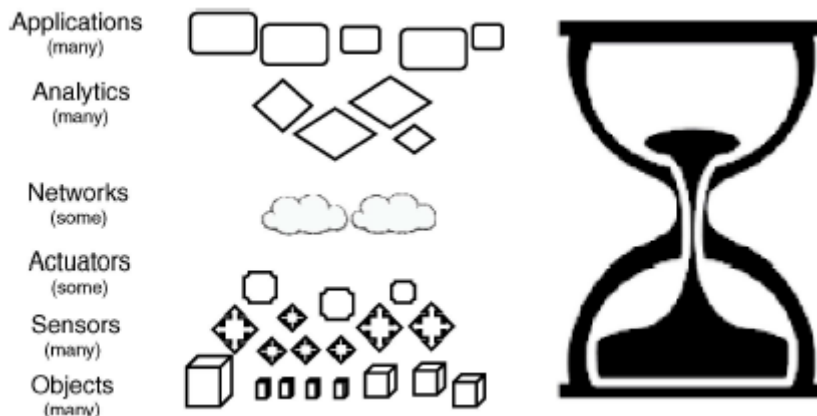


Aplikacje Internetu Rzeczy dla inteligentnych miast

W 2008 r. populacja świata osiągnęła podział 50–50 w rozkładzie populacji między środowiskami miejskimi i pozamiejskimi. W tym momencie jesteśmy świadkami ekspansji miast, ponieważ populacje przyspieszają przejście z obszarów wiejskich i podmiejskich do obszarów miejskich, napędzane możliwościami gospodarczymi, zmianami demograficznymi i preferencjami pokoleniowymi. Oczekuje się, że do roku 2050 w miastach będzie mieszkać siedemdziesiąt procent populacji ludzkiej. Największy wzrost krajobrazu miejskiego występuje w krajach rozwijających się. Obecnie istnieje ponad 400 miast z ponad milionem mieszkańców i 20 miast z ponad 10 milionami mieszkańców. W większości przypadków, zwłaszcza w świecie zachodnim, miasta mają starzejącą się infrastrukturę, taką jak drogi, mosty, tunele, stacje kolejowe i elektrownie. Niektóre lokalizacje doświadczyły w ostatnich latach ogromnego rozwoju nieruchomości, jednak drogi, wodociągi, kanalizacja, sieci energetyczne, a czasem nawet połączenia komunikacyjne nie zostały unowocześnione lub zostały zmodernizowane w bardzo ograniczonym zakresie. Infrastruktura fizyczna istniejąca w wielu miastach starzeje się i w przyszłości usługi świadczone przez taką infrastrukturę mogą w rzeczywistości podlegać tymczasowemu racjonowaniu w razie konieczności, a nawet awaryjnych, modernizacji. Czasami samo zamknięcie pasa na kilka dni tworzy chaotyczne i niebezpieczne warunki drogowe i nagłówki krajowe. Potrzebne są nowe rozwiązania technologiczne, aby zarządzać coraz rzadszymi zasobami infrastruktury, zwłaszcza w obliczu wyzwań związanych ze wzrostem liczby ludności, zazwyczaj ograniczonymi zasobami finansowymi i wieczną inercją polityczną. Technologie i zasady IoT dają obietnicę możliwości poprawić zarządzanie zasobami wielu aktywów związanych z życiem miasta, w tym przepływ towarów, ruch pojazdów prywatnych i publicznych oraz zazielenianie środowiska. Gdy miasta wdrażają na szeroką skalę najnowocześniejsze technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT), w tym w szczególności technologie IoT, określa się je mianem „inteligentnych miast”. Technologie IoT można wykorzystać, na przykład, do optymalizacji zużycia energii i maksymalizacji efektywności życiowej, poprawiając i optymalizując w ten sposób jakość życia w mieście (QoL). Panuje zgoda co do tego, że wdrożenia Internetu Rzeczy wspierające środowiska inteligentnych miast są wyraźną korzyścią dla społeczeństwa pod względem warunków życia i środowiska pod względem efektywnego wykorzystania zasobów, takich jak energia; w grę wchodzi również zrównoważony rozwój. Na poziomie technologii istnieje zainteresowanie ustaleniem, w jaki sposób można skutecznie wykorzystać samą rozwijającą się technologię, wymaganych architektur, standardów i krytycznych wymagań dotyczących cyberbezpieczeństwa. Obowiązująca technologia obejmuje czujniki, sieci (zwłaszcza technologie bezprzewodowe dla sieci osobistych, mgły i rdzenie, takie jak telefonia komórkowa piątej generacji [5G]) i analizy. Architektura zajmuje się sposobem składania rzeczy, w tym hierarchią. Normy odnoszą się do możliwości wdrożenia technologii w sposób towarowy, zapewniając prostą i niezawodną interoperacyjność typu end-to-end – obejmują one również standardy i podejścia Machine to Machine (M2M). Cyberbezpieczeństwo, w formie kanonicznej, obejmuje poufność, integralność i dostępność.

Obszary zastosowań inteligentnych miast obejmują między innymi inteligentne systemy transportowe (w tym inteligentną mobilność, automatyzację pojazdów i kontrolę ruchu), inteligentne sieci, inteligentne budynki, towary i produkty, logistykę (w tym inteligentną produkcję), wykrywanie (w tym wykrywanie tłumów i inteligentne środowiska), nadzór/wywiad oraz inteligentne usługi. Miasta od lat wprowadzają nowe technologie, ale ostatnio tempo ich przyjmowania wzrosło, szczególnie w zakresie nadzoru, kontroli ruchu, efektywności energetycznej i oświetlenia ulicznego. Istnieje bardzo obszerna literatura na ten temat; niektóre z ostatnich interesujących referencji obejmują. Ta część ma na celu omówienie szeregu zagadnień i zastosowań IoT specyficznych dla inteligentnych miast. W szczególności istnieje mnóstwo problemów, rozwiązań technicznych i wyzwań technicznych związanych z szeroko zakrojonym wdrażaniem Internetu Rzeczy w środowiskach miejskich, aby czerpać korzyści z inteligentnego miasta. Zauważamy tylko mimochodem, że Ekosystem IoT, również w

kontekście inteligentnych miast, składa się z wielu obiektów, wielu czujników, stosunkowo dobrze zdefiniowanych sieci agregacyjnych oraz wielu (opartych na chmurze) silników analitycznych i pamięci masowej.



Obiekty i czujniki są zarówno statyczne, jak i mobilne, przy czym mobilność jest prawdopodobnie bardziej powszechna. Inteligentne miasta nie zależą od żadnej konkretnej lub unikalnej technologii IoT, ale obejmują wszystkie formy technologii IoT, w tym odpowiednie czujniki, odpowiednie sieci i odpowiednią analitykę, z których wszystkie mogą zależeć od konkretnej rozważanej aplikacji pionowej. Dodatkowo pojawią się również urządzenia uruchamiające, które są używane do rzeczywistej kontroli środowiska w odpowiedzi na wykryty zestaw danych lub pewne obliczenia analityczne – na przykład zmiana znaków i barier na drodze na odwrócenie pasów o różnych porach dnia lub zmiana wartości roboczej na pompie w celu sterowania przepływem wody lub ścieków. Tradycyjnie, nawet w zastosowaniach inteligentnych miast, IoT był przewidziany do obsługi dużej populacji urządzeń wykrywających parametry o stosunkowo niskiej przepustowości, szczególnie w środowiskach M2M i ogólnie w lokalizacjach stacjonarnych (np. meteorologiczne stacje meteorologiczne gromadzące dane, liczniki elektryczne, kontrola przemysłowa i tym podobne). Niemniej jednak pojawiają się teraz aplikacje zorientowane na wideo, które mają strumienie przychodzące sięgające rozdzielczości ultrawysokiej rozdzielczości zarówno pod względem gęstości pikseli, jak i liczby klatek na sekundę, oraz aplikacje zorientowane na wideo, w których strumień jest wychodzący do urządzeń odbiorczych (np., ale nie wyłącznie, smartfonów). Te powstające aplikacje IoT są znane jako aplikacje multimedialne oparte na IoT (IoTMM); mają one również zastosowanie w inteligentnych miastach. Oprócz przeglądu możliwości zastosowania IoT w inteligentnych miastach, w niniejszym rozdziale przedstawiono dwa nowe wyniki zorientowane na badania dotyczące wdrażania IoT w środowiskach inteligentnych miast: (1) wsparcie multimedialnych zastosowań IoT, na przykład dla bezpieczeństwa publicznego i aplikacje do nadzoru i (2) zastosowanie rodziny protokołów Mobile IPv6 (MIPv6) do zastosowań mobilnych, na przykład do wykrywania ruchu w pojazdach (Hu i in., 2014) (np. w celu poprawy przepływu ruchu). Te kierunki badań nie były wcześniej przedmiotem badań, na które być może zasługują. Mobilność i zarządzanie mobilnością są podstawowymi wymaganiami wielu aplikacji inteligentnych miast.

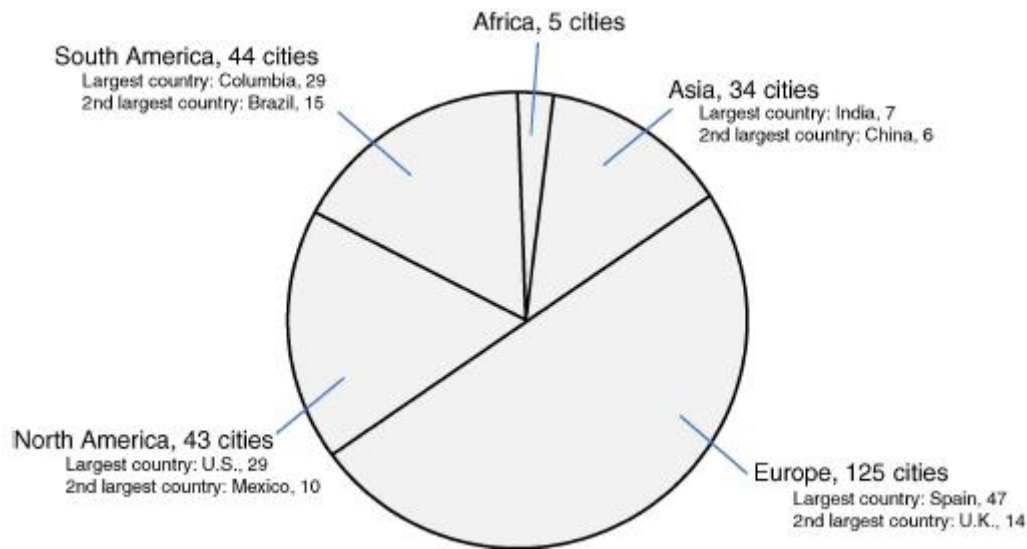
Aplikacje IoT dla inteligentnych miast

Miasta są teraz nieustannie wzywane do „robienia więcej za mniej”; dlatego automatyzacja w ogóle, a w szczególności IoT, są ważnymi narzędziami spełniającymi wymagania obywateli podczas zarządzania kosztami. Rzeczywiście, wiele wyzwań miejskich można rozwiązać lub przynajmniej złagodzić dzięki zasadom IoT. Żywotność, zarządzanie infrastrukturą i nieruchomościami, transport i mobilność, logistyka, energia elektryczna i inne media wspomagające miasto, a także bezpieczeństwo są prawdopodobnie kluczowymi aspektami miasta z perspektywy podłoża. W przypadku niektórych

aplikacji zastosowanie mają dobrze zdefiniowane koncepcje (zdefiniowane przez ETSI) M2M, zwłaszcza w przypadku aplikacji do monitorowania infrastruktury (ETSI, 2011). Drony (rodzaj urządzenia IoT) będą również odgrywać rolę w wielu aplikacjach inteligentnych miast. Rysunek



przedstawia graficznie niektóre z tych aplikacji. Na przykład Stany Zjednoczone mają ponad 19 000 miast i miasteczek; w ten sposób rozwiązanie niektórych problemów, które dotyczą miasta, oparte na IoT, oferuje dużą szansę rynkową – ta możliwość jest wyraźnie jeszcze większa na całym świecie. Jednak budżety miejskie są coraz bardziej ograniczone zarówno pod względem poboru dochodów, jak i rosnących wymagań dotyczących modernizacji systemu i infrastruktury, w miarę starzenia się miast i/lub wzrostu liczby ludności. Niektórzy prognozują, że szanse rynkowe dla twórców technologii wyniosą 1 bilion dolarów na całym świecie w 2020 roku, podczas gdy inni oceniają rynek na kilkaset miliardów dolarów. Miasta w Stanach Zjednoczonych, takie jak Los Angeles, Nowy Jork, Miami, San Francisco, Seattle i Waszyngton DC, wdrażają technologie ulepszające usługi typu IoT/czujnik; jeszcze szybszy trend obserwowany na całym świecie, w miastach lub krajach takich jak Abu Dhabi, Amsterdam, Barcelona, Berlin, Dubaj, Hongkong, Londyn, Melbourne, Milton Keynes, Paryż, Katar, Rio de Janeiro, Santiago, Arabia Saudyjska, Southampton, Sztokholm, Singapur, Seul, Sydney i Tokio. Rysunek



przedstawia mapowanie do regionów kontynentalnych. W tym kontekście urbaniści postrzegają jako ważne cztery następujące trendy: (i) trendy demograficzne i dotyczące siły roboczej; (ii) koszt i finansowanie infrastruktury; (iii) rozwój publicznych i prywatnych systemów mobilności; oraz (iv) dostępność nowych środków transportu (w tym także transportu autonomicznego) (Staff, 2015). W każdym z tych przypadków IoT ma coś do zaoferowania. Jednak w chwili obecnej segment inteligentnych miast IoT jest podzielony na odrębne domeny wertykalne, wielu interesariuszy i odłączone systemy technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT). Zestaw uproszczonych standardów technicznych i użyteczna architektura wielousługowa, które obsługują tryb ekspansji „plug and play”, znacznie poprawiłyby wdrażanie i szeroką penetrację. Dotychczasowe rozwiązania dla inteligentnych miast były zazwyczaj podejściami zastrzeżonymi przez dostawców. Kolejna aplikacja obejmuje płynną interakcję między infrastrukturą inteligentnego miasta a rozwijającymi się technologiami inteligentnego budynku IoT. Oczywiście nie wszystkie wyzwania stojące przed miastami można całkowicie rozwiązać za pomocą rozwiązań IoT – takie rozwiązania IoT w zasadzie dostarczają dane o zasobach (np. zużycie energii), dane o stanie (np. ruch), dane o logistyce (np. przepływ towarów), dane dotyczące bezpieczeństwa (np. monitoring) oraz możliwości dostarczania zaawansowanych inteligentnych usług (np. inteligentnych parkometrów). Na przykład w niektórych zaawansowanych krajach zachodnich tzw.) oraz pokazywanie preferencji dotyczących innych środków transportu, takich jak jazda na rowerze i spacer. Coraz częściej, a co za tym idzie, biura znajdują się w pobliżu tych opcji transportu; taki nowy miejski plan rozwoju nieruchomości jest niezależny od IoT, ale możliwości wspierania nowego układu urbanistycznego mogą być ułatwione dzięki zasadom IoT, zwłaszcza w kontekście zarządzania mobilnością.

Specyficzne aplikacje Smart City

W poprzedniej sekcji zidentyfikowano szereg aplikacji wdrażanych obecnie w środowiskach inteligentnych miast. W tej sekcji opisano pięć z tych aplikacji z dodatkowymi szczegółami.

Pojazdy bez kierowcy

Postępy w technikach komunikacji bezprzewodowej i technologiach czujników rozpoznających lokalizację napędzają ewolucję sieci pojazdów (VN). W ciągu najbliższych 5 lat autonomiczne samochody, autobusy i ciężarówki zaczną współdzielić jezdnię z tradycyjnymi pojazdami. Dodatkowo można zaobserwować znaczne rozszerzenie transportu autonomicznego w pojazdach flotowych, takich jak ciężarówki dostawcze. Floty są początkowym obszarem, w którym oczekuje się, że

technologia pojazdów bezzałogowych będzie szeroko stosowana – bez kierowcy transport publiczny (pociągi i autobusy) może również przejść na transport autonomiczny. Amerykańska Narodowa Administracja Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego określiła pięć poziomów automatyzacji pojazdu w oparciu o aktywność kierowcy podczas pracy.

* Poziom 0 – brak automatyzacji. Operator ma kontrolę nad wszystkimi aspektami funkcji pojazdu przez cały czas, chociaż pojazd może posiadać funkcje, które biernie ostrzegają kierowcę o potencjalnej kolizji lub opuszczeniu pasa ruchu. Aplikacje IoT: podstawowe wewnętrzne monitorowanie funkcjonalności pojazdu.

* Poziom 1 - Automatyka specyficzna dla funkcji. Operator ma pełną kontrolę nad pojazdem, ale może korzystać z funkcji automatycznych, które mogą wpływać na kontrolę prędkości, hamowanie lub kierowanie w celu wspomagania określonych funkcji (tempomat, automatyczne hamowanie i systemy utrzymywania pasa ruchu). Aplikacje IoT: bardziej zaawansowane wewnętrzne monitorowanie funkcjonalności pojazdu.

Poziom 2 - Automatyzacja funkcji kombinowanych. Automatyzacja pozwala operatorowi na odłączenie się na niektóre części podróży (np. kierowca może być w stanie zdjąć rękę z kierownicy i stopę z pedału), ale operator nadal musi aktywnie monitorować pojazd i być gotowy do przejęcia kontrolę w dowolnym momencie. Aplikacje IoT: wewnętrzne monitorowanie funkcjonalności w pojeździe w połączeniu z sygnalizacją na pokładzie/poza pokładem w celu wykrywania warunków środowiskowych.

Poziom 3 - Ograniczona automatyka autonomiczna. Operator nie musi już stale monitorować jezdni, ponieważ pojazd obsługuje krytyczne funkcje bezpieczeństwa w określonych warunkach, jednocześnie ostrzegając operatora o zbliżającej się przeszkodzie. Aplikacje IoT: zaawansowana sygnalizacja na pokładzie/poza płytą w celu wykrywania warunków środowiskowych.

Poziom 4 - Pełna automatyka samodzielna. Operator nie ponosi już żadnej odpowiedzialności za bezpieczną eksploatację pojazdu i nie oczekuje się od niego monitorowania warunków drogowych ani przejmowania kontroli w dowolnym momencie podróży. Aplikacje IoT: kompletna i wyczerpująca sygnalizacja pokładowa/pokładowa w celu wykrywania warunków środowiskowych.

Osiągnięcie celu, jakim jest automatyzacja autonomicznej jazdy i szerokie wdrożenie inteligentnych systemów transportowych (ITS), będzie wymagać znacznej ilości nowej infrastruktury ICT. Obejmuje to czujniki i siłowniki pokładowe, transpondery drogowe wspierające koncepcję „drogi cyfrowej” i inne siłowniki (na przykład do zarządzania sygnalizacją świetlną i/lub nadzoru wideo w zakresie warunków drogowych i świadomości sytuacyjnej). Należy wdrożyć, skonfigurować, zarządzać i optymalizować znaczne mechanizmy komunikacji między pojazdami (urządzenie-urządzenie [D2D]) i między pojazdem a infrastrukturą. Trwają znaczące prace techniczne mające na celu rozwinięcie nauki do punktu, w którym można będzie przeprowadzić wdrożenia w celu wspierania bezpiecznych operacji (Alam i in., 2016; Cheng i in., 2015; Ghazal i in., 2015; Hegyi i De Schutter, 2015; Nuss i in., 2014; Picone i in., 2015; Qureshi i Abdullah, 2013; The National Academies of Science, 2014; van der Mei i in., 2013; Vogel i Mueller, 2015). W szczególności trwają prace nad protokołami pojazd-pojazd (V2V) i pojazd-infrastruktura (V2I), kanałami komunikacji, sprzętem transmisyjnym i analizami

Crowdsensing

Crowdsensing pozwala dużej populacji urządzeń mobilnych mierzyć zjawiska będące przedmiotem wspólnego zainteresowania na rozległym obszarze geograficznym, umożliwiając gromadzenie, analizę i udostępnianie „dużych danych”. Ma główne zastosowania miejskie do (aktywnego lub pasywnego)

zbierania informacji o warunkach drogowych, pogodowych, a nawet obrazów wideo. Zainteresowanie tym tematem jest obecnie duże, zwłaszcza w kontekście środowisk miejskich. Crowdsensing wykorzystuje wszechobecne urządzenia mobilne i coraz bardziej wszechobecną infrastrukturę sieci bezprzewodowej do gromadzenia i analizowania wykrytych danych bez konieczności wdrażania dużego zestawu czujników statycznych: paradygmat mobilnego czujnika ruchu umożliwia wykrywanie na dużą skalę przy niższych kosztach wdrożenia niż w przypadku infrastruktur dedykowanych dzisiejsze czujniki dedykowane i/lub stacjonarne. W ten sposób crowdsensing może być głównym czynnikiem technicznym umożliwiającym sprostać wyzwaniom związanym z omówioną wcześniej zmianą paradygmatu miejskiego. Crowdsensing pociąga za sobą masowe gromadzenie danych i często (geo)lokalizację tych danych (tj. lokalizację czujnika [mobilnego], w którym dane są gromadzone) w celu ich agregacji i analizy. Termin mobile crowdsensing (MCS) został ukuty w celu opisanego szerokiego zestawu aplikacji crowdsensingowych. Zastosowania MCS są zwykle wykrywaniem typu społecznościowego, gdzie zjawiska na dużą skalę (np. ruch pojazdów, monitorowanie jakości powietrza) są oceniane, gdy wiele osób lub innych podmiotów (automatycznie) dostarcza zlokalizowanych informacji, które są następnie agregowane w celu uzyskania wyników ogólnosystemowych. Crowdsensing (z połączonymi urządzeniami do noszenia i wszechobecnymi komputerami jako tłem) może ostatecznie stać się najbardziej destrukcyjną i transformującą technologią od czasu World Wide Web. W ostatnich latach powszechna dostępność smartfonów wyposażonych w czujniki umożliwiły zbieranie dużych ilości danych na obszarach miejskich z wykorzystaniem urządzeń użytkowników, umożliwiając w ten sposób zestaw miejskich aplikacji do wykrywania tłumu. Urządzenia wykrywające obejmują smartfony, odtwarzacze muzyki, systemy do gier z wbudowanymi czujnikami, inteligentne zegarki, urządzenia zdrowotne/fitness, urządzenia do noszenia i czujniki w pojeździe. Udoskonalenia funkcjonalne w zakresie możliwości inteligentnych urządzeń, w tym między innymi smartfonów, smartwatchy i innych urządzeń osobistych, a także w zakresie technologii komunikacyjnych w hotspotach na świeżym powietrzu, umożliwiają teraz pojawienie się rozwiązań crowdsensingu, zarówno dla strumieni danych, jak i multimediów, ponieważ sposób na poprawę wykrywania środowiska, szczególnie w zastosowaniach inteligentnych miast. Jednak zarządzanie mobilnością (np. zachowanie łączności typu end-to-end podczas ruchu) ma kluczowe znaczenie dla jego praktycznego i opłacalnego użytkowania. Ponieważ zasilanie pokładowe jest generalnie mniejszym problemem dla przydatnej technologii do rozważenia mogą być czujniki crowdsensing, protokoły IPv6 i techniki zarządzania mobilnością MIPv6

Inteligentne budynki

Ewolucją koncepcji inteligentnego miasta jest zastosowanie tych koncepcji w środowiskach budynków komercyjnych, w tym być może również w kampusach wielobudynkowych. Budynki komercyjne mają szeroką gamę wymagań dotyczących monitorowania, zarządzania i optymalizacji zasobów, a wiele aplikacji dla inteligentnych miast ma zastosowanie do zarządzania budynkami; niektóre z tych zastosowań obejmują między innymi nadzór wideo, kontrolę ruchu/dostępu, nadzór, zarządzanie energią (w tym oświetlenie), kontrolę środowiska wewnętrznego i jakości powietrza/komfortu oraz wykrywanie pożarów. Poniższa lista identyfikuje typowe elementy oraz systemy, w których zużywana jest energia, z których wszystkie korzystają w dużym stopniu z ulepszonych (opartego na IoT) wykrywania, automatyzacji i zarządzania (lista nie jest wyczerpująca):

- * Pomieszczenie z ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją (HVAC). kotły modułowe, sprężarki powietrza i chillery.
- * Serwerownia. zasilacze awaryjne (UPS); klimatyzatory do pomieszczeń komputerowych (CRAC); szafy telekomunikacyjne; szafy serwerowe i serwery zwirtualizowane/blade.

* Powierzchnia biurowa. oświetlenie diodami elektroluminescencyjnymi (LED); czujniki światła dziennego; termostaty (stosowane w sterowaniu systemami HVAC i zużyciem energii); mechanizmy reagowania na zapotrzebowanie.

* Elementy układu chłodzenia. jednostki dachowe (RTU), wieże chłodnicze i pompy ciepła.

łącznie (we wszystkich budynkach komercyjnych) kluczowe elementy zużycia energii elektrycznej są następujące: chłodzenie: 14,9%; wentylacja: 15,8%; oświetlenie 17,1%; chłodnictwo: 15,8%; wyposażenie biurowe: 4,1%; i komputery 9,5% (U.S. Energy Information Administration, 2012). Systemy zarządzania budynkiem (BMS) były tradycyjnie używane do zarządzania kilkoma funkcjami związanymi z budynkiem. BMS to skomputeryzowana platforma, która umożliwia monitorowanie i kontrolowanie wyposażenia mechanicznego i elektrycznego budynku. System BMS jest zwykle używany do zarządzania obciążeniami i zwiększania wydajności, zmniejszając w ten sposób energię potrzebną do oświetlenia, ogrzewania, chłodzenia i wentylacji budynku. BMS współdziałają ze sprzętem sterującym w różnych podsystemach mechanicznych/elektrycznych w celu monitorowania i kontrolowania zużywanej energii w czasie rzeczywistym; są one często wykorzystywane do wdrażania rozwiązań w zakresie odpowiedzi na zapotrzebowanie (DR). Chociaż BMS generujące prąd zwykle koncentrują się głównie na zużyciu energii elektrycznej, w przyszłości oczekuje się, że BMS będą obejmować wszystkie źródła energii wspierające budynek, w tym również gaz ziemny, energię odnawialną, zużycie wody i systemy parowe. Ważne są również możliwości w zakresie środowiska i jakości powietrza w pomieszczeniach. Ostatnio systemy BMS przeszły do sieci opartych na protokole IP. Umożliwia to zdalne monitorowanie przez scentralizowane centrum operacyjne, takie jak analityka w chmurze. Inteligentne oświetlenie w budynkach nie tylko umożliwia inteligentne scentralizowane (i/lub zdalne) sterowanie i poprawia wrażenia mieszkańców, ale także obniża zużycie energii. IoT przeniesie obecne możliwości BMS na wyższy poziom. Pojawiają się niedrogie czujniki, a aplikacje przyjazne dla użytkownika stają się dostępne, często jako usługa oprogramowania jako usługa (SaaS) w chmurze (U.S. Energy Information Administration, 2012). Optymalizacja HVAC i inteligentne sterowanie oświetleniem to tylko dwa z kluczowych obszarów ułatwianych przez IoT. Te zmiany napędzają obecnie wdrażanie IoT w aplikacjach budowlanych, w szerszym kontekście aplikacji inteligentnych miast.

Inteligentne kampusy

Literatura na temat inteligentnego kampusu jest stosunkowo niewielka. W kontekście zarządzania infrastrukturą podzbiór aplikacji IoT ma zastosowanie do fizycznego kontinuum, które obejmuje inteligentne miasto, szereg kampusów instytucjonalnych i niezależne inteligentne budynki. Kampus zazwyczaj składa się z kilku budynków podlegających jednej jurysdykcji administracyjnej, takiej jak (prywatny) uniwersytet lub kolegium, albo kompleks szpitalny obejmujący kilka struktur na małym obszarze geograficznym. Niektórzy uważają też stadion za kampus. Kampus może być również postrzegany jako grupa klastrow w różnych regionach, ale wszystkie zarządzane przez jednostkę nadzoru, na przykład stanowy uniwersytet, który może mieć kilka kampusów (powiedzmy dwa tuziny lub więcej) w całym stanie lub stan system więzienny z wieloma miejscami, z których każdy składa się z kilku budynków. Zazwyczaj jeden budynek pełni funkcję biura administracyjnego, w którym może zakończyć się cała komunikacja w kampusie, na przykład, jeśli istnieje centrum sterowania i gdzie możliwe jest przekazanie do sieci rozległej (WAN). W kampusach wielozakładowych może istnieć jedna scentralizowana lokalizacja, w której różne dane (parametry środowiskowe, sterowanie, wideo itd.) są scentralizowane w jednym, powiedzmy stanowym lub miejskim, centrum sterowania do monitorowania, przetwarzania, przechowywania lub analizy. Nawet jeśli łączność na terenie kampusu jest dostępna (np. światłowód na terenie kampusu między budynkami), może nie nadawać się do zastosowań M2M/IoT z różnych powodów administracyjnych, bezpieczeństwa lub technologicznych.

Nowo wybudowany kampus, na przykład park biznesowy, może równie dobrze mieć międzybudynkową łączność światłowodową, ale starsze kampusy mogą nie mieć takiej łączności przewodowej. Tak czy inaczej, może być potrzebna dedykowana sieć kampusowa dla aplikacji M2M; dziś może być zwykle dodany jako bezprzewodowa nakładka do istniejącego kampusu, a także do aplikacji typu greenfield. Chociaż aplikacje, które są rozważane dla inteligentnych miast, są dość obszerne, są zwykle brane pod uwagę w przypadku inteligentnych kampusów, są nieco bardziej ograniczone. Mogą one obejmować nadzór zewnętrzny kampusu; nadzór wewnętrzny; budynek generatora awaryjnego, automatyczny przełącznik zasilania (ATS) i monitorowanie i sterowanie licznikiem cyfrowym (DM-aka smart meter); monitorowanie i sterowanie windą; oraz monitorowanie i sterowanie HVAC. Inne aplikacje związane z kampusem obejmują zdalne sterowanie drzwiami, wykrywanie wycieków wody, harmonogram pralek, inteligentne parkowanie, inteligentne kosze na śmieci, sterowanie oświetleniem i powiadomienia awaryjne (Various Speakers, 2016). Efektywność energetyczna i oszczędność energii stają się coraz ważniejsze, zwłaszcza biorąc pod uwagę mandaty rządowe w wielu jurysdykcjach dotyczące zmniejszenia zużycia energii o 20% do 2020 lub 2025 roku; Możliwości oparte na IoT mogą ułatwić osiągnięcie tych celów (np. śledzenie energii elektrycznej wykorzystywanej przez różne systemy i urządzenia w budynku poprzez monitorowanie danych o zużyciu energii z inteligentnego licznika). Oczywiście, wspomniane wyżej aplikacje IoT dla inteligentnych budynków (na przykład zamieszkiwanie, oświetlenie, pozyskiwanie światła dziennego, kontrola dostępu, bezpieczeństwo przeciwpożarowe itp.) można również uznać za część aplikacji inteligentnych kampusów. W przypadku bezprzewodowej łączności IoT w kampusach zazwyczaj można korzystać z nielicencjonowanych pasm przemysłowych, naukowych i medycznych (ISM). Chociaż istnieje wiele takich pasm, nielicencjonowane pasmo radiowe ISM o częstotliwości 900 MHz (w szczególności 902-928 MHz) jest często optymalnie wykorzystywane ze względu na lepszą wydajność związaną z pogodą i mniejsze przeciążenie Wi-Fi i innymi urządzeniami (działającymi w sieci 2,4 lub pasma 5 GHz); 900 MHz obsługuje również „łącza dalekobieżne”, które mogą obejmować kilka mil. Jednak usługi bezprzewodowe działające w pasmach ISM muszą wewnętrznie akceptować potencjalne zakłócenia od innych użytkowników, ponieważ nie ma prawnej ochrony przed działaniem innych urządzeń ISM: transmisje z pobliskich urządzeń korzystających z ISM (np. inne podobne radia, telefony bezprzewodowe, urządzenia Bluetooth) mogą powodować zakłócenia elektromagnetyczne i zakłócać komunikację radiową na tej samej częstotliwości. Na szczęście istnieją ograniczenia mocy nakazane przez FCC w celu zminimalizowania zakłóceń, a zatem nielicencjonowani użytkownicy o niskim poborze mocy mogą na ogół działać w tych pasmach bez wpływu lub powodowania problemów innym użytkownikom ISM. Tradycyjne techniki widma rozproszonego, w których sygnał radiowy generowany z określonym pasmem jest z założenia rozproszony w domenę częstotliwości w sygnał o znacznie szerszym paśmie, również zmniejszą zakłócenia (jednak system z widmem rozproszonym jest nieco droższy niż normalny nadajnik- odbiorniki.) Inne dostępne pasma obejmują pasmo V (od 40 do 75 GHz) i Pasma E (od 60 do 90 GHz); te pasma, odpowiadające falom milimetrycznym, dopiero teraz zaczynają być szeroko stosowane; zazwyczaj obsługują one bezprzewodowy Gigabit Ethernet w obszarach metropolitalnych i mogą zastąpić fizyczne światłowody na krótkich dystansach (kilku mil).

Inteligentna siatka

Inteligentne miasta czerpią korzyści z obsługi przez inteligentne sieci (SG). SG to ewolucja sieci elektroenergetycznej, która integruje działalność odbiorców energii, wytwórców energii, sieci dystrybucyjnej i urządzeń podłączonych do sieci (np. podstacji, transformatorów itp.). Celem SG jest ekonomiczne i wydajne dostarczanie zrównoważonych, niezawodnych i bezpiecznych dostaw energii elektrycznej. Niezawodne i opłacalne dostarczanie energii ma oczywiście kluczowe znaczenie dla miast; w ten sposób GP wspierają paradygmat inteligentnego miasta. Technologia M2M/IoT została zaprojektowana do automatycznej wymiany danych między urządzeniami, a zatem ma zastosowanie

do GP. Komunikacja M2M odbywa się między dwoma lub więcej jednostkami mechanicznymi, które rutynowo unikają bezpośredniej interwencji człowieka. Dzięki technologii M2M organizacje śledzą zasoby i zarządzają nimi; inwentarze; floty transportowe; rurociągi naftowe i gazowe; kopalnie; rozbudowana infrastruktura; zjawiska naturalne, takie jak warunki pogodowe, produkcja rolna, stan leśnictwa, przepływy wód; oraz, jak już wspomniano, GP. Komunikacja bezprzewodowa to podstawa M2M. Te technologie bezprzewodowe obejmują nielicencjonowaną łączność lokalną (tzw. mgłą), licencjonowane satelity komórkowe 3G / 4G / 5G po niską orbitę okołoziemską (LEO). Wszystkie te technologie są istotne dla GP. Przedsiębiorstwa użyteczności publicznej zaczęły stopniowo wspierać systemy SCADA (M2Mand Nadzorcze Kontroli i Pozyskiwania Danych) za pośrednictwem łączy bezprzewodowych i satelitarnych; te technologie łączności mają zastosowanie odpowiednio do GP w środowiskach miejskich i wiejskich, w szczególności w sektorze przestrzeni przesyłowej i dystrybucyjnej (T&D). Inteligentną integrację informacji z działań użytkowników podłączonych do sieci elektroenergetycznej – odbiorców, wytwórców i sieci dystrybucyjnej – realizuje SG. Wydajne, zrównoważone, ekonomiczne i bezpieczne dostawy energii elektrycznej to główny cel SG. SG obejmuje różne etapy wytwarzania, dystrybucji i zużycia energii. Celem jest wykorzystanie mocy automatyzacji do lepszej kontroli dystrybucji, ekologicznej wydajności i zużycia. Technologie zarządzania SG są potrzebne do rozwiązania tych i powiązanych problemów z zarządzaniem energią. Branża energetyczna w coraz większym stopniu dąży do włączenia ICT w ogóle, a IoT w szczególności do swoich działań, w tym na obrzeżach; tak ulepszone sieci energetyczne są znane jako SG. Interesujące są trzy podstawowe zagadnienia: monitorowanie wiejskich systemów przesyłowych, obsługa odpowiedzi na żądanie (DR) oraz miejskie automatyczne czynniki liczników (AMR). Dobrze znane przykłady wykorzystania Internetu Rzeczy do efektywności energetycznej i interakcji z SG/AMI obejmują: inteligentne termostaty; inteligentne urządzenia, które mogą współpracować z systemem zarządzania energią SG opartym na DR (z wykorzystaniem aktuatorów na poziomie urządzenia); kontrola gniazd elektrycznych „na poziomie wtyczki”, gdzie niższe urządzenia końcowe mogą być włączane lub wyłączane zdalnie; Oświetlenie LED oparte na IoT i czujniki światła dziennego do „inteligentnego oświetlenia”, które nie tylko umożliwiają inteligentne scentralizowane (i/lub zdalne) sterowanie, ale także obniżają zużycie energii, jednocześnie poprawiając wrażenia mieszkańców; oraz zdolność konsumentów do wytwarzania zielonej energii odnawialnej i odsprzedania jej z powrotem do SG.

Optymalne wykorzystanie możliwości wideo i multimedialnych w IOT

Rozwijające się aplikacje IoT zorientowane na wideo i multimedia, mające zastosowanie w inteligentnych miastach (na przykład monitoring wideo, czujniki ruchu, sieci społecznościowe, a nawet wideo/czujniki oparte na dronach) mogą wykorzystywać nowo opracowany algorytm High Efficiency Video Coding (HEVC) (ISO/ IEC 23008-2 i zalecenie ITU-T H.265. HEVC ma taką samą strukturę jak MPEG-2 i H.264/AVC (zaawansowane kodowanie wideo), ale zapewnia bardziej wydajną kompresję wideo . W szczególności może zapewnić taką samą rozdzielczość obrazu jak H.264/AVC, ale z niższą szybkością kodowania danych lub może zapewnić lepszą rozdzielczość obrazu niż H.264/AVC, ale przy tej samej szybkości transmisji danych kodowania. Niższa szybkość transmisji danych jest użyteczna w IoT nie tylko ze względu na praktyczność transmisji, zwłaszcza gdy wykorzystywane są sieci bezprzewodowe, ale także pod względem przechowywania, jeśli informacje są agregowane centralnie w celu wsparcia analityki . Celem HEVC jest osiągnięcie przyrostu kompresji o 50% w porównaniu z H264/AVC. Powiązaniem kompromisem jest jednak to, że koder/dekoder staje się bardziej złożony. Celem projektu było to, aby koder miał co najwyżej dziesięciokrotny wzrost złożoności bazowego procesora DSP dla aspektu kodowania i maksymalnie 66% wzrost złożoności dla dekodera. Zwiększona złożoność obliczeniowa wymaga bardziej zaawansowanych zestawów chipów dla sprzętu wykorzystującego ten algorytm, a także zwiększenia zużycia energii (i skrócenia żywotności baterii (Minoli, 2008)). Podczas gdy aplikacje rozrywkowe UltraHD mogą decydować się na poprawę jakości

przy tej samej szybkości transmisji danych, co starsze H.264/AVC, aplikacje multimedialne IoT stosowane w inteligentnych miastach prawdopodobnie będą preferować (i) określoną jakość przy zmniejszonej przepustowości; lub (ii) w zależności od zastosowania, obniżoną jakość przy zmniejszonej przepustowości; lub (iii) nawet trzymanie się H.264/AVC w celu uzyskania tańszych i bardziej energooszczędnych punktów końcowych, szczególnie w przypadku węzłów mobilnych, na przykład w aplikacjach crowdsensing lub wearable / wszechobecnych (aplikacje zorientowane na pojazdy, takie jak V2V lub V2I może nie mieć tych ograniczeń mocy).) Jakość usług (QoS) i jakość doświadczenia (QoE) mają kluczowe znaczenie, zwłaszcza gdy liczba punktów końcowych wzrasta, a te punkty końcowe znajdują się w gęsto zaludnionych obszarach takie jak miasto, a nawet stadion lub centrum konferencyjne. Poleganie na technologii bezprzewodowej powoduje również konieczność efektywnego wykorzystania przepustowości kanału. Wydajna kompresja jest pierwszym krokiem w rozwiązywaniu problemu ogólnego zarządzania ruchem w warunkach zwiększonego wdrażania/użytkowania, ewolucji w kierunku multimediiów i koncentracji w dużych środowiskach miejskich. Powszechnie wiadomo, że klatki wideo mają powtarzalne struktury. W związku z tym kolor piksela może pochodzić z koloru jego sąsiadów w tej samej klatce (intraframe, znany również jako „intra”) lub z ostatnich ramek (interframe, znany również jako „inter”) – szczególnie, gdy obiekty poruszają się w jakiś normalny, przewidywalny sposób. Podstawowym podejściem jest zakodowanie bloku pikseli jako prognozy plus delta z tej prognozy; informacja delta zazwyczaj wymaga mniejszej liczby bitów, niż miałyby to miejsce przy bezpośrednim kodowaniu wartości pikseli, a tym samym osiągnięciu kompresji treści. W porównaniu z H.264/AVC, HEVC wykorzystuje rekurencyjną strukturę drzewa czwórkowego do partycjonowania ramek, wykorzystuje większe transformacje bloków, wykorzystuje wydajniejsze przewidywanie wektora ruchu i kompensację ruchu, wykorzystuje dodatkowe adaptacyjne filtrowanie przesunięcia próbki i wykorzystuje ulepszenie do H.264 Kontekstadaptacyjne Binarne Kodowanie Arytmetyczne (CABAC), znane jako Contextadaptacyjne Binarne Kodowanie Arytmetyczne (SBAC) . Inne techniki QoS/QoE dla multimediiów, które mają szczególne zastosowanie w IoT, wymagają właściwego zarządzania priorytetami ramek I, P i B, odrzucając niektóre ramki w razie potrzeby (w przypadku przeciążenia), jak omówiono w Ghazal i in. (2015). Techniki te są szczególnie interesujące ze względu na niedobór mocy i przepustowości urządzeń IoT.

Kluczowe technologie bazowe dla aplikacji IOT Smart Cities

Aby skutecznie wspierać inteligentne miasta, potrzebnych jest wiele podstawowych technologii IoT. W tej sekcji omówiono dwie z tych technologii: bezprzewodową MIPv6 i 5G. Oczekuje się, że IoT może w niedalekiej przyszłości szeroko objąć IPv6, ze względu na obfite przestrzenie adresowe IPv6 oraz ponieważ globalnie unikalna identyfikacja i łączność obiektów (rzeczy) może być zapewniona w znormalizowany sposób bez dodatkowego statusu lub (ponownego) przetwarzania adresu, jest to jego nieodłączna przewaga nad IPv4 lub innymi schematami (niektóre z proponowanych protokołów stwierdzają jednak, że obiekt powinien mieć swój własny identyfikator, który może nie być unikalny w ramach określonej aplikacji, ale całość miałaby unikalny adres – te propozycje chcą trzymać identyfikator oddzielnie od adresu.) IPv6 oferuje dużą przestrzeń adresową 2¹²⁸; stąd liczba dostępnych unikalnych adresatów węzłów wynosi 2¹²⁸–10³⁹. Oprócz rozszerzonych możliwości adresowania, inne zalety IPv6, które mogą okazać się przydatne w zastosowaniach inteligentnych miast, obejmują skalowalność, mechanizmy „plug and play”, które ułatwiają podłączanie sprzętu do sieci oraz zarządzanie mobilnością. Ze względu na dużą populację użytkowników (i czujników) w środowisku miejskim, korzystanie z IPv6 i rozszerzeń mobilności, na przykład MIPv6 i Proxy MIPv6 (PMIPv6), ma sens techniczny. Chociaż dostępnych jest wiele schematów adresowania (i można ich używać w różnych warstwach protokołu), na przykład 48-bitowy rozszerzony unikalny identyfikator IEEE (EUI-48) i 64-bitowy rozszerzony unikalny identyfikator (EUI-64) używany dla IEEE 802 Adresy MAC

lub przestrzeń adresowa ITU-T E.164 (do 15 cyfr plus prefiks połączenia międzynarodowego), adres warstwy sieciowej jest potrzebny do optymalnego, szerokiego wdrożenia urządzeń IoT. W tym kontekście użyteczna liczba adresów publicznych w IPv4 wynosi mniej niż około 3,8 miliarda (teoretyczne maksimum mieści się w przedziale 4,3 miliarda). Organizacje wykorzystywały funkcję translatora adresów sieciowych (NAT) lub mechanizmy serwera proxy do jednoczesnego budowania prywatnych intranetów lub ekstranetów zamkniętych grup użytkowników, a także komunikowania się z podmiotami w publicznym Internecie. Ponadto ostatnio IANA przyznała blok adresowy 100.64.0.0/10 (lub około 4 milionów adresów) do użytku w tak zwanym NAT klasy operatorskiej; jest przeznaczony do użytku w sieciach operatorów umożliwiających przewoźnikom jednoznaczny identyfikację urządzeń dostępowych swoich klientów na obszarze działania danego operatora w dużym mieście, przy założeniu, że klient posiadał tylko jedno urządzenie (ostatnio obserwowaliśmy osoby z dwoma smartfonami, jeden do operacji firmowych, drugi do osobistego dostępu do mediów społecznościowych itd.) Taki schemat adresowania może być stosowany w krótkim okresie w środowiskach zorientowanych na mgłę (podsieci brzegowe). Jednak znacznie większa przestrzeń adresowa zapewniana przez IPv6 jest idealna dla aplikacji inteligentnych miast, zwłaszcza w niedalekiej przyszłości, kiedy może istnieć duży zestaw punktów końcowych (powiedzmy, że 5 razy większa liczba populacji, biorąc pod uwagę aplikacje inteligentnego domu, urządzenia do noszenia, czujniki ogólnomiejskie systemy itp).

Protokół IPv6 został pierwotnie zdefiniowany w 1995 r. w dokumencie IETF Request for Comments (RFC) 1883, a następnie udoskonalony w RFC 2460, „Specyfikacja protokołu internetowego w wersji 6 (IPv6)” (grudzień 1998 r.). W ostatnich latach pojawiła się duża liczba dodatkowych specyfikacji RFC (ponad 432 RFC według czasu publikacji), aby dodać możliwości i udoskonalić koncepcję IPv6 (w szczególności RFC 2460 jest aktualizowany przez RFC 5095, RFC 5722, RFC 5871, RFC 6437, RFC 6564, RFC 6935, RFC 6946, RFC 7045, RFC 7112). Mobilność jest obsługiwana przez protokoły MIPv6, w tym protokół zdefiniowany w RFC 3775 „Obsługa mobilności w IPv6” (czerwiec 2004), który zapewnia podstawową obsługę mobilności w warstwie sieciowej w środowisku IPv6 ; protokół ten oferuje ulepszony mechanizm wspierania zarządzania mobilnością bez konieczności ponownego inicjowania sesji wymaganej przez inne podejścia do mobilności. Jednym z przykładów aplikacji, dla której podejście MIPv6 jest idealne, jest wykrywanie tłumy w inteligentnych środowiskach miejskich/miejskich. Istnieje szeroki obszar aktywnych badań nad MIPv6 i powiązаныmi standardami: w ciągu ostatnich 12 lat (od 2004 r.) opracowano ponad 70 dokumentów RFC IETF. Rozszerzenia do RFC 3775 obejmują protokół Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol (RFC 3963, styczeń 2005); Hierarchiczne zarządzanie mobilnością mobilną IPv6 (RFC 4140/5380, sierpień 2005); Multihoming (RFC 4980, październik 2007); Multicast Mobility Routing dla Proxy Mobile IPv6 (RFC 7028, wrzesień 2013; Quality of Service dla Proxy Mobile IPv6 (maj 2014, RFC 7222) i Proxy Mobile IPv6 Extensions to Support Flow Mobility (RFC 7864, maj 2016). Prace również rozpoczęły się niedawno podjęte w związku z cyberbezpieczeństwem (np. uwierzytelnianie, autoryzacja i księgowanie – RFC 5637), optymalizacją funkcjonalną (różne dokumenty RFC) i użytkowaniem bezprzewodowym (RFC 7561).

Dodatkowo mechanizmy przejścia to metody stosowane do współistnienia urządzeń i sieci IPv4 i/lub IPv6. Na przykład „Tunel IPv6-w-IPv4” (tunel 6to4) to mechanizm przejścia, który umożliwia urządzeniom IPv6 komunikowanie się przez sieć IPv4. Ponadto opracowano również niektóre specyficzne protokoły IoT zorientowane na IPv6. Powszechnie wiadomo, że węzły IoT mają godne uwagi ograniczenia projektowe, które wpływają zarówno na działanie w warstwie fizycznej, jak i funkcje w warstwach wyższych. W tym celu w 2005 r. powołano Grupę Roboczą IETF (WG) w celu zdefiniowania IPv6 w standardzie IEEE 802.15.4, w szczególności wykorzystania IPv6 w sieciach rozległych o małej mocy (LPWAN). Grupa 6LoWPAN zdefiniowała mechanizmy enkapsulacji i kompresji

nagłówków, które umożliwiają przesyłanie pakietów IPv6 przez sieci oparte na IEEE 802.15.4. Podstawowa specyfikacja opracowana przez grupę 6LoWPAN IETF to RFC 4944 (wrzesień 2007), zaktualizowana w latach 2011-2012 przez RFC 6282 z kompresją nagłówków i RFC 6775 z optymalizacją wykrywania sąsiadów. Umożliwia routing siatki w warstwie łącza w topologii IP. 6LoWPAN może wykorzystywać 802.15.4 i inne warstwy PHY i ułatwia bezproblemową integrację z innymi systemami opartymi na protokole IP. Podczas gdy 6LoWPAN ma ogólnie niską przepustowość (w zakresie 250 kb/s), zastosowanie metod kompresji H.265 pozwala na jego wykorzystanie w niektórych aplikacjach multimedialnych IoT (np. Nadzór wideo). Mobilność nieodłącznie wiąże się z wykorzystaniem technologii bezprzewodowych, takich jak LPWAN, sieć komórkowa 3/4/5G lub typ satelitarny. Rysunek 12.4 przedstawia graficznie koncepcję zarządzania mobilnością, zwłaszcza w kontekście MIPv6, a także w kontekście inteligentnych miast (np. dla aplikacji crowdsensing, strumieniowania wideo i kontroli ruchu). Bardzo prawdopodobne, że aplikacje IoT w środowiskach inteligentnych miast będą szeroko wykorzystywać technologie bezprzewodowe, w tym podejścia SDR (radia definiowane programowo) i SON (sieć samoorganizująca się). W związku z tym istnieją dwa kluczowe czynniki stymulujące optymalizację inżynierii ruchu: (i) kanały bezprzewodowe są zwykle na wagę złota pod względem przepustowości (widmo nadal stanowi problem); (ii) istnieje chęć dokonania znaczących postępów na arenie multimedialnej; na przykład wymagania 5G rozważane przez 3GPP (dla Wersji 14) obejmują m.in. transmisję multimedialną dla systemów ostrzegania publicznego, usługi lokalizacyjne, wideo o znaczeniu krytycznym przez LTE, obsługę LTE dla funkcji Video-to-Everything (V2X) usługi, przechwytywanie wideo z dronów, usługi ratunkowe przez sieć WLAN i aplikacje inteligentnej sieci. Rozszerzając koncepcję poruszoną w ZTE Corporation (2015), można dostrzec to, co można nazwać „światem” łączności M8: Man–Man, Man–Machine, Machine–Machine, Mobile, MIPv6. Celem wprowadzenia ulepszonej mobilnej łączności szerokopasmowej (eMBB) jest jeden z trzech kluczowych przypadków użycia sieci 5G w ramach wizji IMT 2020 firmy ITU. Celem 5G jest ostatecznie zapewnienie przepustowości 1 Gb/s w środowiskach o wysokiej mobilności (szczytowa przepustowość 10 Gb/s w środowiskach quasi-stacjonarnych). Wcześniej omówiono nowe wyniki optymalizacji dostarczania multimediiów we wspieraniu (inteligentnych miast) aplikacji IoT (takich jak nadzór, sieci społecznościowe, crowdsensing). Optymalizację tę można przeprowadzić na poziomie zawartości (aplikacje znajdujące się powyżej warstwy 7 modelu OSI), jak omówiono wcześniej. Potrzebna jest jednak solidna obsługa QoS na poziomie sieci. Optymalizacja treści to jedno (przez analogię pomyśl o „odciążeniu” paczki wysyłanej przez Fedex, aby zmieściła się w mniejszym pudełku, co teoretycznie mogłoby usprawnić dostarczenie), ale na nic by się to nie zdało, gdyby Fedex nie zaplanował ruchu samolotu (np. protokołu lądowania), a paczka „utknęła” po drodze. Mechanizmy QoS zaproponowane i ocenione w RFC 7222, Quality-of-Service Option for Proxy Mobile IPv6 (maj 2014) i RFC 7561, Mapping Quality of Service Procedures of Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) i WLAN (czerwiec 2015) rzeczywiście zapewniają ważne mechanizmy w przyszłości. Nowe technologie dostępu radiowego (RAT) są analizowane pod kątem 5G, które wahają się od ogromnego, wielokrotnego wejścia wielokrotnego wyjścia (MIMO) (z setkami anten) do formowania wiązki, od nielicencjonowanego widma i powyżej pasma C (6 GHz) po fale milimetrowe (ukierunkowanie na region 60–80 GHz.) Jednym ze sposobów wsparcia ulepszonej mobilnej łączności szerokopasmowej (eMBB) jest wykorzystanie rodziny standardów MIPv6, która jest uzupełnieniem złożonych i zaawansowanych metod zwiększania dostępności pasma z wykorzystaniem zaawansowanej modulacji i małych komórek. MIPv6 umożliwi również 5G obsługę wyznaczonego celu migracji z nomadów do parzystych zastosowań lotniczych. 3GPP wykonało strategiczny i bardzo pomyślny krok naprzód dziesięć lat temu, kiedy przyjęło pełne podejście IP do telefonii (zdefiniowanym celem 3GPP w 1998 było opracowanie specyfikacji technicznych dla systemu mobilnego 3G). 5G daje możliwość dokonania kolejnego skoku w kierunku opartego na protokole IPv6 podejścia do komunikacji multimedialnej ze starszym wsparciem innych protokołów.

W rzeczywistości niedawno 3GPP opublikowało specyfikacje, które wykorzystują MIPv6. Zarządzanie mobilnością w ramach roamingu jest bardziej prawdopodobne, że będzie potrzebne i/lub występuje w środowisku miejskim niż w bardziej rzadkim środowisku wiejskim, a zatem ma zastosowanie do aplikacji inteligentnego miasta. 3GPP TS 123 402 v13.5.0 (2016-04) zauważa, że punkty odniesienia S5 i S8 w architekturze Evolved Packet Core (EPC) zostały zdefiniowane tak, aby obsługiwać zarówno protokół tunelowania GTP (General Packet Radio System [GPRS]), jak i PMIPv6 (Proxy Mobile IP w wersji 6) stos protokołów. Stos PMIPv6 jest opisany w TS 23.402 (UMTS, 2016), a stos GTP jest opisany w TS 23.401 (GPRS, 2012). 3GPP TS 29.275, Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6-opublikowany również jako ETSI TS 129 275 V13.4.0, 2016-03) (PMIP, 2016)-określa mechanizmy protokołu, które mają być używane przez S2a, S2b, S5 i S8 oparte na PMIPv6 punkty odniesienia określone w 3GPP TS 23.402 (omówione później). Rysunek 12.5 przedstawia stos protokołów oparty na PMIPv6. Protokoły mają zastosowanie do Serving GW (Gateway), PDN (Packet Data Network) Gateway, ePDG (Evolved Packet Data Gateway) i Trusted Non-3GPP Access. Co ważne, obejmuje on:

- * Procedury zarządzania mobilnością
- * Procedury zarządzania tunelami
- * Procedury zarządzania ścieżkami
- * Opis S5 oparty na PMIPv6 i S8 oparty na PMIPv6
- * Zaufany dostęp inny niż 3GPP przez opis S2a
- * Niezaufany dostęp inny niż 3GPP przez opis S2b
- * Łączenie S2a i S2b z opisem S8 opartym na PMIPv6

Środowisko EPC bardzo precyzyjnie definiuje interfejsy między różnymi elementami funkcjonalnymi, które uczestniczą w ulepszonym środowisku mobilnej łączności szerokopasmowej, oraz protokoły dozwolone przez te interfejsy, aby wspierać globalną interoperacyjność. Rysunek 12.6 przedstawia jeden przykład środowiska EPC i cytowane punkty odniesienia. Tabela 12.4 definiuje interfejsy architektoniczne opisane, gdy używany jest MIPv6 (a dokładniej PMIPv6); chociaż technologia jest dość złożona, dla czytelnika wnioskiem jest to, że MIPv6 jest stosowany do zadań związanych z zarządzaniem mobilnością w zaawansowanych sieciach komórkowych 4G/5G, które prawdopodobnie będą miały krytyczne znaczenie w przyszłych zastosowaniach inteligentnych miast. Uwzględnienie QoS dla środowiska MIPv6 zostało również zbadane w środowisku 3GPP. Oczekuje się, że w niedalekiej przyszłości zostanie wdrożone zastosowanie dobrze rozwiniętej maszyny MIPv6 do zarządzania mobilnością, w szczególności do ulepszonych mobilnych łączności szerokopasmowych, IoT i inteligentnych miast. Wymagania dotyczące dużej gęstości w środowiskach miejskich, w szczególności napędzane mnóstwem nowych aplikacji zorientowanych na IoT, będą wymagały postępu technicznego zapewnianego przez 5G. Chociaż technologia 5G może obrać kilka kierunków usług, wydaje się, że wizja superszybkiej sieci komórkowej, w której gęsto skupione małe komórki zapewniają ciągły zasięg miejski, jest ścieżką, którą obiorą zespoły opracowujące standardy i wdrażający. METIS (Mobile and wireless communication Enablers for the Twenty-twenty Information Society – zintegrowany wysiłek Wspólnoty Europejskiej 2012-15 uważany za flagową europejską inicjatywę 5G) zalecił, aby 5G musiało wspierać następujące elementy:

- * Znacznie bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące opóźnień i niezawodności dla aplikacji związanych z opieką zdrowotną, bezpieczeństwem, logistyką, aplikacjami motoryzacyjnymi lub kontrolą o znaczeniu krytycznym.

* Szeroki zakres szybkości transmisji danych (do wielu Gb/s i dziesiątki Mb/s) gwarantujący wysoką dostępność i niezawodność.

* Skalowalność sieci i elastyczność w celu obsługi dużej liczby urządzeń o bardzo małej złożoności przy bardzo długim czasie pracy baterii.

5G to technologia dla środowisk miejskich, a więc technologia, która może rozwijać wiele aplikacji IoT w inteligentnych miastach – a dokładniej, obsługa usług IoT, M2M i D2D jest nieodłącznie włączona do pojawiających się planów 5G. Celem technicznym 5G jest opracowanie rozwiązań technicznych dla systemu obsługującego:

* 1000× większa ilość danych mobilnych na obszar

* 10 -100× większa liczba urządzeń

* 10-100× wyższe szybkości transmisji danych użytkownika

* 10-krotnie dłuższa żywotność baterii w przypadku urządzeń IoT o niskim poborze mocy

* 5× zmniejszona latencja end-to-end

Obserwatorzy twierdzą, że rozwój społeczny doprowadzi do zmian w sposobie korzystania z systemów komunikacji bezprzewodowej, a te zmiany doprowadzą do znacznego wzrostu natężenia ruchu mobilnego i bezprzewodowego, który według prognoz wzrośnie 1000-krotnie w ciągu następnej dekady. Aplikacje napędzające ruch bezprzewodowy obejmują między innymi informacje mobilne na żądanie i rozrywkę w wysokiej rozdzielczości, rozszerzoną rzeczywistość, e-zdrowie i wszechobecne wdrażanie IoT. Prace normalizacyjne dotyczące 5G zostały podjęte przez organizacje międzynarodowe, takie jak ITU-R, w celu osiągnięcia jednego ujednoczonego globalnego standardu. Wiele znanych ośrodków badawczych, uniwersytetów, organów normalizacyjnych, przewoźników i dostawców technologii jest obecnie zaangażowanych w rozwój tej technologii. Prace rozwojowe trwają od kilku lat, ale nabierają tempa po Światowej Konferencji Radiowej w 2012 r. (WRC'12), na której priorytetem było badanie nowych koncepcji systemowych, po czym nastąpił okres optymalizacji i standaryzacji obejmujący ramy czasowe 2015–2018, zarezerwowany przez WRC'15 i WRC'18. W czasie prasy kraje i przewoźnicy na całym świecie zaczęli przedstawiać potencjalne plany wdrożenia. Oczekuje się, że wdrożenie rozpocznie się w 2018 r. w niektórych zaawansowanych krajach, chociaż dalszy rozwój podstaw będzie kontynuowany. W Stanach Zjednoczonych komercyjne usługi 5G mają zacząć pojawiać się w 2020 r.; oczywiście oczekuje się, że obecne 4G/LTE i 5G będą współistnieć przez wiele lat. W Stanach Zjednoczonych Verizon Wireless i AT&T rozpoczęły testy 5G w 2017 r., a pierwsze komercyjne wdrożenia spodziewane są w 2020 r. Verizon Wireless stał się pierwszym amerykańskim operatorem, który zdefiniował (w 2016 r.) niektóre szczegóły techniczne swojej wizji 5G, a plan zawierający szczegóły testowania nowych technik przetwarzania macierzy wieloantenowych, technologii agregacji nośników i wykorzystania szerokiego pasma; firma podejmuje próby, współpracując z KT Corporation, Samsung i Nokia. W Japonii NTT DoCoMo bada wykorzystanie widma fal milimetrowych i przeprowadziło swoje pierwsze 5G in 2016. W Korei Południowej KT Corporation planuje zaprezentować swoją technologię 5G przed Igrzyskami Olimpijskimi w 2018 roku. W Chinach Akademia Badań Telekomunikacyjnych uruchomiła trzyletni program badawczy 5G. W Wielkiej Brytanii University of Cambridge opublikował kompleksowy plan dotyczący technologii komunikacji mobilnej i bezprzewodowej 5G, a rząd podobno planował uwolnienie 750 MHz widma do 2022 r. i odłożył część swojego budżetu na badania i rozwój. W Europie kontynentalnej 20 firm telekomunikacyjnych, w tym Nokia, Vodafone, BT i Deutsche Telekom, wskazało, że planuje zainwestować w technologię 5G do 2018 r., ale tylko pod pewnymi ulgami regulacyjnymi sieci 5G będą pięciokrotnie szybsze niż najwyższa

aktualna prędkość dzisiejszej sieci 4G (o szybkości pobierania do 5 Gb/s - 4G oferujące maksymalnie 1 Gb/s). Te szybsze sieci będą wykorzystywać do działania znacznie wyższe pasma częstotliwości niż obecnie używane przez systemy komórkowe, w tym częstotliwości fal milimetrowych (pasma te wahają się od 28 do 73 GHz, w szczególności pasma 28, 38, 60 i 72-73 GHz). Te docelowe częstotliwości komórkowe nakładają się zatem na transmisje w paśmie K satelitów komunikacyjnych: Niektóre z proponowanych pasm są od dawna używane w ścieżkach mikrofalowych punkt-punkt, telewizji satelitarnej Direct Broadcast i systemach satelitarnych o wysokiej przepustowości. Niektóre szczegóły projektu to opóźnienie poniżej 5 ms, obsługa gęstości urządzeń do 100 urządzeń/m², niezawodny obszar zasięgu, integracja usług telekomunikacyjnych, w tym usług mobilnych, stacjonarnych, optycznych i średniej orbity okołoziemskiej/geosynchronicznej orbity okołoziemskiej (MEO/ GEO) satelity i wsparcie dla ekosystemu IoT. W 2016 roku FCC zatwierdziło widmo dla 5G, w tym pasma 28, 37 i 39 GHz. Początkowo 5G będzie korzystać z pasma 28 GHz, ale najprawdopodobniej później będą wykorzystywane wyższe pasma. Do tej pory sieci komórkowe korzystały z częstotliwości poniżej 6GHz. Niższe częstotliwości są mniej podatne na niekorzystne warunki pogodowe, mogą podróżować na większe odległości i łatwiej przenikać przez ściany budynków. Fale o wyższych częstotliwościach w naturalny sposób nie rozchodzą się tak daleko ani nie przechodzą tak łatwo przez obiekty. Jednak znacznie większa przepustowość kanału jest dostępna w pasmach fal milimetrowych. Jednak początkowe implementacje będą obsługiwać maksymalną prędkość 1 Gb/s. Nowe generacje telefonów komórkowych mają zwykle przypisywane nowe pasma częstotliwości i szersze pasmo widmowe na kanał częstotliwości (1G do 30 kHz, 2G do 200 kHz, 3G do 5 MHz i 4G do 20 MHz). Integracja nowych koncepcji radiowych, takich jak Ogromne technologie antenowe MIMO, ultragęste sieci, ruchome sieci, urządzenia z urządzeniami, ultraniezawodna i masowa komunikacja maszynowa pozwolą 5G obsłużyć oczekiwany wzrost wolumenu danych w miejskich środowiskach mobilnych, otwierając drzwi dla nowych zastosowań. Deweloperzy przewidujący potrzebę „innovacyjnego wykorzystania widma” i podejścia „małych komórek” muszą zająć się niedoborem widma, ale jednocześnie uwzględnić geografie. Oprócz nowych pasm, oczekuje się, że technologia 5G będzie wykorzystywać kształtowanie wiązki i śledzenie wiązki, gdzie antena komórki może skupić swój sygnał, aby dotrzeć do konkretnego urządzenia mobilnego, a następnie śledzić to urządzenie podczas jego poruszania się. MassiveMIMO to węzeł transmisyjny (stacja bazowa) wyposażony w dużą liczbę (setki) anten, które jednocześnie obsługują wielu użytkowników; dzięki tej technologii wiele komunikatów może być przesyłanych do kilku terminali w tym samym czasie - zasobie częstotliwości. Beamforming wykorzystuje dużą liczbę (setki) anten na stacjach bazowych w celu uzyskania wysoce kierunkowych wiązek antenowych, które można „sterować” w pożądanym kierunku, aby zoptymalizować wydajność transmisji, w tym przepustowość.

Wyzwania i przyszłe badania

Jak już wspomniano, nie wszystkie problemy, które mają wpływ na miasta, można rozwiązać za pomocą technologii IoT. Ale nawet w tych przypadkach, w których technologie mogą mieć zastosowanie, pojawiają się wyzwania. Niektóre z głównych wyzwań związanych z wprowadzeniem usług IoT na szeroką skalę w środowiskach miejskich obejmują:

* Brak powszechnie przyjętych standardów IoT, zwłaszcza na wyższych warstwach; użytkownicy pozostają z koniecznością wybrania systemu dostawcy i nie tylko „utknęli” z tym dostawcą, ale nie są w stanie szerzej się rozwijać i łączyć z innymi systemami.

* Różne aplikacje (np. zarządzanie ruchem, zarządzanie infrastrukturą, zarządzanie energią, nadzór i transport publiczny) są obecnie i w przewidywalnej przyszłości autonomicznymi rozwiązaniami i silosami technologicznymi: administratorzy muszą wdrażać oddzielne i podzielone systemy zamiast

jednego wszechogarniający system, system, który mógłby dzielić dane i informacje pomiędzy dyskretnymi podsystemami; interoperacyjność jest wyraźnie problemem.

* Skalowalność pozostaje problemem: w miarę wzrostu populacji użytkowników miejskich, czy protokoły, architektury i systemy analityczne będą w stanie nadążyć i/lub płynnie rosnąć?

* Niezawodność systemu staje się problemem, ponieważ ludzie zaczynają bardziej konsekwentnie polegać na usługach (np. inteligentnych usługach) oferowanych przez miasta i gminy.

* Kwestie związane z bezpieczeństwem, poufnością i prywatnością staną się coraz bardziej naglące, ponieważ Internet Rzeczy stanie się bardziej wszechobecny w życiu ludzi. Na przykład w aplikacjach crowdsensing można śledzić osoby i/lub dane wrażliwe, które na sobie zebrały, w tym dane dotyczące kondycji i ćwiczeń. Każde urządzenie IoT stanowi powierzchnię ataku, która może powodować zagrożenie bezpieczeństwa bardziej niż przeciętny komputer w sieci. Ostatnie badania wykazały, że tylko ułamek urządzeń IoT ma wbudowane solidne mechanizmy bezpieczeństwa: większość obiektów w nowym połączonym świecie jest opracowywana z minimalnymi funkcjami bezpieczeństwa, co czyni je bardzo wrażliwymi punktami końcowymi. W związku z tym na sieci inteligentnych miast spoczywa obowiązek zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa wymaganego dla każdego obiektu.

* Korzystanie z sieci bezprzewodowych, zwłaszcza w zatłoczonych obszarach miejskich, obciąży widmo radiowe, a nowe pasma częstotliwości będą musiały zostać przydzielone; Technologie 5G mają na celu rozwiązanie niektórych z tych problemów. Wiele aplikacji miejskich musi być finansowanych, zamawianych i administrowanych dzięki biurokratycznym wysiłkom władz miejskich; nie zawsze wiadomo, że są sprawne, dobrze finansowane i „na bieżąco” z najnowszymi technologiami, zwłaszcza w kontekście innych palących problemów często dotyczących miasta (np. przestępczość, bezrobocie, starzejąca się infrastruktura).

Pomimo tych wyzwań, wielu jest optymistami, że technologia będzie stopniowo wdzierać się w tkanekę miasta. Szereg problemów technologicznych zidentyfikowanych powyżej jest intensywnie badanych w celu rozwiązania pozostałych problemów. Na przykład badacze i programiści IoT uznali, że standardy mają kluczowe znaczenie dla powodzenia wdrażania inteligentnych miast. Klasyczne korzyści z normalizacji obejmują interoperacyjność, powtarzalność, możliwość ponownego użycia i obniżone koszty. Badania wykazały, że można osiągnąć szybsze wdrożenie (przyspieszenie o około 30%) i redukcję kosztów rzeczywistych wydatków przez agencje miejskie (redukcja o 30% do 2025 r. w porównaniu ze status quo zastrzeżonym przez dostawców) (Biała księga Machina Research White Paper, 2016). Dlatego ważne jest, aby nadal opracowywać odpowiednie standardy obejmujące rdzeń, mgły, a być może nawet analizy. Oczekuje się, że nowe badania nad 5G doprowadzą do fundamentalnych zmian w projektowaniu systemów komórkowych, czyniąc przepustowość bardziej opłacalną, a tym samym nadającą się do wykorzystania w aplikacjach IoT i inteligentnych miastach. Duża przepustowość będzie również wspierać zorientowane na multimedia aplikacje inteligentnego miasta IoT. Technologie, które mogą prowadzić do zmian konstrukcyjnych, które zakłócają zarówno architekturę, jak i komponenty, obejmują zwiększoną inteligencję urzędnika, natywną obsługę komunikacji maszyna-maszyna, architektury zorientowane na urządzenie, masywne MIMO, a nawet łączność fal milimetrowych z mikrofalami. Badania nad cyberbezpieczeństwem mają również kluczowe znaczenie dla zastosowań inteligentnych miast, zwłaszcza w kontekście zarządzania infrastrukturą (np. sieci energetycznych, gospodarki wodno-ściekowej, przepływów ruchu i nadzoru). Należy również lepiej zrozumieć i zająć się traktowaniem Big Data generowanych przez system obejmujący całe miasto

Wniosek

Wdrażanie Internetu Rzeczy we wspieraniu inteligentnych miast daje wiele zastosowań i możliwości. Istnieje obietnica poprawy zarządzania zasobami; przepływ towarów, ludzi i pojazdów; poprawiona jakość życia w mieście; zazielenianie środowiska poprzez optymalizację zużycia energii; oraz maksymalizacja efektywności życiowej. Władze miast na ogół mają pilne obawy, które uniemożliwiają im „wczesną adaptację” jako samodzielne podmioty: W praktyce wdrażanie (a nawet rozwój) systemów inteligentnych miast opiera się na podejściu partnerstwa publiczno-prywatnego. Takie podejście do wdrażania może być kontynuowane, ale istnieje potrzeba dodatkowej standaryzacji protokołów i architektur. Oczekuje się, że gama zastosowań IoT w kontekście inteligentnych miast będzie nadal rosła, zwłaszcza że szerokopasmowa łączność w całym mieście stanie się szerzej dostępna w ramach planowanego na następną dekadę wdrożenia 5G, a taka łączność jest z założenia zoptymalizowana pod kątem aplikacji map M2 (podczas gdy poprzednie generacje tej technologii zostały zoptymalizowane pod kątem interakcji międzyludzkich.) W tym czasie w miastach mieszka już cztery miliardy ludzi, dlatego zastosowanie ICT i IoT we wszystkich aspektach życia w mieście jest niepodważalnym imperatywem. Jak zauważył niedawno Departament Spraw Gospodarczych i Społecznych Organizacji Narodów Zjednoczonych: „Ponieważ świat nadal się urbanizuje, wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem będą coraz bardziej koncentrować się w miastach, szczególnie w krajach o niższych średnich dochodach, gdzie tempo urbanizacji jest najszybsze. Potrzebne są zintegrowane polityki mające na celu poprawę życia zarówno mieszkańców miast, jak i wsi” (ONZ, 2014). IoT okaże się niezbędnym narzędziem do rozwiązywania tych wielu zmieniających się wyzwań miejskich.