

Przetwarzanie w chmurze i mgłe w Internecie rzeczy

Wstęp

W przeciwieństwie do klasycznych bezprzewodowych sieci czujników (WSN), które zwykle obsługują tylko jedną aplikację, jedną z głównych korzyści przejścia na Internet Rzeczy jest powszechne wykorzystanie sprzętu czujnikowego przez aplikacje heterogeniczne. Co więcej, rewolucja IoT nie wynika wyłącznie z liczby połączonych rzeczy, ale z rozwiązań i usług oferowanych poza danymi. Podstawowe wymagania takich usług o wartości dodanej można pokrótce podsumować jako trwałe przechowywanie historycznych danych z czujników, przetwarzanie danych z czujników i wydajną dystrybucję danych z czujników w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Jednak chociaż przedmioty codziennego użytku są coraz częściej połączone z Internetem i stają się coraz potężniejsze, zwykle nie są w stanie same spełnić wszystkich tych wymagań. Jednym z głównych wyzwań jest to, że powszechnie używane urządzenia, takie jak węzły czujników, smartfony i urządzenia do noszenia na ciele, zwykle działają na zasilaniu bateryjnym, co uniemożliwia przechowywanie lub złożone przetwarzanie dużej ilości danych. Obiekty podłączone do sieci mogą być również często zbyt ograniczone, aby wykonywać te zadania tak niezawodnie i szybko, jak jest to wymagane. Ostatnie postępy w przetwarzaniu w chmurze doprowadziły do rosnącego wykorzystania tego modelu w celu spełnienia wyżej wymienionych wymagań i umożliwienia usług o wartości dodanej w kontekście IoT. Przetwarzanie w chmurze oferuje wygodny, wszechobecny i na żądanie dostęp do współdzielonej puli konfigurowalnych zasobów obliczeniowych, które są dostępne przez Internet i zwykle znajdują się w centrach danych innych firm. Wraz z tymi zasobami dostawcy usług w chmurze oferują szybką i konfigurowalną sieć do dystrybucji danych oraz niezawodną, nieulotną, replikowaną pamięć masową. Dzięki swojej elastyczności, niezawodności i modelowi kosztów opartemu na użytkowaniu chmura obliczeniowa jest dobrze przygotowana do spełniania specyficznych wymagań usług o wartości dodanej w kontekście IoT. Urządzenia ograniczające mogą oszczędzać energię, przesyłając swoje dane na platformę w chmurze, gdzie będą one dystrybuowane do wielu odpowiednich aplikacji i usług, które będą odpowiednio przetwarzać dane. Chociaż ta architektura działa dziś dobrze, nie jest odpowiednia dla aplikacji wrażliwych na opóźnienia, ponieważ centra danych w chmurze nie są kolokowane ani z połączonymi obiektami, ani z konsumentami usług o wartości dodanej. Z widoku topologii sieci centra danych w chmurze znajdują się kilka przeskoków od producentów i konsumentów danych IoT i są najczęściej oddzielone ograniczonym łączem ostatniej mili. Sama odległość fizyczna powoduje dodatkowe opóźnienia, które mogą nie być akceptowalne dla aplikacji wrażliwych na opóźnienia, takich jak pętle sterowania. Dlatego zamiast wymuszać całą komunikację IoT za pośrednictwem pośrednika w chmurze, pojawił się nacisk na przeniesienie przechowywania, przetwarzania i dystrybucji danych bliżej krawędzi sieci, w kierunku producentów danych i konsumentów. Jednym z tych pojęć jest mgła obliczeniowa, która jest postrzegana jako rozszerzenie przetwarzania w chmurze, ale umożliwia usługi bliżej krawędzi sieci. Podczas gdy paradygmaty mgły i przetwarzania w chmurze mają wiele wspólnych mechanizmów, przetwarzanie mgły dotyczy głównie aplikacji i usług, które nie byłyby możliwe w chmurze. Jednym z powodów byłaby eliminacja wąskich gardeł przepustowości i poprawa opóźnień dla lokalnych pętli sterowania powszechnie spotykanych w kontekście IoT. Aby to osiągnąć, przetwarzanie we mgle wykorzystuje moc obliczeniową, która jest obecnie dostępna lokalnie, na przykład na sprzęcie sieciowym lub lokalnych węzłach bram, telefonach komórkowych lub dodatkowym sprzęcie, który musiałby zostać wdrożony w przyszłości między użytkownikiem a chmurą. Ta część zawiera wprowadzenie do koncepcji przetwarzania w chmurze i mgły w kontekście IoT. W przypadku obu podejść przedstawiono zalety i wyzwania. Ponadto przedstawiono konkretne przypadki użycia IoT, które korzystają odpowiednio z przetwarzania w chmurze i mgły. Ponieważ obliczanie mgły jest dość nowym modelem, przegląd obejmuje również potencjalne przyszłe przypadki użycia, które nie zostały jeszcze w pełni zrealizowane.

Wymagania systemowe IoT

Głównym problemem podczas analizy przetwarzania w chmurze i mgły jest faktyczna rola, jaką te technologie mają odgrywać w systemach IoT. Jak omówiono w części 1, podstawowy architektoniczny model referencyjny składa się z trzech warstw: warstwy urządzenia, warstwy łączności i warstwy aplikacji. Ogólnie rzecz biorąc, technologia chmury i mgły będzie wykorzystywana do realizacji warstwy łączności poprzez przekazywanie danych urządzenia i włączanie usług o wartości dodanej w warstwie aplikacji. W szczególności ten rozdział określa następujące podstawowe funkcje, jakie musi zapewnić backend chmury lub mgły dla systemów IoT:

1) Dystrybucja danych. Środowiska IoT będą generować ogromne ilości danych, które mogą być przydatne na wiele sposobów. Pierwszym wymogiem jest zapewnienie wszechobecnego dostępu do danych w czasie rzeczywistym dla różnych dostawców poprzez dystrybucję ich ze źródeł danych (np. czujników, urządzeń do noszenia i smartfonów) do konsumentów (np. siłowników, usług o wartości dodanej i aplikacji). Ogromna różnorodność sprzętu i oprogramowania podkreśla potrzebę zunifikowanego oprogramowania pośredniczącego do przesyłania wiadomości, łączącego źródła danych z konsumentami poprzez zapewnienie jednolitych i ustandaryzowanych interfejsów API.

2) Skalowalna pamięć masowa. Wartość ogromnej ilości danych dostępnych z różnych rzeczy może nie być bezpośrednio widoczna podczas zbierania, ale dane mogą dostarczyć bardzo cennych informacji w przyszłości. Dlatego w wielu przypadkach użycia skalowalne przechowywanie i wszechobecny dostęp do danych historycznych będzie cenną funkcją.

3) Usługi przetwarzania. Jak wspomniano w części 1, analityka i przetwarzanie dużych zbiorów danych stają się coraz bardziej istotne dla ekosystemu IoT. Same surowe dane IoT nie mają dużej wartości, ale usługi o wartości dodanej mogą wykorzystywać analitykę, a także agregację i korelację czasową i przestrzenną, aby zapewnić dalsze ważne informacje.

Oprócz tych podstawowych usług istnieją dodatkowe cechy wysokiego poziomu narzucone przez konkretny przypadek użycia IoT:

1) Elastyczna samoorganizacja. Jak stwierdzono w rozdziale 1, IoT musi być samoorganizujący się. Chociaż rzeczy mają być jednoznacznie identyfikowalne, nowi producenci danych mogą w dowolnym momencie dołączyć do systemu lub go opuścić, więc musi on umożliwiać odkrycie odpowiednich źródeł danych i usług z niejednorodnej i ciągle zmieniającej się mieszanki. Z drugiej strony system musi być w stanie automatycznie dostosowywać się do zmieniających się potrzeb odbiorców danych.

2) Niezawodność. W zależności od konkretnego przypadku użycia należy przestrzegać rygorystycznych wymagań dotyczących niezawodności i jakości usług, takich jak niskie opóźnienia i niezawodne dostarczanie danych od końca do końca.

3) Skalowalność. Ze względu na dużą liczbę podłączanych rzeczy, a także oczekiwanych odbiorców danych, system musi być skalowalny, czyli powinien zapewniać odpowiednie usługi podstawowe niezależnie od liczby podłączonych urządzeń, usług i odbiorców.

4) Poufność i bezpieczeństwo danych. Dane urządzenia lub uzyskane wglądy mogą być wrażliwe, być może również nie mogą być udostępniane niektórym podmiotom lub nie mogą być przekazywane lub przechowywane w innych obszarach prawnych. System IoT musi obsługiwać te wymagania i zapewniać, że do danych nie będą miały dostępu podmioty z ograniczeniami.

Wyżej wymienione wymagania motywują wykorzystanie chmury i mgły obliczeniowej do umożliwienia wizji IoT. Rozdział kontynuuje, przedstawiając krótkie wprowadzenie do przetwarzania w chmurze i jego wykorzystania w systemach IoT; następnie zajmuje się obliczeniami mgły i ich integracją z nowoczesnymi systemami IoT.

Przetwarzanie w chmurze w IoT

Przetwarzanie w chmurze odnosi się zarówno do podzbioru aplikacji dostarczanych jako usługi przez Internet, jak i do podstawowych systemów sprzętu i oprogramowania w centrach danych, które świadczą te usługi. Przetwarzanie w chmurze dzieli się zwykle na infrastrukturę jako usługę (IaaS), platformę jako usługę (PaaS) i oprogramowanie jako usługę (SaaS). IaaS opisuje model biznesowy, w którym nie jest oferowane kompletne rozwiązanie, a jedynie sprzęt niezbędny do wdrożenia konkretnych aplikacji. Z kolei PaaS umożliwia programistom tworzenie i uruchamianie aplikacji w zarządzanej infrastrukturze przy użyciu dobrze zdefiniowanych interfejsów. W tym celu dostawcy PaaS zazwyczaj utrzymują środowiska programistyczne w postaci frameworków. SaaS to model, w którym aplikacja nie jest już sprzedawana klientowi za jednorazową opłatą, ale jest świadczona jako usługa za opłatą cykliczną. W tym modelu infrastruktura i platforma są również w pełni zarządzane przez dostawcę usług. Przetwarzanie w chmurze może pomóc w realizacji systemów IoT, które spełniają większość wymagań wymienionych w poprzedniej sekcji. Rzeczywiście, podejście polegające na wysyłaniu danych z urządzeń do usługi opartej na chmurze w celu przesyłania wiadomości i przetwarzania jest szeroko stosowane przez programistów. Ponadto rozwiązania do wielu typowych zadań są już oferowane jako usługi hostowane od dostawców chmury, w tym przechowywanie, przesyłanie wiadomości i przetwarzanie. Na przykład istnieją dostawcy PaaS specjalnie dla systemów IoT, tacy jak Amazon IoT, którzy oferują tak zwaną bramę urządzeń na potrzeby przesyłania wiadomości IoT, silnik reguł do przetwarzania danych oraz zaplecze bazy danych (Dynamo DB) do przechowywania i wykonywania zapytań. Inni dostawcy, tacy jak Microsoft, IBM i Xively, również oferują podobne usługi. W ekosystemie IoT są też dostawcy SaaS, którzy oferują gotowe usługi do określonych celów, takie jak inteligentne ogrzewanie czy automatyka budynków. Przykładami są Nest1 i Tado2, które sprzedają inteligentne termostaty dla użytkowników domowych, dążąc do obniżenia kosztów ogrzewania użytkowników. Większość dostawców usług IoT korzysta z architektury trójwarstwowej. Typowe rozwiązanie IoT oparte na chmurze charakteryzuje się wieloma urządzeniami końcowymi wytwarzającymi dane, które zwykle wykorzystują węzły bramy do komunikacji z siecią rozległą, zwykle z publicznym Internetem. Magazynowanie, przesyłanie wiadomości i przetwarzanie, które są kluczowe dla aplikacji IoT, są oferowane jako usługi w chmurze. Zazwyczaj połączone rzeczy same w sobie są poważnie ograniczone i łączą się z bramą, która jest połączona z Internetem. Najczęściej jednak łącze to wykorzystuje stosunkowo powolną technologię ostatniej mili, taką jak DSL (cyfrowa linia abonencka) 3G/4G, co sprawia, że jest wąskim gardłem między urządzeniami a chmurą pod względem opóźnień i przepustowości. Jeśli chodzi o skalę, ponieważ dostępnych jest więcej zasobów, liczba obsługiwanych usług oraz potencjalna liczba i przestrzenne rozmieszczenie producentów i konsumentów danych rośnie w kierunku chmury. Jednak opóźnienie między urządzeniami końcowymi a węzłami pamięci masowej i usług również wzrasta w górę. Warstwa kolejki i przesyłania wiadomości często wykorzystuje oparty na zdarzeniach system publikowania/subskrypcji w podejściu IoT opartym na chmurze. W efekcie producenci i konsumenci danych są luźno powiązani w przestrzeni (nie muszą się znać), czasie (nie muszą być dostępni w tym samym czasie) oraz w synchronizacji (asynchroniczne, nieblokujące przesyłanie wiadomości, czyli dzwonienie). aplikacje nie muszą czekać na zakończenie połączenia przez system).

Zalety korzystania z chmury dla IoT

Przetwarzanie w chmurze oferuje środki umożliwiające spełnienie niektórych wymagań systemów IoT opisanych powyżej.

1) Elastyczność. Instancje w chmurze są zwykle oparte na zwirtualizowanym sprzęcie fizycznym w centrach danych. Zasoby są łączone i mogą być używane na żądanie, często w modelu cenowym z płatnością zgodnie z rzeczywistym użyciem, w którym rozliczane są tylko zasoby faktycznie wykorzystane. Umożliwia to udostępnianie zasobów na żądanie, odpowiadające stale zmieniającym się wymaganiom aplikacji IoT.

2) Niezawodność. Nadmiarowość wewnątrz i między centrami danych może być wykorzystana do tworzenia skalowalnych i niezawodnych usług, takich jak rozproszona obiektowa pamięć masowa. Podstawowe usługi dystrybucji, przechowywania i przetwarzania można łatwo zrealizować przy użyciu infrastruktury opartej na chmurze.

3) Szybki wszechobecny dostęp. Centra danych w chmurze są dobrze połączone za pomocą zarówno prywatnego połączenia równorzędnego, jak i wielu dostawców tranzytu łącza uplink. Umożliwia to wszechobecny i szybki dostęp do usług z dowolnego miejsca przez Internet.

4) Szybki czas na rynek. Dostawcy usług w chmurze zazwyczaj oferują łatwo dostępne komponenty oprogramowania do wykorzystania przy opracowywaniu niestandardowych rozwiązań, do których można uzyskać dostęp za pośrednictwem dobrze zdefiniowanych interfejsów API. Niektórzy dostawcy kierują się konkretnie na przypadki użycia IoT. Skraca to zarówno czas wprowadzania aplikacji na rynek, jak i koszty rozwoju.

Przykłady IoT w chmurze

Aby jeszcze bardziej podkreślić wpływ przetwarzania w chmurze na obecny ekosystem IoT, rozdział kontynuuje przegląd ostatnich przypadków użycia, w których zaproponowano zastosowanie paradygmatu IoT opartego na chmurze. Poniższe przykłady opierają się na taksonomii domen IoT, która została wprowadzona w Części 1, a mianowicie domen przemysłowych, inteligentnych miast i opieki zdrowotnej.

Domena przemysłowa

Połączenie IoT i przetwarzania w chmurze umożliwia kilka innowacyjnych przypadków użycia w domenie przemysłowej. Inteligentne przemysłowe systemy IoT umożliwiają monitorowanie zakładów przemysłowych nie tylko w celu poprawy wydajności, ale także bezpieczeństwa, zwłaszcza w przypadku wysokiego ryzyka środowiskowego. Podejście to zostało na przykład wykorzystane w systemie monitorowania i alarmu wstępnego do śledzenia awarii tamy odpadów poflotacyjnych w przemyśle wydobywczym. System oferuje monitorowanie w czasie rzeczywistym stanu nasycenia, poziomu wody i deformacji zapory. Dane zbierane są przez lokalną sieć czujników i przetwarzane w chmurze. Wyniki są przekazywane do osobistych asystentów cyfrowych (PDA) i innych urządzeń klienckich. Od tego czasu system został zastosowany i okazał się przydatny w kilku kopalniach. Połączenie IoT i przetwarzania w chmurze może umożliwić zaawansowane rozwiązania również w branży transportowej. Czujniki w pojazdach mogą monitorować różne aspekty związane z efektywnością transportu: ciśnienie w oponach, zużycie paliwa, lokalizację, prędkość.

Inteligentne miasta

IoT wraz z analizą opartą na chmurze może potencjalnie podnieść jakość codziennego życia w mieście. Szczególny nacisk kładzie się na wydajniejsze i bardziej przyjazne dla środowiska wykorzystanie energii, transport, ochronę środowiska i urbanistykę. Efektywne zarządzanie odnawialnymi źródłami energii

jest podstawowym elementem budulcowym dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju w środowiskach miejskich. Przyszła inteligentna sieć przekształci infrastrukturę dystrybucji energii elektrycznej w inteligentny wielokierunkowy system, który umożliwi zdecentralizowane wytwarzanie energii i przejrzystość w czasie rzeczywistym dla producentów i konsumentów. Obszary zastosowań obejmują reagowanie na zapotrzebowanie i prognozowanie, dynamiczne ustalanie cen, zarządzanie mikrosieciami i monitorowanie w czasie rzeczywistym. Jednym z zastosowań przetwarzania w chmurze w tym kontekście jest wykorzystanie łatwo dostępnej pamięci masowej w chmurze dla danych z inteligentnych liczników i innych powiązanych czujników. Przechowywanie w chmurze umożliwia nie tylko przechowywanie niezbędnych danych, ale także łatwy dostęp i środki na dodatkowe analizy. Ponadto zapewnia wysoką odporność na błędy dzięki nadmiarowości i może wykorzystywać wersjonowane kopie w celu zapewnienia przezroczystości i przywracania. Połączenie przetwarzania w chmurze, IoT i wykrywania tłumów może być dalej wykorzystywane do ochrony środowiska i podnoszenia świadomości na temat nieodłącznych problemów, takich jak jakość powietrza. Na przykład aplikacja do wykrywania tłumów może być wykorzystywana do monitorowania jakości powietrza w miastach za pomocą czujników noszonych przez mieszkańców miasta. Zebrane dane przesyłane są do serwerów w chmurze, które odfiltrują zbędne lub niepotrzebne dane. Ten konkretny system dodatkowo zapewnia spersonalizowane powiadomienia w czasie rzeczywistym o jakości powietrza dla użytkowników mobilnych korzystających z Google Cloud Messaging. SmartSantander zapewnia eksperymentalną placówkę badawczą w prawdziwym środowisku miejskim w kontekście inteligentnego miasta. Koncentruje się na części sieci czujników w badaniach nad inteligentnymi miastami i zapewnia wielkoskalowe stanowisko testowe czujników, które pomaga w opracowywaniu rozwiązań do łączenia i zarządzania urządzeniami czujników inteligentnych miast. Aby wspierać aplikacje oprócz danych, zapewniona jest infrastruktura chmury prywatnej.

Zdrowie/dobre samopoczucie

IoT umożliwi zastosowania w domenie inteligentnej opieki zdrowotnej i dobrego samopoczucia, które poprawią komfort zarówno pacjentów, jak i lekarzy. Spektrum użytecznych zastosowań sięga od zdalnego monitorowania stanu zdrowia po zarządzanie zapasami leków. W różnych przypadkach zaproponowano przeniesienie intensywnego przetwarzania na backendy w chmurze. Kluczowym wyzwaniem w przypadku zastosowań związanych ze zdrowiem jest zdalne monitorowanie pacjentów. Pojawiło się wiele propozycji wypełnienia luki między światem fizycznym a oprogramowaniem przy użyciu podejścia opartego na chmurze. Parametry medyczne i funkcje życiowe (np. ciśnienie krwi i tętno) mogą być monitorowane w czasie rzeczywistym i dane gromadzone za pomocą sieci Body Area Networks (BAN), które przekazują dane do bram, a ostatecznie do zaplecza w chmurze. Na przykład dane z elektroencefalogramu (EEG) można zbierać za pomocą podłączonych urządzeń i przysyłać do maszyn wirtualnych w chmurze, które dalej je analizują. Kolejnym ważnym aspektem w tym obszarze jest dobre samopoczucie użytkowników. Inteligentne aplikacje, takie jak urządzenia do monitorowania kondycji, mogą motywować użytkowników do regularnych ćwiczeń, dając pozytywne informacje zwrotne, takie jak liczba kroków przebytych w ciągu dnia. Wiele aplikacji może wykorzystywać wiedzę o nastroju lub odczuciu pacjentów. Wiele odczytów z już wdrożonych czujników można łączyć w celu wykrywania emocji. Na przykład Hossain i in. korzystają z danych dźwiękowych i wizualnych z kamery, która może być dostępna w przyszłych inteligentnych domach, a klaster Hadoop w chmurze i sieć 5G, aby osiągnąć ponad 80% dokładność wykrywania emocji. Pokazują również skrócenie czasu przetwarzania w przypadku korzystania z wielu węzłów klastra w przeciwieństwie do uruchamiania tego samego obciążenia na jednym serwerze. Prezentowane rozwiązanie jest więc przykładem tego, jak zasoby on-demand dostępne w chmurze mogą zostać wykorzystane do przyspieszenia usług przetwarzania związanych z IoT, zwłaszcza w przypadku obciążeń intensywnie przetwarzających dane,

takich jak wideo. Podobne prace dotyczyły metody ekstrakcji cech do rozpoznawania emocji przy użyciu sygnałów ludzkiego mózgu opartych na EEG.

Kluczowe wyzwania IoT opartego na chmurze

Istnieje również kilka konkretnych przypadków użycia, w których przetwarzanie w chmurze nie jest przygotowane do zastosowań IoT. Ograniczenia przetwarzania w chmurze w kontekście IoT można podsumować w następujący sposób:

1) Wysoka lub nieprzewidywalna latencja. Niskie i przewidywalne opóźnienia są podstawowymi wymaganiami dla wielu pętli sterowania, na przykład tych powszechnie występujących w automatyce przemysłowej, ale także w innych zastosowaniach IoT, takich jak automatyka domowa. Ponieważ centra danych w chmurze znajdują się głównie tam, gdzie energia jest niedroga, nie są one zlokalizowane w pobliżu potencjalnych użytkowników IoT, co powoduje nieuniknione opóźnienia w pętlach sterowania, ponieważ fizyczna odległość między użytkownikami a chmurą dyktuje minimalne opóźnienie, które można osiągnąć.

2) Wymagania dotyczące dużej przepustowości łącza uplink. Bramy, które nie mają przepustowości umożliwiającej przesyłanie określonych typów danych z czujników do chmury, nie będą mogły korzystać z opartego na chmurze podejścia do przechowywania i przetwarzania. Na przykład usługa dodana analizy wideo może nie być możliwa jako zdalna usługa oparta na chmurze, ponieważ dane, które mają zostać przesłane, są zbyt duże dla dostępnego łącza. Dotyczy to zwłaszcza obszarów wiejskich lub ustawień mobilnych, takich jak łącze 5G.

3) Brak filtrowania lub agregacji w sieci. Niektóre aplikacje obejmują dużą przestrzeń geograficzną, podczas gdy w rzeczywistości ważna jest tylko łączna wartość czujników. Na przykład, jeśli ważna jest maksymalna temperatura w różnych lokalizacjach, wysyłanie każdego odczytu z czujnika do chmury nie będzie najskuteczniejszym rozwiązaniem. Zamiast tego przetwarzanie w sieci może znacznie zmniejszyć ilość danych, które faktycznie muszą być wysyłane, przetwarzane i przechowywane w chmurze.

4) Wymagane nieprzerwane połączenie internetowe. Niektóre aplikacje, takie jak inteligentne pojazdy połączone, mogą nie mieć przez cały czas połączenia z Internetem, a tym samym z chmurą. Podczas awarii sieci podejście chmurowe przestawało działać i w takich przypadkach lokalne pętle uruchamiania nie działały. Zamiast tego można użyć bardziej lokalnego przetwarzania, aby przynajmniej zapewnić rezerwową usługę tymczasową do czasu przywrócenia łączności sieciowej.

5) Obawy dotyczące prywatności i bezpieczeństwa. Od dostawców chmury zwykle oczekuje się poszanowania prywatności użytkownika i świadczenia wystarczająco bezpiecznych usług. Nie ma jednak łatwego sposobu mierzenia lub monitorowania bezpieczeństwa usług w chmurze, więc ostatecznie tych wymagań nie da się łatwo zweryfikować, a dostawcy trzeba do pewnego stopnia zaufać. Nawet jeśli dostawca jest zaufany, ponieważ zasoby są zwirtualizowane, kontenery różnych dzierżawców znajdują się na tej samej maszynie fizycznej, gdzie błędy oprogramowania mogą potencjalnie ujawnić prywatne dane stronom trzecim. Ponadto przepisy mogą wymagać, aby niektóre dane nie były przechowywane poza określonymi obszarami prawnymi, których w oczywisty sposób nie można zweryfikować u większości dostawców usług w chmurze.

Te ograniczenia nałożone przez wykorzystanie przetwarzania w chmurze motywują potrzebę dodatkowej technologii, która może złagodzić te problemy, szczególnie w krytycznych aplikacjach IoT. Obliczanie mgły, jak zostanie omówione w następnych sekcjach, wydaje się być realną opcją w takim środowisku.

Obliczanie mgły w IoT

Chociaż korzyści płynące z przetwarzania w chmurze w kontekście IoT są powszechnie doceniane przez branżę i środowiska badawcze, pojawiła się krytyka dotycząca przenoszenia wszystkich danych i przetwarzania ich w chmurze. W wielu przypadkach odbiorca danych lub użytkownik powiązanych usług znajduje się w pobliżu producenta danych, ale i tak dane podążają drogą przez chmurę. Jednym z problemów jest niepotrzebne obciążenie dostawców usług internetowych i wprowadzone dodatkowe opóźnienia. Zbędny ruch może spowodować, że udział w sieci będzie kosztowny, a nawet zaporowy w przypadku braku dostępu szerokopasmowego i konieczności wykorzystania alternatywnych technologii, np. komórkowych łącz danych. Dotyczy to zarówno krajów rozwijających się, jak i obszarów wiejskich, na których należy rozmieścić czujniki. Przetwarzanie mgły to termin wymyślony przez Cisco dla koncepcji podobnej do przetwarzania w chmurze, które oferuje wysoce zwirtualizowaną pulę zasobów na obrzeżach sieci. Zapewnia usługi obliczeniowe, pamięci masowej i sieciowe pobliskim użytkownikom końcowym, w przeciwieństwie do chmury, która zwykle znajduje się na obrzeżach sieci. W związku z tym mgła będzie miała specjalne, szeroko rozpowszechnione rozmieszczenie, oprócz dużej niejednorodności urządzeń. Koncepcję mgły można zilustrować jako chmurę przy ziemi lub użytkownika. Tradycyjne sieci dostarczania treści (CDN) mają podobną koncepcję przybliżania danych do użytkownika, co pomaga sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na ruch mediów strumieniowych poprzez umieszczanie danych na obrzeżach sieci. Edge Computing firmy Akamai, IOx firmy Cisco i Intelligent Edge firmy Intel rozszerzają tę koncepcję, przybliżając użytkownikowi usługi podobne do chmury - w szczególności wykonywanie niestandardowych usług o wartości dodanej. Firma Microsoft promowała podobną koncepcję z podejściem do mikrocentrów danych jako mniejszą wersję chmury. Przewidywane mikrocentra danych to samowystarczalne środowiska obliczeniowe z zasobami obliczeniowymi i pamięciowymi, które są połączone z Internetem za pomocą szybkich połączeń. Zasadniczo stosują typowe podejście do chmury, ale wprowadzają sprzęt do obiektu na mniejszą skalę, aby uniknąć niepotrzebnych opóźnień. Klient może hostować dziesiątki serwerów, zakładając, że po połączeniu mają jednocyfrowe terabajty pamięci masowej. Przetwarzanie mgły w znacznym stopniu pokrywa się z przetwarzaniem brzegowym, które jest podobną technologią, która umożliwia przechowywanie i przetwarzanie na brzegu sieci. Społeczność naukowa nie doszła jeszcze do dokładnej definicji obliczeń mgły i szczególnych różnic w stosunku do obliczeń brzegowych. Jednak jedna praca wymienia aplikacje sterowane przez człowieka, takie jak przesyłanie strumieniowe wideo lub przeglądanie stron internetowych, które są zwykle wyzwalone przez ludzką interakcję, jako wskaźnik bardziej tradycyjnego przetwarzania brzegowego, podczas gdy komunikacja maszyna-maszyna, jak widać w IoT, byłaby wskaźnikiem obliczania mgły. Zamiast centralnej warstwy chmury wprowadzono kilka hierarchicznych warstw węzłów mgły, które są coraz bliżej krawędzi sieci. Bramy są teraz postrzegane jako część abstrakcyjnej warstwy mgły. Ponieważ urządzenia te są nadal ograniczone pod względem dostępnej mocy obliczeniowej, zdalna chmura zapewnia możliwości przechowywania i przetwarzania, gdy nie są one wystarczająco dostępne we mgle. Ogólnie rzecz biorąc, instancje mgły będą również dostępne na innym sprzęcie sieciowym, takim jak routery u dostawców usług internetowych, zapewniając środki do analizowania i przetwarzania danych w sieci bliżej użytkownika końcowego niż w scentralizowanej zdalnej chmurze. Potężniejsze węzły mgły mogą również oferować obsługę maszyn wirtualnych. Jednak podczas gdy dostępne zasoby, a tym samym skalowalność, rosną w górę, wzrasta również odległość fizyczna, opóźnienie i koszt komunikacji. Przetwarzanie lokalne na urządzeniach będących bramami jest możliwe dzięki zaawansowanemu sprzętowi IoT, który obejmuje wydajne smartfony i wbudowane komputery jednopłytkowe. Chociaż większość urządzeń IoT jest nadal ograniczona energetycznie, do łączenia się z Internetem będą najczęściej korzystać z bramy. Z drugiej strony bramy te są zwykle zasilane z sieci i wystarczająco wydajne, aby przejąć niektóre zadania, które obecnie świadczą usługi w chmurze, takie jak

przetwarzanie i przechowywanie danych. Sprzęt bramy może być dobrym rozwiązaniem do przetwarzania i przechowywania danych, ponieważ łącze internetowe do Internetu ograniczone opóźnieniami i przepustowością nie musiałyby być w ogóle wykorzystywane w przypadku lokalnych pętli przetwarzania.

Zalety korzystania z mgły w IoT

W tej sekcji podkreślono zalety rozszerzenia chmury obliczeniowej o bliższe krawędzie zasobów obliczeniowych mgły. Istnieje kilka powodów, dla których wykorzystanie mocy obliczeniowej dostępnej na brzegu sieci jest przydatne:

1) Minimalizacja opóźnień. Niektóre przypadki użycia to podstawowa pętla sterowania; oznacza to, że pod pewnym warunkiem uruchamiana jest określona akcja. Te pętle kontrolne są jednak często dość czasochłonne lub użytkownicy oczekują określonej akcji niemal natychmiast. Ponieważ centra danych w chmurze są zwykle wdrażane tam, gdzie ma to sens ekonomicznie, fizyczna odległość między źródłem danych a używaną usługą w chmurze powoduje niepokojące opóźnienia. Analizowanie nieprzetworzonych danych i podejmowanie decyzji lokalnie lub w pobliżu źródła danych może znacznie zmniejszyć opóźnienie tych pętli sterowania, ponieważ nie zostanie nawiązany kontakt ze zdalną usługą w chmurze.

2) Poprawa niezawodności. Wizja Internetu Rzeczy obejmuje wykorzystanie danych z czujników na potrzeby bezpieczeństwa publicznego lub infrastruktury krytycznej. Podczas gdy większość dostawców usług w chmurze dla przedsiębiorstw oferuje bardzo niezawodne centra danych z nadmiarowymi połączeniami sieciowymi, pamięcią masową i infrastrukturą przetwarzania, łącze w górę do odległej chmury może okazać się łatwe do przerwania w takich scenariuszach. Bardzo cenna byłaby możliwość wykonywania przynajmniej części przetwarzania lokalnie jako opcji awaryjnej lub całkowitego wykorzystania wyłącznie przetwarzania lokalnego.

3) Odnoszenie się do obaw dotyczących prywatności. Niektóre dane IoT będą wrażliwe lub prawnie wymagane, aby nie były przechowywane poza określonymi granicami geograficznymi. Choć dostawcy usług w chmurze są zwykle uważani za zaufanych, użytkownik nie ma kontroli nad tym, gdzie faktycznie przechowywane są dane i kto ma do nich dostęp. Nie można również całkowicie wykluczyć, że z powodu błędów osoby trzecie mogą potencjalnie bezprawnie uzyskać dostęp do danych wrażliwych. Z drugiej strony lokalnej bramie lub innemu węzłowi brzegowemu strony, można ufać, ponieważ są pod kontrolą lokalnego operatora. Oczywiście przy założeniu, że nie ma luk w zabezpieczeniach systemów lokalnych.

4) Oszczędzanie przepustowości. Przepustowość uplink bram IoT jest często poważnie ograniczona, tak jak połączenie DSL lub 3G. Nie zawsze jest możliwe przesyłanie ogromnych ilości danych z urządzeń brzegowych do chmury. Przetwarzanie danych lokalnie i wysyłanie tylko agregatów i przefiltrowanych danych do chmury może znacznie zmniejszyć wymaganą przepustowość łącza uplink, umożliwiając implementację systemów IoT, które są połączone z chmurą za pomocą ograniczonych lub przerywanych połączeń.

Potencjalne przypadki użycia przyszłej mgły w IoT

Istnieją różne możliwe przypadki użycia, w których aplikacje IoT mogą skorzystać z obliczeń mgły. Poniższe sekcje zawierają kilka przykładów takich aplikacji.

Inteligentna siatka

Sieć inteligentna to sieć elektryczna nowej generacji, której celem jest zapewnienie bardziej efektywnego równoważenia obciążenia i wyższej niezawodności, a także obniżenie kosztów energii elektrycznej poprzez automatyzację procesu pomiarowego. Inteligentne liczniki będą gromadzić i przekazywać informacje o zużyciu energii elektrycznej, umożliwiając bardziej precyzyjne modele cenowe oparte na rzeczywistej podaży i popycie. Przetwarzanie mgły może być wykorzystywane do lokalnego przechowywania informacji pomiarowych w takich scenariuszach, w których lokalne bramy działałyby jako najniższy poziom pamięci półtrwałej. Węzły mgły między użytkownikiem końcowym a chmurą byłyby aktualizowane tylko partiami, co zmniejszałoby zapotrzebowanie na przepustowość inteligentnych liczników. Zamiast polegać na wyższych warstwach, takich jak warstwa chmury, w przypadku zaawansowanych analiz, węzły mgły znajdujące się w pobliżu użytkownika mogą wykorzystywać takie informacje, aby pomóc klientom zmienić ich zachowanie w zakresie zużycia energii lub lepiej przewidzieć przyszłe zapotrzebowanie i podaż. Przetwarzanie mgły lub przetwarzanie brzegowe może być również wykorzystywane do ulepszania lokalnych aplikacji do równoważenia obciążenia energią. W oparciu o aktualną cenę i lokalne zapotrzebowanie na energię system może włączać i wyłączać urządzenia, które potrzebują dużo energii, lub może automatycznie przełączać je na inne źródła zasilania, takie jak energia słoneczna i wiatrowa.

Połączone pojazdy

Połączone pojazdy odnoszą się do technik zapewniających łączność bezprzewodową dla pojazdów, umożliwiając bezpośrednią komunikację między samymi pojazdami oraz między pojazdami a środowiskiem. Aplikacja, która najbardziej skorzystałaby z podejść opartych na mgle w tym kontekście, byłaby automatyczną inteligentną reakcją na odczyty czujników spotykane w dzisiejszych samochodach. Na przykład inteligentna sygnalizacja świetlna może zatrzymać lub spowolnić zbliżający się do ruchu, aby uniknąć korków lub wypadków, gdy zostanie wykrytych kilka hamujących pojazdów. Te przypadki użycia wymagają komunikacji między pojazdami, a także przetwarzania lokalnego, ponieważ wysyłanie wszystkich odczytów czujników do odległej chmury jest kosztowne i wprowadza opóźnienie, które nie jest dopuszczalne w przypadku szybkiej reakcji na warunki drogowe. Lokalna pamięć masowa i przetwarzanie danych z czujników może pomóc rozwiązać te problemy i umożliwić takie przypadki użycia.

Edukacja

Studenci coraz częściej podczas nauki korzystają z urządzeń takich jak komputery stacjonarne, laptopy czy tablety. Dzięki temu uczniowie mogą uczyć się we własnym tempie i mieć dostęp do tych samych informacji w domu, co w klasie. Śledząc postępy uczniów na tych urządzeniach, nauczyciele mogą gromadzić w czasie rzeczywistym dane dotyczące wydajności poszczególnych uczniów i uzyskiwać praktyczne informacje, które wymagają dalszej pomocy uczniom. Analizowanie danych dotyczących wydajności i przechowywanie dodatkowych materiałów szkoleniowych zasadniczo stawia te same wyzwania dla infrastruktury, co dane IoT, które również muszą być przechowywane i przetwarzane. Techniki mgły można również wykorzystać do zwiększenia prywatności danych uczniów, nie przesyłając poufnych danych o ich wydajności do systemów opartych na chmurze.

Opieka zdrowotna

Czujniki mogą zbierać informacje o stanie zdrowia, takie jak elektrokardiogramy, temperatura czy poziom glukozy we krwi. Dodatkowe czujniki środowiskowe mogą wykryć, czy osoby starsze postępują zgodnie ze swoją codzienną rutyną, na przykład mogą monitorować, czy dana osoba wstaje rano lub regularnie je. Większość z tych aplikacji ma wysoką niezawodność i surowe wymagania dotyczące opóźnień. Ponadto należy wziąć pod uwagę prywatność i przepisy dotyczące danych pacjentów. Dane pacjentów mogą być bezpośrednio przekazywane lekarzom w celu postawienia diagnozy.

Przechowywanie i przetwarzanie w oparciu o mgłę może umożliwić lepsze monitorowanie pacjentów i osób starszych bez poświęcania prywatności i niezawodności.

Inteligentne budynki

Inteligentne budynki mogą zoptymalizować zużycie energii w budynkach i zwiększyć komfort życia oraz bezpieczeństwo. Te inteligentne środowiska są możliwe dzięki połączeniu wielu technologii, takich jak czujniki temperatury i wilgotności z innymi czujnikami, wszechobecna łączność i analiza danych. Inteligentne budynki mogą na przykład wykrywać, kiedy nikogo nie ma w domu i wyłączać ogrzewanie. Czujniki gazu lub powietrza mogą poprawić bezpieczeństwo, wysyłając sygnał ostrzegawczy o złej jakości powietrza lub zagrażających zdrowiu stężeń niektórych gazów w domu, a nawet podejmując działania samodzielnie, otwierając okna, aby wpuścić świeże powietrze. Oczywiście te działania mogą być uruchamiane przez usługę opartą na chmurze, ale ponieważ producenci danych i konsumenci są w większości lokalni, wzrost opóźnień i ruchu jest niepotrzebny. Lokalny system oparty na mgle mógłby wykorzystywać dane zewnętrzne z usług opartych na chmurze, ale analizować odczyty lokalnych czujników bez wysyłania ich do odległych chmur. Ponieważ niezawodność systemu ma kluczowe znaczenie w niektórych przypadkach użycia, ważne jest, aby pamiętać, że usługi oparte na mgłę będą nadal działać w przypadku przerw w łączności z Internetem

Nadzór

Nadzór, w tym inteligentny nadzór wideo, opiera się na systemach w chmurze do kompleksowej analizy wideo (VSaaS). Zamiast ludzkiego operatora usługa oparta na chmurze wykorzystuje algorytmy widzenia komputerowego i rozpoznawanie wzorców do oceny sceny. Inne odczyty czujników mogą pomóc w rozpoznaniu potencjalnych zagrożeń. System oparty na mgłę może pomóc poprawić czas wykrywania i reakcji takiego systemu, unikając opóźnień spowodowanych komunikacją ze zdalną usługą w chmurze. W szczególności dane multimedialne mają duży rozmiar i nie zawsze jest możliwe wysyłanie do chmury wideo o wysokiej rozdzielczości i dużej liczbie klatek na sekundę. Zamiast tego wideo można analizować lokalnie, potencjalnie z wyższą rozdzielczością i liczbą klatek na sekundę niż byłoby to możliwe do wysłania przez łącze internetowe. Chociaż sprzęt bramy stale staje się coraz bardziej odpowiedni do tych zadań obliczeniowych, ich możliwości są nadal ograniczone w porównaniu z ogromnymi zasobami dostępnymi w chmurze.

Urządzenia do noszenia

Rozwój czujników do noszenia, takich jak urządzenia do monitorowania kondycji i inteligentne zegarki, doprowadził do rosnącego zapotrzebowania na przetwarzanie danych przez czujniki, takie jak rozpoznawanie aktywności na podstawie odczytów akcelerometru i żyroskopu. Dane muszą być próbkowane ze stosunkowo dużą częstotliwością, aby uzyskać znaczące działania. Same działania mogą być wysoce prywatne i muszą być chronione przed nieautoryzowanym dostępem. Wreszcie wynik algorytmu rozpoznawania może być potrzebny z małym opóźnieniem w ustawieniach, w których nie jest dostępne połączenie internetowe. W tych ustawieniach lokalne przetwarzanie w węzłach mgły może być dobrym kompromisem między obciążeniem ciężkich obliczeń z urządzeń zasilanych bateryjnie a utrzymywaniem danych i przetwarzania blisko użytkownika.

Wirtualna rzeczywistość

W ostatnich latach pojawiło się kilka rozwiązań wirtualnej rzeczywistości, takich jak Oculus Rift, HTC Vive i Google Cardboard, które weszły na rynek i były wystarczająco niedrogie, aby uzyskać umiarkowane przyjęcie. W przyszłości niektóre z tych urządzeń mogą stać się bezprzewodowe i przenośne. Ilość danych, które należy przetworzyć, aby możliwe było przekonujące wrażenia z

wirtualnej rzeczywistości, mogłaby potencjalnie zostać przeniesiona do węzłów mgły, oszczędzając energię, a tym samym moc baterii, przy jednoczesnym zachowaniu wystarczająco małego opóźnienia, aby pozostać niezauważonym.

Przykłady IoT opartego na mgle

Ostatnie badania podkreśliły zastosowanie obliczeń mgły w kontekście Internetu Rzeczy. Podsumowanie ostatnich odkryć w dziedzinie przemysłu, inteligentnych miast i zdrowia znajduje się w poniższych sekcjach.

Domena przemysłowa

W dziedzinie przemysłowej pojawiło się kilka propozycji przetwarzania i przechowywania danych IoT bliżej krawędzi, aby przezwyciężyć niektóre wyzwania specyficzne dla przypadku użycia. Zaproponowano na przykład platformę mającą na celu poprawę skuteczności stosowania modeli awarii sprzętu. Prototypowe wdrożenie wykorzystuje istniejące czujniki do monitorowania wdrożonych maszyn przemysłowych w celu wykrywania potencjalnych anomalii. Platforma buduje modele awarii z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego i udostępnia je producentowi oraz administratorowi sprzętu. Aby przenieść przetwarzanie danych bliżej krawędzi, używany jest router Cisco ISR 819 obsługujący strukturę danych w ruchu (DMo). Badanie wykazało, że obliczenia mgły w dwóch realistycznych przypadkach użycia zmniejszają ruch w sieci i zwiększają wykorzystanie zasobów. Aby spełnić wymagania dotyczące przesyłania wiadomości w przypadku zastosowań przemysłowych, zaproponowano rozszerzenie protokołu MQTT. Zmodyfikowany broker MQTT jest umieszczony w warstwie mgły, która obsługuje przewidywanie przyszłych pomiarów i możliwość przenoszenia kosztownych obliczeniowo zadań przetwarzania danych z chmury do mgły. Badanie pokazuje, że wydajność energetyczna jest poprawiona w porównaniu do stosowania znormalizowanego MQTT w tych warunkach przemysłowych, w których stosuje się obliczenia mgły.

Inteligentne miasta

Połączenie IoT z mgłą obliczeniową może zbliżyć zadania związane z analizą inteligentnych miast do użytkownika. Idąc w tym kierunku, zaproponowano Stack4Things, model opartego na mgle IoT dla inteligentnych miast oparty na OpenStack, zestawie narzędzi oprogramowania do kontrolowania zasobów obliczeniowych, pamięci masowej i sieciowych w centrach danych w chmurze. Rozważany jest scenariusz inteligentnej mobilności, w którym inteligentny samochód wchodzi w interakcję z obiektami inteligentnego miasta, aby uzyskać różnorodne usługi geolokalizowane, takie jak sygnalizacja obecności na sygnalizacji świetlnej. Analiza ilościowa pokazuje, że ramy umożliwiają zarządzanie małymi obszarami w regionie miejskim, lokalnie w węzłach mgły. Inne prace koncentrowały się na analizie związanej z domeną smart city. Jedna z prac proponuje opartą na mgle, kontekstową platformę analizy danych w czasie rzeczywistym. Podano przykładowy przypadek zastosowania monitorowania aktywności mieszkańców w inteligentnym mieście. Wykazano, że podejście polegające na łączeniu lokalnych analiz, opcjonalnie w połączeniu z inteligentną redukcją danych i wykrywaniem na żądanie, znacznie zmniejsza ślad energetyczny inteligentnych analiz miejskich. W niedawnym badaniu rozważono przypadek użycia inteligentnego systemu monitorowania rurociągów opartego na czujnikach światłowodowych. Wykorzystuje ukryty model Markowa do sekwencyjnego uczenia się i wykrywania niebezpiecznych zdarzeń zagrażających bezpieczeństwu rurociągu. Korzystając z prototypu i eksperymentów, pokazano, że jest to wykonalne nawet w skali całego miasta. Ponadto, stosując metodę mgły obliczeniowej, znacznie zmniejsza się ilość danych, które muszą być przesyłane przez Internet, a także czas odpowiedzi.

Zdrowie / dobre samopoczucie

Szczególnie w dziedzinie zdrowia pojawiły się obawy dotyczące prywatności podczas korzystania z usług opartych na chmurze. Przetwarzanie mgły może być jedną z opcji rozwiązania tych problemów poprzez przechowywanie i przetwarzanie danych częściowo na urządzeniach, którym użytkownik ufa, a nawet posiada. Najnowszym przykładem jest Health Fog, platforma umożliwiająca udostępnianie i przetwarzanie danych z czujników związanych ze zdrowiem. Proponowany system wprowadza pośrednią warstwę mgły między urządzeniami a chmurą, aby zapewnić pacjentowi kontrolę nad przepływem jego danych zdrowotnych, a tym samym umożliwić lepszą kontrolę nad prywatnością i bezpieczeństwem danych, jednocześnie umożliwiając przetwarzanie i udostępnianie jego danych. Zaproponowano również projekt systemu opartego na mgle do identyfikacji wirusa chikungunya w oparciu o objawy pacjenta i otaczające warunki środowiskowe. Wprowadza różne warstwy dla różnych zadań i użytkowników. Zadaniem warstwy mgły jest diagnozowanie wirusa i generowanie alarmów alarmowych dla pacjentów i lekarzy. Alerty te są przekazywane do usługi opartej na chmurze, która oblicza prawdopodobieństwo rozprzestrzenienia się choroby i generuje alerty dla agencji rządowych w celu przeciwdziałania epidemii. W podobny sposób, jedna praca badawcza wyodrębniała funkcje EKG na inteligentnych bramkach. W badaniu uwzględniono cechy istotne w diagnostyce wielu chorób serca, w tym częstości akcji serca, załamka P i załamka T. Pokazuje, że podejście jest możliwe do zrealizowania poprzez dostarczenie weryfikacji koncepcji na rzeczywistym sprzęcie i pokazuje zmniejszenie ruchu o ponad 90% oraz znaczne zmniejszenie opóźnień podczas korzystania z obliczeń mgły.

Kluczowe wyzwania IoT opartego na mgle

Pomimo zalet przetwarzania mgły, należy rozwiązać kilka problemów w celu realizacji podejścia IoT opartego na mgle, a także integracji z obecnym modelem opartym na chmurze. Poniżej omówiono niektóre z kluczowych wyzwań.

1) Interoperacyjność technologiczna. Bezproblemowa interakcja między urządzeniami i systemami różnych dostawców jest głównym wyzwaniem dla IoT, a także dla opartych na mgle rozszerzeń IoT. Jak omówiono w kilku rozdziałach tej książki, nadal brakuje wspólnych standardów protokołów komunikacyjnych, zarówno lokalnych, jak i łączących do chmury. Na przykład do łączenia czujników z bramkami wykorzystywane są technologie Bluetooth Low Energy (BLE), 802.15.4 lub ZigBee lub Wi-Fi (802.11). Wykorzystywane są również technologie bezprzewodowe dalekiego zasięgu, takie jak LoRaWAN czy Sigfox. Protokoły uplink obejmują zastrzeżone technologie, oprócz otwartych protokołów pub/sub, takich jak MQTT, XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) lub AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) oraz protokoły żądania/odpowiedzi, takie jak COAP (Constrained Application Protocol). Aby IoT odniósł sukces, protokoły muszą być ustandaryzowane i uzgodnione. Dodatkowo należy opracować techniki przechowywania i migracji przetwarzania.

2) Interoperacyjność semantyczna. W celu zapewnienia interoperacyjności konieczne jest również, aby zaangażowane urządzenia i oprogramowanie interpretowały gromadzone, przetwarzane i udostępniane informacje w ten sam sposób i odpowiednio działały na podstawie poleceń. Model asemantyczny musi być dostępny dla każdego aspektu podejścia mgły/chmury; powinno to służyć nie tylko do zrozumienia danych, ale także do wyrażenia wymagań i ograniczeń podczas przetwarzania lub przenoszenia tych danych, w tym wymogów dotyczących jakości usług lub prywatności. Nadal brakuje wglądu w to, które ontologie mogą być odpowiednie dla tych zadań. Technologie sieci semantycznych mogą również pomóc usprawnić wykrywanie urządzeń lub wdrożyć automatyczne wnioskowanie.

3) Programowalność. Przetwarzanie danych ma wyjątkowe znaczenie dla ekosystemu IoT. Ze względu na zmienność wymagań związanych z zadaniami przetwarzania opartego na zdarzeniach, bardzo ważne jest również automatyczne przenoszenie zadań przetwarzania między węzłami mgły i chmury. Jednak

nadal nie jest jasne, jak w pierwszej kolejności należy zdefiniować zadania przetwarzania. Nadal brakuje wglądu w to, który język programowania i jakie interfejsy są niezbędne do przetwarzania danych IoT i umożliwienia bezproblemowego przenoszenia zadań pomiędzy różne systemy, potencjalnie wykorzystujące różne architektury sprzętowe i różne formaty. W szczególności nie osiągnięto jeszcze konsensusu co do tego, czy używać interfejsu w postaci funkcji dyskretnych, czy w postaci kontenerów lub obrazów maszyn wirtualnych.

4) Skalowalność. W niedalekiej przyszłości IoT będzie składał się z miliardów (a nawet bilionów) urządzeń. Liczba połączonych węzłów będzie o kilka rzędów większa niż liczba hostów w dzisiejszym Internecie. Pomimo problemów, które może rozwiązać przetwarzanie i przechowywanie w oparciu o mgłę, nadal nie jest jasne, jak powinna działać bezproblemowa interakcja między urządzeniami za różnymi bramami. Pytania o to, jak urządzenia powinny być wykrywane na dużą skalę, gdzie powinien znajdować się rejestr w systemie chmura – mgła i gdzie powinny znajdować się dane, aby zminimalizować opóźnienia komunikacji i zwiększyć przepustowość nadal nie są w pełni odpowiedziane.

5) Odporność i niezawodność. Podejście oparte na mgle jest atrakcyjne dla programistów do wdrażania aplikacji, w których poleganie na stałej dostępności łącza do chmury jest niedopuszczalne ze względu na możliwość czasowych przerw. Przykłady obejmują przemysłowe pętle sterowania lub systemy reagowania kryzysowego.

Podsumowanie

Usługi oparte na chmurze są coraz częściej wykorzystywane do wspomagania ograniczonych urządzeń IoT w zakresie przechowywania i przetwarzania. Chmura oferuje różne korzyści w domenie IoT, w tym elastyczną dostępność zasobów na żądanie, szybką i niezawodną sieć oraz wiele gotowych do użycia usług hostowanych. Chociaż korzyści płynące z przetwarzania w chmurze w kontekście IoT są widoczne w szerokim rozpowszechnieniu w przypadku istniejących systemów główną wadą jest pozycja centrów danych w chmurze, które często znajdują się kilka przeskoków od producentów danych i konsumentów. Dane zwykle muszą przejść przez łącze ograniczające między producentami danych a chmurą oraz między chmurą a konsumentami danych. To łącze dodaje dodatkowe opóźnienie i może ograniczać ilość przesyłanych danych. W ciągu najbliższych kilku lat przetwarzanie we mgle będzie w coraz większym stopniu pomagać w radzeniu sobie z tymi niedociągnięciami, wprowadzając zasoby podobne do chmury bliżej użytkownika. W tej części przedstawiono przegląd zalet, potencjalnych przypadków użycia, ostatnich przykładów i otwartych wyzwań związanych z przetwarzaniem w chmurze i mgłą w kontekście IoT. Oba podejścia przynoszą wyraźne korzyści i będą miały szersze zastosowanie. Najprawdopodobniej zostaną one połączone, aby uzyskać płynną integrację zasobów mgły i chmury we wspólną pulę zasobów IoT. Przyszłe zmiany będą obejmować mechanizmy interakcji mgły z chmurą, takie jak automatyczne przydzielanie zasobów, replikacja i migracja, które są niezbędne do spełnienia wymagań IoT w zakresie odporności i niezawodności. Usługa o wartości dodanej będzie musiała zostać zdefiniowana tylko raz i zostanie automatycznie udostępniona i przeniesiona na żądanie do odpowiedniego węzła przetwarzania. Istniejące usługi można łączyć w celu stworzenia nowych innowacyjnych usług. Postępy w zakresie bezpieczeństwa i prywatności pomogą zachować poufność i bezpieczeństwo danych wrażliwych we wszystkich węzłach przetwarzania pochodzących od różnych dostawców. Pomimo pozostałych wyzwań, chmura i przetwarzanie mgły okażą się niezbędnymi narzędziami w realizacji tej wizji IoT.