje powiązany obiekt. Aktywne znaczniki są w stanie przesyłać swoje unikalne identyfikatory poprzez pola elektromagnetyczne w odpowiedzi na transmisje elektromagnetyczne czytnika. Jednak półpasywne i pasywne znaczniki nie są w stanie generować własnych pól elektromagnetycznych do przesyłania danych. Znaczniki te komunikują się raczej z czytnikami poprzez modulację pól magnetycznych lub elektromagnetycznych przekazywanych przez czytniki. Interakcje czytnika znaczników oparte na polu magnetycznym są ułatwione dzięki modulacji obciążenia. W tym przypadku znacznik zmienia swoją impedancję zgodnie z przesyłanymi danymi ID. Ta zmiana impedancji jest wyczuwana przez czytnika i odpowiednio interpretowana. W przypadku systemów elektromagnetycznych znaczniki pasywne i półpasywne komunikują się z czytnikiem za pomocą modulacji wstecznego rozproszenia. W takim przypadku transmisja elektromagnetyczna czytnika jest odbijana z powrotem od tagu. Osiąga się to poprzez celowe niedopasowanie impedancji wejściowej anteny znacznika zgodnie z danymi identyfikatora znacznika. Zatem dane ID znacznika są kodowane w amplitudzie i fazie odbitego pola elektromagnetycznego i są odpowiednio interpretowane przez czytnik. Identyfikacja obiektów RFID umożliwia wiele zastosowań, od kontroli dostępu po paszporty z obsługą RFID. Ta funkcjonalność ma również praktyczne znaczenie przemysłowe. Procesy produkcyjne są zwykle monitorowane poprzez rejestrację wytwarzanych elementów w określonych punktach kontrolnych w łańcuchu produkcyjnym. Dzięki technologii RFID ten proces rejestracji można zautomatyzować, wyposażając takie przedmioty w tagi. Dodatkowe punkty skanowania można wprowadzić w procesie produkcyjnym, nawet w nieprzyjaznych środowiskach, umożliwiając w ten sposób dokładniejsze monitorowanie procesów produkcyjnych. Dalsze rozszerzenie, te same znaczniki mogą umożliwiać identyfikację i śledzenie każdego wyprodukowanego przedmiotu, w całym łańcuchu dostaw, a nawet w całym okresie eksploatacji z konsumentem końcowym. Korzyści płynące z włączenia technologii RFID do funkcjonowania organizacji są dobrze znane. Jednak potencjał tej technologii jest znacznie zwiększony, gdy wiele stron może uzyskać dostęp do danych uzyskanych za pomocą RFID i korzystać z nich. Na przykład, wydajność i przejrzystość łańcuchów dostaw jest znacznie poprawiona dzięki IoT służącemu jako globalna architektura usług informacyjnych dla elementów oznaczonych RFID. Na przykład technologia RFID została wykorzystana przez pralnię przemysłową w Wielkiej Brytanii w ramach infrastruktury IoT do zarządzania łańcuchem dostaw. Niepozorne tagi RFID wszyte w pranie są połączone z siecią internetową, która umożliwia efektywne zarządzanie cyklami wysyłek, składającymi się nawet z miliona sztuk dziennie, w wielu lokalizacjach. Ponadto obecnie opracowywane są systemy IoT oparte na znakowaniu przedmiotów RFID w celu zminimalizowania incydentów związanych z nieprawidłową obsługą bagażu na lotniskach zgodnie z rezolucjami Międzynarodowego Stowarzyszenia Przewoźników Powietrznych (IATA). Należy zauważyć, że rozszerzenie podstawowej funkcjonalności identyfikacyjnej

tagów RFID o dane o środowiskach, w których są one stosowane, znacząco wzbogaca zawartość danych pozyskanych przez RFID oraz zwiększa użyteczność tagowania RFID. Wykrywanie otoczenia jest zatem potencjalnie kluczowym zastosowaniem RFID w IoT.

Czujniki RFID

Znaczniki RFID można ulepszyć, aby wykrywać zmienne fizyczne lub chemiczne w środowisku. Niektóre przykłady typowych parametrów fizycznych Czujniki RFID zostały opracowane do wykrywania temperatury, ciśnienia, światła i ruchu. Istnieją różne rzeczywiste zastosowania tych ulepszeń czujników RFID. Na przykład czujniki temperatury oparte na technologii RFID mogą być wykorzystywane w zimnym łańcuchu dostaw do monitorowania temperatury zamrożonych towarów, zapewniając jednocześnie podstawowy nadzór nad artykułami. Ponadto czujniki naprężeń oparte na technologii RFID znajdują gotowe zastosowanie w monitorowaniu stanu konstrukcji. Z drugiej strony czujniki chemiczne RFID mogą być wykorzystywane w aplikacjach takich jak określanie obecności potencjalnie szkodliwego gazu oraz pomiar poziomu pH komponentów bioprocessowych. W opiece zdrowotnej czujniki chemiczne RFID mogą być wykorzystywane do pomiaru poziomu glukozy. Czujniki ruchu polegają na wykrywaniu przyspieszenia czujnika z jego pozycji spoczynkowej. Opracowano przenośne czujniki ruchu RFID, które są w stanie śledzić ruch użytkownika i znajdują zastosowanie medyczne w zarządzaniu pacjentami. Kluczową zaletą wykrywania opartego na RFID w porównaniu z innymi podejściami do czujników bezprzewodowych jest to, że dzięki tagom pasywnym, wykrywanie bezprzewodowe można osiągnąć przy użyciu wdrożeń bez baterii, co czyni je idealnymi do wbudowanych aplikacji IoT, w których czujniki nie mogą być okresowo pobierane w celu wymiany baterii. Funkcjonalność wykrywania może być włączona do znacznika RFID poprzez wykorzystanie pewnych właściwości anteny znacznika lub chipa, takich jak kierunkowość lub impedancja anteny. Jest to możliwe, ponieważ każda zmiana środowiska w obszarze bliskiego pola znacznika zmienia właściwości elektryczne znacznika. Z drugiej strony możliwe jest podłączenie zewnętrznych czujników do obwodu znacznika RFID. Na przykład znacznik RFID oparty na pasywnej powierzchniowej fali akustycznej (SAW) zazwyczaj składa się z obszaru kodowania i przetwornika międzycyfrowego (IDT) połączonego z anteną. IDT przekształca odebrane sygnały czytnika w powierzchniową falę akustyczną, która jest kodowana zgodnie z konfiguracją obszaru kodowania i odbijana z powrotem po przekształceniu na sygnał elektryczny przez IDT. Bezpośrednie podłączenie czujnika jako zewnętrznego obciążenia do IDT zmienia charakterystykę odbicia znacznika zgodnie z sygnałem pomiarowym czujnika, tak że sygnał odbity z powrotem do czytnika zawiera dane czujnika. Jednak przy implementacjach tagów CMOS RFID konieczne jest zaprojektowanie obwodów interfejsu w celu podłączenia zewnętrznego czujnika do elektroniki tagu. Włączenie zewnętrznych modułów czujników niezmiennie zwiększa złożoność i zapotrzebowanie na energię wdrożeń tagów RFID. Należy wprowadzić innowacyjne schematy, aby uprościć działanie czujnika tagów, a także zminimalizować zużycie energii. Na przykład odczyt z rezystancyjnego czujnika temperatury można uzyskać śledząc nieliniową charakterystykę prostownika znacznika, gdy jest on obciążony przez czujnik. Takie podejście pozwala uniknąć konieczności osadzenia dodatkowej aktywnej elektroniki w czujniku w celu jego odczytu. Opracowano również wielosensorowe platformy tagów RFID z dodatkowymi możliwościami obliczeniowymi. W ramach niedawnego projektu komunikacja bliskiego pola (NFC) została połączona z bezprzewodową platformą identyfikacji i wykrywania (WISP), aby zapewnić platformę wykrywania bliskiego pola RFID. Ta programowalna platforma wykrywająca i obliczeniowa może być odpytywana przez czytniki RFID i smartfony z obsługą NFC. Innym przykładem platformy wielosensorowych tagów RFID jest rozszerzony moduł RFID do inteligentnego wykrywania środowiska (RAMSES). RAMSES zbiera energię o częstotliwości radiowej, aby zasilać obwody, które wykonują wykrywanie środowiska, obliczenia i przesyłanie danych. RAMSES przedstawia ulepszenie w stosunku do WISP, który był jedną z pierwszych platform wielosensorowych UHF-RFID. Niedawno opracowano samozasilający się rozszerzony tag RFID

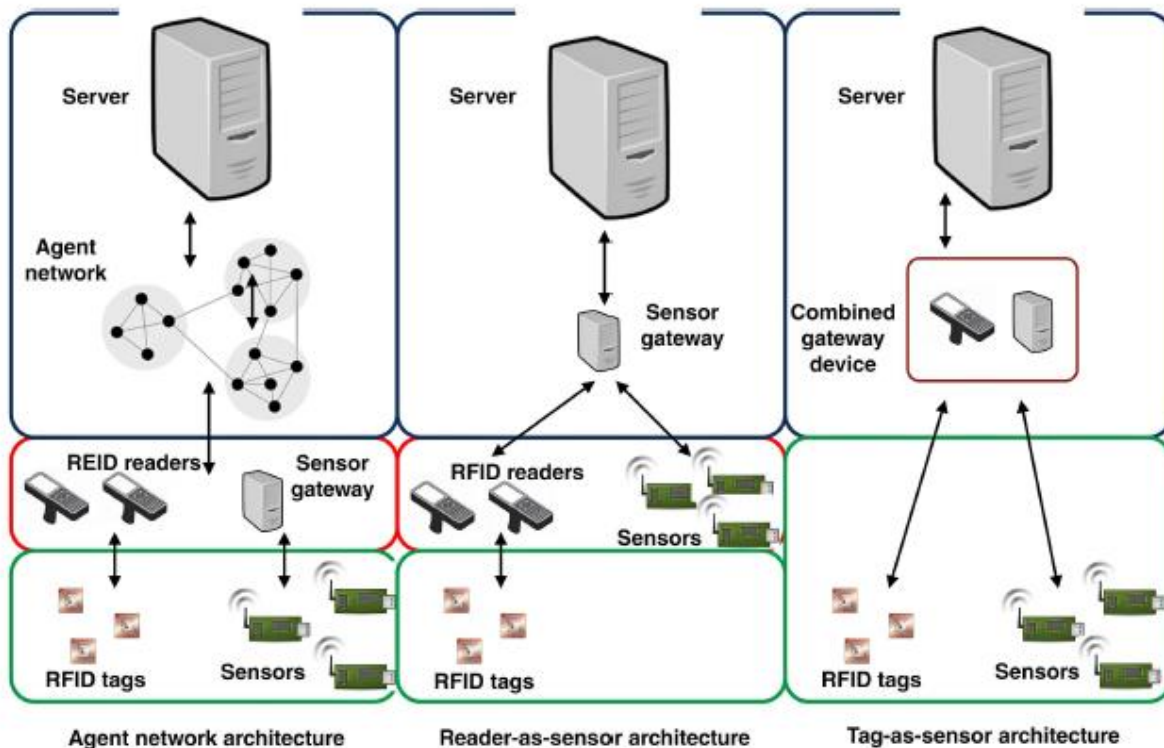
do autonomicznych obliczeń i wszechobecnego wykrywania (SPARTACUS), który łączy funkcje wykrywania, obliczeń i komunikacji.

Lokalizacja czujnika RFID

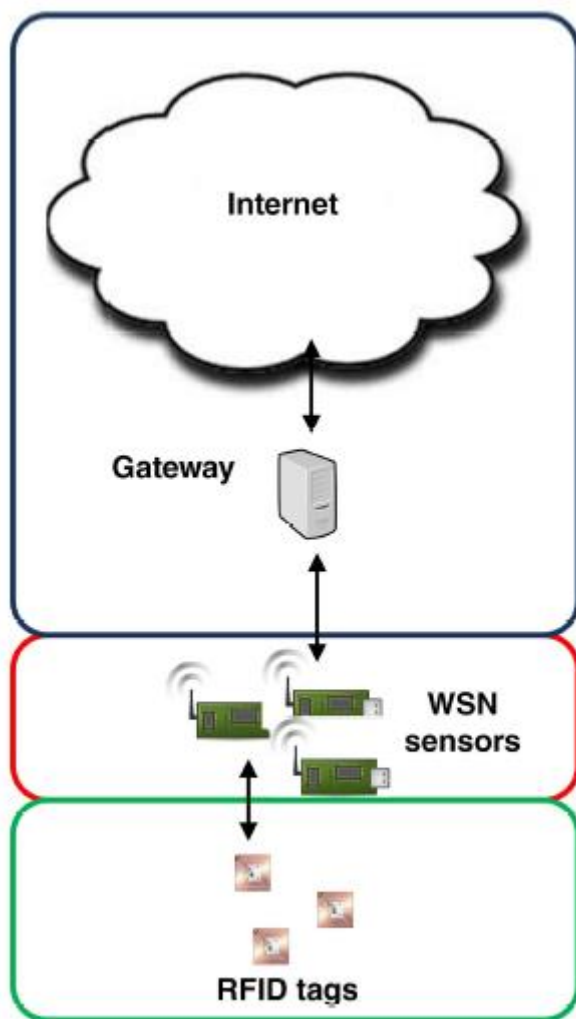
Informacje wydobywane na temat obiektów i ich otoczenia za pomocą czujników opartych na RFID są przydatne w IoT tylko wtedy, gdy znane są lokalizacje wykrytych procesów i zdarzeń. W związku z tym niezwykle ważne jest określenie w czasie rzeczywistym położenia obiektu IoT. W zarządzaniu łańcuchem dostaw lokalizacja jest podstawową informacją wymaganą na temat śledzonych zasobów. Ogólnie rzecz biorąc, technologie lokalizacji RFID można podzielić na podejścia oparte na znacznikach, oparte na czytnikach, bez transceiverów lub hybrydowe. W podejściu opartym na znacznikach, śledzony element musi nosić znacznik, który okresowo przesyła sygnały nawigacyjne. W schematach opartych na czytnikach czytniki są dołączane do śledzonych obiektów w celu zbierania informacji o lokalizacji z pobliskich znaczników. W podejściach bez nadajników-odbiorników, śledzenie obiektów jest osiągnięte bez potrzeby stosowania czytnika lub znacznika w śledzonym elemencie. Opierają się one raczej na obserwacjach zakłóceń sygnałów bezprzewodowych spowodowanych ruchem śledzonego obiektu. Jedną z technik hybrydowej lokalizacji RFID polega na wykorzystaniu bogatszej dwukierunkowej łączności zapewnianej przez tradycyjne sieci czujników bezprzewodowych (WSN) w celu rozszerzenia implementacji lokalizacji RFID. Przykładem takiego podejścia jest COCKTAIL, który jest wdrażany przez połączenie bardzo rzadkiego rozmieszczenia motek WSN z gęstszym rozmieszczeniem znaczników RFID na danym obszarze. Aby uzyskać położenie przestrzenne zamierzonego tagu, moty WSN najpierw segregują klaster referencyjnych tagów RFID najbliższych tagu docelowego. Ostateczna lokalizacja znacznika docelowego jest następnie wykonywana przez ten klaster znaczników referencyjnych.

Podłączanie czujników RFID do Internetu

Włączenie funkcji czujników do implementacji RFID otwiera możliwości wszechobecnego, taniego gromadzenia i przetwarzania danych. Czujniki RFID można łączyć w sieci, aby zapewnić możliwość pozyskiwania wykrytych informacji na duże odległości. Ma to znaczący wpływ na dostępność usług społecznych i ogólnie jakość życia. Na przykład w wirtualnej opiece zdrowotnej pacjenci mogą być pod obserwacją medyczną niezależnie od ich fizycznej lokalizacji. Docelowo dane uzyskane przez RFID powinny być dostępne w dowolnym miejscu i czasie. Ta wizja zakłada wdrożenie IoT na skalę globalną, w przeciwieństwie do lokalnych realizacji. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest integracja czujników RFID z platformami WSN. Argument przemawiający za tą integracją opiera się na wykorzystaniu zalet sieci WSN, takich jak zwiększony zasięg dzięki wykorzystaniu łączy wieloskokowych, działanie bez linii wzroku, niezawodna komunikacja nawet w przypadku awarii węzła i tak dalej. Niektóre topologie sieciowe do integracji platform RFID i WSN obejmują topologię sieci agentów, topologię czytnika jako czujnika i topologię znacznika jako czujnika. Jak pokazano na rysunku, topologia sieci agentów to taka, w której łączy RFID i sieci WSN działają logicznie w tej samej warstwie systemu, ale nie są ze sobą bezpośrednio połączone.



Sieć agentów działa raczej jako szkielet, łącząc obie sieci z serwerami centralnymi. W topologii czytnika jako czujnika czytnik RFID znajduje się w tej samej warstwie systemowej, co WSN motes. W konsekwencji, urządzenie bramy czujnika łączące punkty WSN z serwerem centralnym działa również jako urządzenie bramy łączące czytniki z serwerem centralnym. Wszystkie informacje z tagów RFID wysyłane do czytnika RFID są przesyłane do centralnego serwera przez bramkę czujnika. Konceptyjnie urządzenie bramy czujnika traktuje wszystkie przychodzące dane jako dane wejściowe czujnika, niezależnie od tego, czy zostały wysłane przez moduły WSN, czy czytniki RFID. Z drugiej strony, topologia znacznika jako czujnika traktuje znaczniki RFID i czujniki WSN jako należące do tej samej warstwy systemu. Powyżej tej warstwy znajduje się warstwa, w której czytniki RFID i bramy czujników działają jako połączone urządzenia bramkowe, łącząc tagi i moty z centralnymi serwerami. Alternatywnie węzły WSN mogą być wykorzystywane jako łącze między czujnikami RFID a bramkami internetowymi. W tej roli węzły WSN działają jak routery danych, które przekazują wykryte informacje pochodzące z czujników RFID przez łącza wieloskokowe do bramek. W tym schemacie czytniki RFID nie są wymagane, ponieważ tagi RFID komunikują się bezpośrednio z czujnikami WSN. W związku z tym czujniki RFID mogą być postrzegane jako urządzenia sieciowe najniższego poziomu w hierarchii, jak pokazano na rysunku .



Powodem eliminacji czytników RFID z systemu jest fakt, że są one stosunkowo droższe i bardziej masywne niż czujniki WSN. Bezpośrednia komunikacja tagów RFID z czujnikami WSN wymaga protokołu do obsługi komunikacji między urządzeniami. Oznacza to, że transmisja sygnału z tagów do czujników musi odbywać się z ustaloną częstotliwością i schematem modulacji oraz z odpowiednią enkapsulacją danych. Korzystając z prostego, zastrzeżonego protokołu, koncepcja ta została zademonstrowana w prototypowym znaczniku UHF zasilanym energią słoneczną, który komunikuje się z węzłami WSN w aplikacji lokalizacyjnej. Połączenie takich realizacji RFID-WSN IoT z Internetem wymaga jednak dwukierunkowej translacji adresów i poleceń na bramie internetowej. Aby w pełni wykorzystać wewnętrzne możliwości Internetu, inteligentne urządzenia muszą zapewniać jakąś formę wsparcia dla integracji z Internetem. Protokół 6LoWPAN umożliwia kompresję adresów IPv6 do kilku bajtów, umożliwiając w ten sposób natywną obsługę protokołu IPv6 na urządzeniu o ograniczonych zasobach. Przykładem takiego podejścia jest platforma czujników montowanych na butach z obsługą protokołu IPv6, która została opracowana do monitorowania stanu zdrowia. Dzięki włączeniu obsługi protokołu IPv6 czujnik montowany na butach może łączyć się z dowolną istniejącą infrastrukturą sieci IP bez bramek translacyjnych lub serwerów proxy, a jednocześnie zezwalać na routing lub sieci mesh w domenach bezprzewodowej sieci osobistej (WPAN).

Pojawiające się problemy

Włączenie RFID do IoT bez wątpienia zapewnia wiele nowych możliwości. Jednak perspektywy te niosą ze sobą kilka wyzwań technicznych, zwłaszcza w odniesieniu do nowych luk w zabezpieczeniach. Każdy podłączony węzeł końcowy IoT - urządzenia RFID, moduły WSN, bramy czujników itd. - stanowi potencjalną lukę bezpieczeństwa w infrastrukturze IoT. Kwestie bezpieczeństwa IoT graniczą z poufnością danych, prywatnością i zaufaniem. Podczas opracowywania standardów dla RFID wprowadzono zabezpieczenia mające na celu poufność danych i uwierzytelnianie czytnika-znacznika. Metody zapewniające poufność danych w schematach RFID obejmują między innymi wykorzystanie zakłóceń sygnału, analizę energii anteny, szyfrowanie. Z poufnością danych wiąże się kwestia poufności lokalizacji, w której konieczne jest zapobieganie nieautoryzowanemu śledzeniu lokalizacji znacznika. Z drugiej strony uwierzytelnianie czytnika-tagu jest kwestią zarządzania zaufaniem. Biorąc pod uwagę ograniczone zasoby tagów RFID, konieczne jest opracowanie lekkich algorytmów zarządzania zaufaniem, aby zapewnić prywatność danych i lokalizacji. Implementacje WSN są również podatne na zagrożenia bezpieczeństwa graniczące z prywatnością, uwierzytelnianiem i dostępnością. W przeciwieństwie do systemów RFID zagrożenia dla prywatności WSN mogą mieć charakter wewnętrzny, to znaczy podmiot pozyskujący więcej informacji niż powinien. Ponadto należy chronić się przed fałszywymi węzłami sieci, fałszywymi trasami i fałszywymi lokalizacjami. Sygnały zakłócające to jeden z najczęstszych ataków na dostępność sieci WSN. Integracja RFID i WSN w celu realizacji IoT rozszerza wyzwania bezpieczeństwa obu technologii. Jest to szczególnie ważne, biorąc pod uwagę fakt, że takie zintegrowane sieci obsługują dane heterogeniczne. Prywatność, poufność danych i zaufanie muszą być zapewnione w całej zintegrowanej sieci. Komunikacja typu end-to-end między urządzeniami wieloprotokołowymi w takich zintegrowanych sieciach musi być bezpieczna, a autentyczność i integralność tych urządzeń musi być zapewniona. Niski koszt wdrożenia tagów czujnikowych RFID stanowi impuls do masowego wdrażania tych urządzeń w różnych środowiskach czujnikowych. Pojawia się jednak pytanie, jak zapobiegać zanieczyszczeniu środowiska przez te urządzenia. Aby rozwiązać ten problem, wdrożone urządzenia RFID można sklasyfikować jako lokalizowalne lub niezlokalizowane. Zlokalizowane urządzenia powinny nadawać się do recyklingu po zakończeniu ich eksploatacji. Urządzenia nienadające się do zlokalizowania, których nie można odzyskać po rozproszeniu w środowisku, muszą być wykonane z materiałów, które ulegają biodegradacji wkrótce po upływie okresu eksploatacji urządzeń. W związku z tym urządzenia RFID w IoT muszą podlegać ograniczeniom przyjazności dla środowiska, a mianowicie możliwości recyklingu urządzeń lokalizowalnych i biodegradowalności urządzeń niemożliwych do zlokalizowania. Obecnie istnieje duże zainteresowanie wykorzystaniem materiałów organicznych do wdrażania sprzętu RFID. Niektóre przykłady obejmują tagi RFID zbudowane przy użyciu tranzystorów organicznych, organiczne podwajacze częstotliwości do bezchipowych tagów RFID, zastosowanie mikroprzepływów w organicznych antenach UHF-RFID, tagi tekstylne i anteny drukowane atramentowo na podłożach papierowych. Czujniki będą coraz częściej stosowane w scenariuszach, dla których należy szukać alternatywnych rozwiązań zasilania. Rzeczywiście, przy wdrożeniu czujników na miliardach urządzeń praktycznie niemożliwe jest podłączenie wszystkich tych urządzeń do sieci. Zwłaszcza w przypadku wdrożeń czujników niemożliwych do zlokalizowania rozwiązania zasilane bateryjnie mogą nie być najlepszą opcją, ponieważ tych urządzeń nie można odzyskać, gdy baterie się wyczerpią. Jest to jedna z głównych zalet pasywnej technologii RFID nad innymi propozycjami wdrożeń czujników IoT, ponieważ moc działania tagów pochodzi z transmisji czytnika. Jednak włączenie elektroniki czujnika zwiększa zapotrzebowanie na energię takich znaczników. Czytniki UHF-RFID są oparte na metodach transmisji RF, w których gęstość mocy promieniowania z anteny czytnika jest zgodna z prawem odwrotności kwadratu. Moc dostępna na znaczniku jest zatem znacznie niższa niż ta, która została przesłana. Chociaż indukcyjne łącza RFID mogą być postrzegane jako bezprzewodowe łącza przesyłania mocy, konwencjonalnie łącza te przeliczają wydajność energetyczną na odległość roboczą. W związku z tym konieczne jest, aby łącza

RFID znalazły optymalny kompromis między zasięgiem operacyjnym a wydajnością energetyczną w celu obsługi rozszerzonej funkcjonalności.

Podsumowanie

Jedną z kluczowych cech IoT jest osadzenie inteligencji w obiektach, co umożliwia im pozyskiwanie danych kontekstowych o ich środowiskach i przesyłanie takich danych bez interwencji człowieka. Niski koszt, niska złożoność i funkcje automatycznej identyfikacji technologii RFID sprawiają, że jest ona atrakcyjna jako sposób pozyskiwania danych w IoT. W tej części przedstawiono krótki przegląd technologii RFID i podkreślono jej rolę w akwizycji danych w IoT. Chociaż obecnie najbardziej rozpowszechnionym zastosowaniem jest możliwość zastąpienia kodów kreskowych, wykrywanie środowiska będzie prawdopodobnie najważniejszym zastosowaniem RFID w IoT. Integracja RFID z WSN jest ważnym krokiem w kierunku realizacji wszechobecnego wykrywania, ponieważ zapewnia środki do połączenia infrastruktury RFID z Internetem. Pełna integracja z Internetem może być zapewniona poprzez połączenie między tagami RFID a adresowaniem IPv6. Jednak te rozszerzenia funkcjonalności RFID stawiają nowe wyzwania w zakresie bezpieczeństwa, przyjazności dla środowiska i zużycia energii, z którymi należy się zmierzyć, aby zrealizować wizję Internetu Rzeczy na skalę globalną.