

Przemysłowy Internet Rzeczy

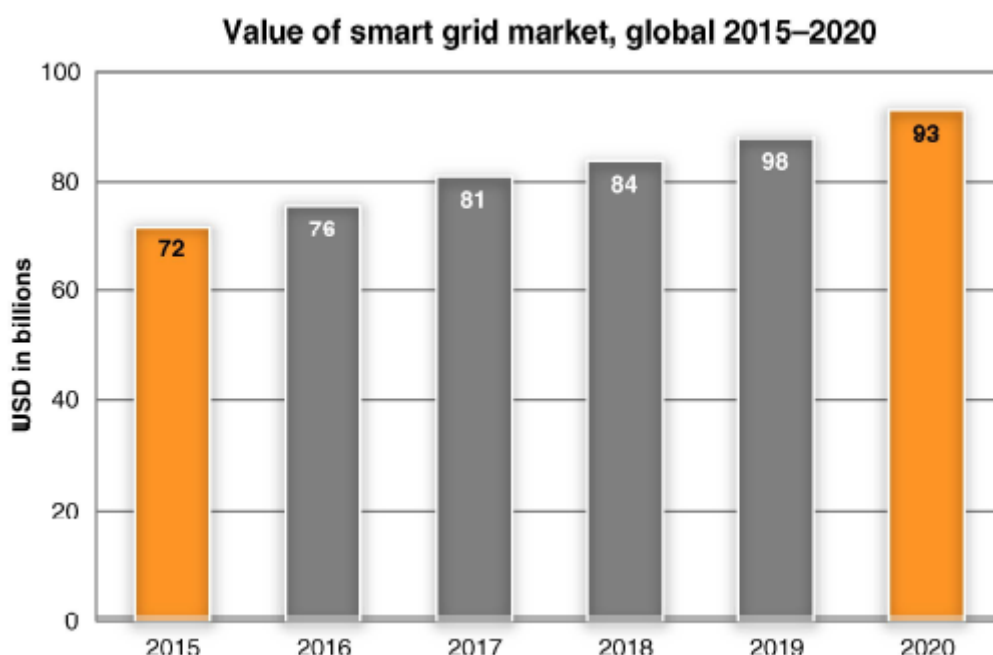
W przypadku zastosowań przemysłowych komputery zostały wprowadzone w ciągu ostatnich dziesięcioleci, głównie w celu spełnienia określonych wymagań, takich jak spełnienie trudnych czasów odpowiedzi w czasie rzeczywistym lub niezawodne działanie w bardzo trudnych warunkach. Ich zadaniem było i nadal jest automatyzacja fizycznych pętli sterowania, przetwarzanie sygnałów wejściowych i wyzwalanie sygnałów uruchamiających w oparciu o zebrane informacje. Systemy te są częścią Technologii Operacyjnej (OT). Odpowiednie obszary zastosowań obejmują energię, opiekę zdrowotną, produkcję, inteligentne miasta i transport. Ten rozwój znacznie zwiększył wydajność lokalnych procesów w tych i innych domenach aplikacji, a ich korzyści nie można odrzucać. Obecnie żyjemy jednak w połączonym świecie. Sieci urządzeń, procesów i usług nieustannie wymieniają między sobą dane i umożliwiają współpracę przy wspólnym zadaniu. Oczekuje się, że pod parasolem Internetu rzeczy (IoT) liczba połączonych ze sobą urządzeń wzrośnie wykładniczo do 30 miliardów urządzeń do 2020 roku. Jak opisano w poprzednich rozdziałach, rozwój ten będzie dużą siłą napędową wzrostu gospodarczego w przewidywalnej przyszłości. Na przykład firma Woodside Capital Partners oszacowała, że usługi o wartości dodanej związane z IoT wzrosną z 50 mld USD w 2012 r. do 120 mld USD w 2018 r., osiągając około 16% rocznej stopy wzrostu (CAGR) w okresie prognozy (Woodside Capital Partners, 2015). Prawdopodobnie przemysłowy Internet rzeczy (IIoT) będzie największym motorem wydajności w przyszłości. Ta koncepcja, czyli wykorzystanie technologii IoT w domenach przemysłowych, nazywana jest również Internetem Przemysłowym, a wartość rynku z nim związana szacuje się na 124 mld USD do 2021 r. przy wysokim CAGR. Dlatego na przykład w Niemczech 80% wszystkich korporacji branżowych będzie już mieć swój łańcuch wartości zdigitalizowany do 2020 r. (, aby uczestniczyć w tej zmianie paradygmatu. Środek zaradczy w celu złagodzenia rozwoju, który może zainspirować czytelnika do bardziej szczegółowego zbadania tematu cyfryzacji: 40% udziału w światowej produkcji mają już kraje rozwijające się i podwoiły swój udział w ciągu ostatnich dwóch dekad; Z kolei Europa Zachodnia straciła ponad 10% udziału w produkcji. Zgodnie z definicją Gartnera^{1,2} OT powoduje zmianę poprzez bezpośrednie monitorowanie i kontrolę urządzeń fizycznych. OT jest tradycyjnie kojarzony ze środowiskami przemysłowymi wykorzystującymi niesieciową, wbudowaną, zastrzeżoną technologię, która zwykle nie generuje danych dla przedsiębiorstwa. Z drugiej strony technologia informacyjno-komunikacyjna (ICT) z natury obejmuje całe spektrum technologii przetwarzania informacji i otwartej komunikacji. Dlatego systemy OT i ICT historycznie wybierały różne podejścia technologiczne, co sprawia, że zastosowanie mechanizmów IIoT jest trudnym zadaniem. Niemniej jednak, aby umożliwić transformację cyfrową w przemysłowych łańcuchach wartości, oba światy muszą się zbliżyć. Kluczowym aspektem w tym zakresie jest interoperacyjność między systemami. Począwszy od aspektów technicznych, takich jak mechanizmy łączności i protokoły komunikacyjne, obejmuje to również zgodność syntaktyczną i semantyczną, a także interoperacyjność organizacyjną. W celu skoordynowania wysiłków, przedyskutowania różnych aspektów ekonomicznych i technicznych oraz osiągnięcia porozumienia w sprawie wspólnych koncepcji, szereg sojuszy, inicjatyw i Organizacji Opracowujących Standardy (SDO) współpracuje na różnych poziomach. Ta część zawiera ogólny przegląd tego tematu i dostarcza czytelnikowi ogólnej motywacji stojącej za rozwojem IIoT i klasyfikacji powiązanych technologii. Opisano nie tylko najistotniejsze przypadki użycia wraz z ich przewidywanymi wartościami rynkowymi, ale także zidentyfikowano wyzwania technologiczne i kandydatów do realizacji wizji IIoT. Na koniec zilustrowano pracę dwóch najważniejszych sojuszy. Ich celem jest cyfryzacja całego przemysłowego łańcucha wartości ponad granicami domen, aby zwiększyć wydajność i umożliwić nowe, przełomowe modele biznesowe.

Przegląd rynku

Wspomniany wcześniej oczekiwany wzrost rynku Industrial IoT ułatwi tworzenie kreatywnych modeli biznesowych; Towarzyszyć temu będzie rozwój nowych i przyjęcie istniejących technologii Internetu Rzeczy w coraz większej liczbie obszarów zastosowań, a wreszcie umożliwi cyfrowe tworzenie sieci całego łańcucha wartości w wielu dziedzinach. W tej sekcji przedstawiono dokładniejszy wgląd w pięć powiązanych przypadków użycia w najważniejszych branżach. Jak w przypadku wszystkich prób spojrzenia w przyszłość, poniższe prognozy rynkowe należy traktować z przymrużeniem oka.

Energia

Globalne przychody z segmentu inteligentnej energii wyniosły 72 miliardy USD w 2015 r. i jak pokazano na Rysunku 11.1, oczekuje się, że przychody wykażą CAGR, w latach 2015-2020, na poziomie 5,3%, co daje rynek około 93 miliardów USD w 2020 r.

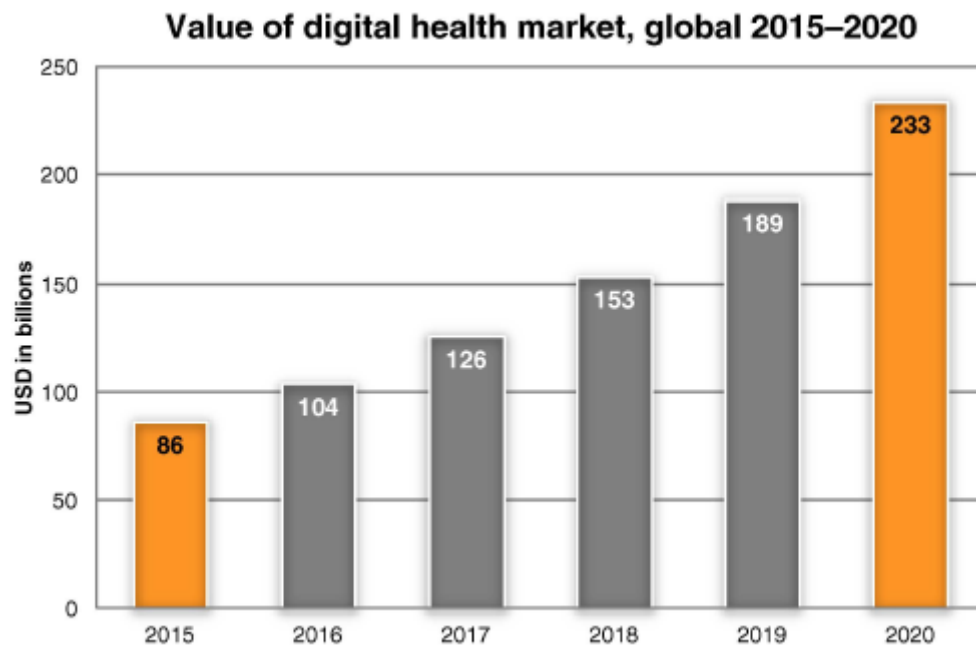


Wiodącymi technologiami będą zaawansowane infrastruktury pomiarowe (AMI), odpowiedź na żądanie (DR), zarządzanie siecią dystrybucyjną (DGM) i zaawansowana technologia transmisji (ATT), podczas gdy DGM będzie segmentem dominującym z 64% udziału w rynku do 2020 r. Jak podkreślono w rozdziale 14, rynek energii ewoluuje w kierunku bardziej wydajnego, czystszy i elastycznego ekosystemu. Na przykład, celem Porozumienia Paryskiego, które weszło w życie 4 listopada 2016 r. z ratyfikacją 116 partnerów, jest wzmocnienie globalnej odpowiedzi na zagrożenie zmianami klimatycznymi. Produkcja energii odpowiada za 68% udziału w globalnym antropogenicznym gazie cieplarnianym (GHG) (Międzynarodowa Agencja Energetyczna, 2016), dlatego konieczne jest przejście na czystszy i wydajny rynek produkcji energii. Elektrownie odnawialne powstają na całym świecie, niemniej jednak jednym z największych wyzwań integracji zmiennych źródeł energii, takich jak fotowoltaika (PV) czy energia wiatrowa, jest trudność w bilansowaniu sieci w czasie rzeczywistym. Co więcej, elektrownie odnawialne są budowane tam, gdzie dostępne są zasoby (słoneczne, wiatrowe, biomasa) i nie zawsze są one blisko konsumenta. Inteligentna sieć ułatwi integrację zmiennych i nieciągłych zasobów odnawialnych, umożliwi regulację i bilansowanie obciążenia oraz wydajną dystrybucję mocy w sieci (ITU, 2012). Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) przewiduje, że jej udział

osiągnie co najmniej 26% wzrost w 2020 roku, a technologie IIoT zmienią modele biznesowe mediów. AMI umożliwią dwukierunkowy przepływ mocy; dzięki temu klient będzie mógł nie tylko konsumować, ale także produkować energię, stając się „prosumentem” (World Resources Institute, 2016). Zarządzanie po stronie popytu (DSM) usprawni sieć energetyczną od strony zużycia, np. poprzez zastosowanie inteligentnych taryf energetycznych z zachętami do korzystania z energii o określonej porze dnia, czy sterowanie rozproszonymi zasobami energii w czasie rzeczywistym.

Opieka zdrowotna

Jak pokazano na Rysunku,

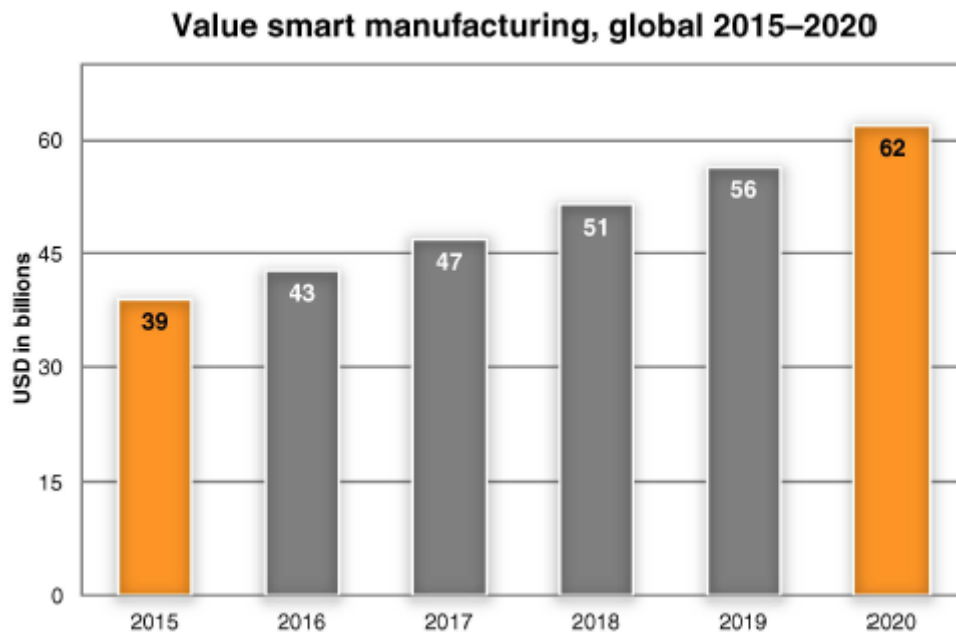


globalne przychody na rynku opieki zdrowotnej wzrosną z 86 mld USD w 2015 r. do 233 mld USD w 2020 r., a prognozowany CAGR wynosi około 21%. Przy udziale w rynku na poziomie 44% do 2020 r. najbardziej istotny będzie segment bezprzewodowej opieki zdrowotnej, napędzany głównie czujnikami bezprzewodowymi, urządzeniami przenośnymi i aplikacjami e-zdrowia. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) poinformowała, że w 2014 r. 9,945% światowego produktu krajowego brutto (PKB) przeznaczono na zdrowie, do 0,144% od 2005 r. prawie 60% obecnych wydatków na opiekę zdrowotną, podobnie jak choroby przewlekłe stanowią 60% przyczyn zgonów.⁶ Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) i jej państwa członkowskie przyjęły opiekę zdrowotną jako opłacalne i bezpieczne podejście do wzmocnienia opieki zdrowotnej (WHO, 2005), a rządy koncentrują się na uczynieniu ich bardziej wydajną i zrównoważoną opieką zdrowotną. Na przykład polityka zdrowotna Unii Europejskiej dąży do uczynienia narzędzi opieki zdrowotnej użytecznymi i powszechnie akceptowanymi poprzez zaangażowanie pracowników służby zdrowia i pacjentów w strategię, projektowanie i wdrażanie. Urządzenia takie jak pulsometry, pulsoksymetry, ciśnieniomierze, krokomiery, smartwatche, aplikacje na smartfony itd. są wykorzystywane do pomiaru stanu zdrowia i aktywności. Gdy te informacje są wymieniane między urządzeniem a platformą opieki zdrowotnej, pacjenci odnoszą korzyści nie tylko z samodzielnego monitorowania, ale informacje mogą być również wykorzystywane do różnych celów, takich jak wykrywanie, zapobieganie, leczenie chorób, wspomaganie procesu rehabilitacji itd. . Bezproblemowa komunikacja pomaga pacjentom, którzy potrzebują zdalnej pomocy, zmniejszając w ten sposób koszty dla nich i systemu ubezpieczeniowego.

IIoT przyczyni się do poprawy dostępu do kompleksowych usług opieki zdrowotnej, jakości usług medycznych, zmniejszenia błędów medycznych i poprawy jakości życia pacjentów. Co więcej, monitorowanie, kontrola i automatyzacja w czasie rzeczywistym umożliwiły życie wspomagane, zapewniając bezpieczeństwo osobiste i zarządzanie opieką zdrowotną w domu. Dodatkowo, jedną z głównych korzyści opieki zdrowotnej jest wzmocnienie pacjenta poprzez zapewnienie większej autonomii i zwiększenie jego leczenia.

Produkcja

Jak pokazano na rysunku ,



globalny przychód na rynku produkcyjnym wzrośnie z 39 mld USD w 2015 r. do 62 mld USD w 2020 r., a prognozowany średni CAGR wynosi 9,7% dla rynku globalnego. Domeny inteligentnej produkcji obejmują między innymi przemysł motoryzacyjny, chemiczny i petrochemiczny, naftowy i gazowy, farmaceutyczny, lotniczy, obronny, górniczy. Największy udział (23%), mają branże chemiczna i petrochemiczna, natomiast rynek ropy i gazu będzie rość przy wyższym CAGR. W tej głównej dziedzinie zastosowań IIoT technologie cyfrowe będą wykorzystywane do przejścia w kierunku oszczędzającej zasoby i wydajniejszej produkcji. Na przykład systemy cyberfizyczne (CPS) i analizy nakazowe umożliwią zautomatyzowane podejmowanie decyzji na topologicznej krawędzi sieci, co pozwoli na terminowe działania konserwacyjne i wydłużenie cyklu życia maszyn przy jednoczesnej optymalizacji całej produkcji. Każde urządzenie cyfrowe będzie w stanie podać swój status w czasie rzeczywistym (tzw. cyfrowy cień), umożliwiając tym samym innym urządzeniom reagowanie na te informacje. Przewiduje się, że zastosowanie technologii IIoT w sektorze produkcyjnym doprowadzi do optymalizacji procesów (ewentualnie umożliwienie wydajnych produkcji jednorazowych) i wesprze priorytetyzację obciążeń, a w rezultacie znacznie zmniejszy potrzebne kontrole jakości, nadzór i działania operacyjne. nakłady w sektorze produkcji przemysłowej. Rozwój wirtualnej fabryki zapewni holistyczną, skalowalną i wirtualną reprezentację zakładu produkcyjnego oraz umożliwi synchronizację, dynamiczną konfigurację, a tym samym umożliwi oszczędności w zakładach produkcyjnych. Jednak te potencjalne oszczędności kosztów są również niwelowane przez ryzyko. Przestoje w produkcji są bardzo kosztowne, dlatego od 40 lat niezawodność jest najwyższym priorytetem w technice automatyzacji. Instalacje są również często obsługiwane przez wiele lat lub dziesięcioleci bez konieczności instalowania aktualizacji, ponieważ jest to powszechne (i wymagane przynajmniej ze względów

bezpieczeństwa) w infrastrukturach IT. Dlatego ciągle łączenie OT i IT w tym kontekście napotyka zarówno wysoki potencjał, jak i wielkie wyzwania.

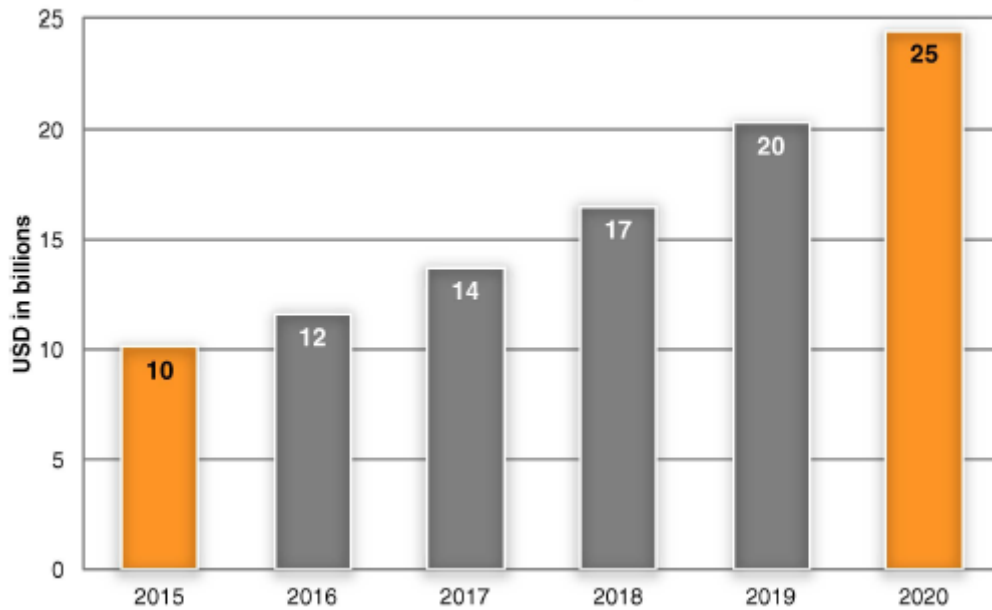
Inteligentne miasta

Globalna wartość inteligentnych miast w 2015 r. wyniosła około 312 mld USD i oczekuje się, że do 2020 r. osiągnie 758 mld USD przy CAGR na poziomie 19,4%. Przewiduje się, że segment budynków będzie rósł przy najwyższym CAGR, oprócz usług transportowych, energetycznych i inteligentnych obywateli takich jak edukacja, opieka zdrowotna i bezpieczeństwo. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) obszary miejskie odpowiadają za około 70% globalnych emisji związanych z energią, a do 2050 r. ponad połowa światowej populacji będzie mieszkać w miastach, głównie w regionach afrykańskich i azjatyckich (ONZ, 2014). Niemniej jednak efektywność energetyczna i emisje gazów cieplarnianych nie są jedynymi kwestiami niepokojącymi. Wraz ze wzrostem liczby ludności miejskiej należy wziąć pod uwagę takie wyzwania, jak bezpieczeństwo, równowaga wydatków publicznych, transport, opieka zdrowotna i edukacja. Miasto to złożona sieć ludzi i infrastruktury, która nieustannie oddziałuje, rozszerza się i przekształca. Tradycyjnie infrastruktura i usługi miast działają jako wertykalne lub domeny, z niewielką lub żadną interakcją: transport, energia, opieka zdrowotna, budynki, przemysł i tak dalej. Każdy z pionów ewoluuje do bardziej inteligentnej i wydajniejszej wersji samego siebie, a miasta muszą skorzystać z tych ulepszeń. Inteligentne miasto powinno być w stanie zintegrować obecną infrastrukturę z ICT, aby działać wydajniej, jednocześnie poprawiając jakość życia swoich mieszkańców. Według Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego – Sektora Normalizacji Telekomunikacji (ITU-T), inteligentne, zrównoważone miasto definiuje się jako „innovacyjne miasto, które wykorzystuje ICT i inne środki do poprawy jakości życia, efektywności funkcjonowania i usług miejskich oraz konkurencyjności przy jednoczesnym zapewnieniu że spełnia potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń w odniesieniu do aspektów ekonomicznych, społecznych, środowiskowych i kulturowych.” Wykorzystanie technologii IIoT umożliwi efektywne wykorzystanie zasobów na obszarach miejskich; Jednak, aby stać się mądrzejszym, miasto potrzebuje swojego miasta, przemysłu i społeczeństwa do udziału. Niektóre scenariusze użycia obejmują zapobieganie awariom, co oznacza, że narzędzie stosuje inteligentne „samonaprawianie” w celu rekonfiguracji, gdy wystąpi problem w sieci dystrybucyjnej, a w przypadku nieuchronnego odcięcia zasilania elektrycznego z wyprzedzeniem informuje: użytkowników mieszkaniowych i przemysłowych do podjęcia odpowiednich środków; monitorowanie jakości powietrza, czyli wspólne wykrywanie, pomoże określić zanieczyszczenia, zanim osiągną niebezpieczny poziom oraz zidentyfikować źródło i ich wpływ na transport, przemysł lub sektory wytwarzania energii; lub inteligentne parkowanie, to znaczy budynki, ulice i parkingi są połączone w celu określenia dostępnych miejsc parkingowych, aby zaoszczędzić czas, efektywnie wykorzystać zasoby (gaz, olej napędowy i przestrzeń publiczną) oraz zminimalizować stres, a także emitowane zanieczyszczenia.

Transport

Jak pokazano na Rysunku,

Value smart transportation, global 2015–2020



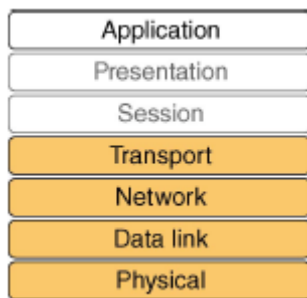
globalne przychody dla segmentu transportu inteligentnego wyniosły 10 mld USD w 2015 r., a jego rynek ma wykazać CAGR w latach 2015-2025 na poziomie 18,7%, co daje wolumen rynku 24,5 mld USD w 2020 r. (Agencja Zpryme , 2015). Segment inteligentnego transportu ICT obejmuje sprzęt, oprogramowanie, komunikację i sieci oraz czujniki i Inteligentne Urządzenia Elektroniczne (IED). Inteligentny transport lub inteligentne systemy transportowe (ITS) to te systemy, które umożliwiają połączenie, integrację i automatyzację sieci transportowej w celu poprawy doświadczenia podróżnych i operatorów systemu (użytkowników) poprzez ulepszanie pojazdów i infrastruktury. Dlatego zakres inteligentnego transportu nie ogranicza się tylko do podłączonych samochodów, ale także do systemów współdzielenia samochodów/rowerów, płacąc za jazdę (użytkownicy); inteligentne drogi, opłaty drogowe, systemy parkingowe, zarządzanie ruchem, komunikacja dosyłowa, zarządzanie flotą (infrastruktura); podłączony samochód, pojazdy zautomatyzowane, transport publiczny (pojazdy), żeby wymienić tylko kilka. Chociaż w 2015 roku wyprodukowano ponad 69 milionów samochodów osobowych, branża motoryzacyjna przeżywa zmiany. Polityka miasta zniechęca do prywatnych pojazdów, a obecnie w eksploatacji jest ponad 80 000 pojazdów typu car-sharing z ponad 6 milionami użytkowników. Wykorzystanie technologii IIoT w branży transportowej umożliwi proaktywną konserwację i zapobieganie awariom dzięki analizom predykcyjnym. Bezpieczniejsze pojazdy i drogi poprawią zapobieganie wypadkom dzięki opracowaniu systemów współpracy między pojazdami a infrastrukturą. Zaawansowane technologie wykrywania i łączność o dużej przepustowości umożliwią aplikacjom czasu rzeczywistego współdziałanie z różnymi domenami. Na przykład zaawansowane systemy zarządzania ruchem (ATMS) poprawią przepływ pojazdów, a tym samym skrócą czas dojazdu do pracy i emisję CO2 na obszarach miejskich. Ponadto zarządzanie flotą (od wynajmowanych samochodów po transport towarowy) będzie wspierane przez wszechobecną i przystępną cenowo komunikację mobilną, a także systemy lokalizacji w celu maksymalizacji obsługi klienta i produktywności (GSMA, 2015). Wreszcie, spodziewana jest transformacja z obecnych samochodów na samochody bez kierowcy, która będzie oparta na IIoT.

Interoperacyjność i technologie

Istnieją wyraźne oznaki, że cyfrowa transformacja nastąpi we wszystkich dziedzinach przemysłu, a jednocześnie pojawi się szereg wyzwań technicznych. Niewyczerpująca lista kluczowych obszarów zainteresowania obejmuje bezpieczeństwo, jakość usług (QoS), łączność, komunikację i wymianę danych. Podczas gdy dwa pierwsze są bardzo ważnymi problemami międzywarstwowymi, które będą wymagały szczególnej uwagi w obszarze IIoT, pozostałe trzy są bezpośrednio oparte na sobie, aby zapewnić interoperacyjność międzydomenową. Opierając się na rozszerzeniu wspólnego modelu Open Systems Interconnection (OSI), zaczyna się to od warstwy fizycznej, a kończy na warstwie semantycznej wymiany wiedzy.

Łączność

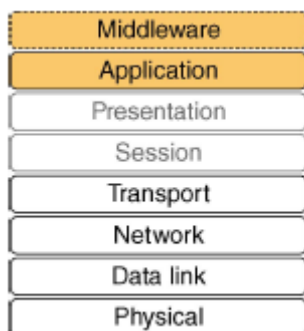
Jak pokazano na rysunku,



ogólna łączność między obiektami obejmuje pierwsze cztery warstwy modelu OSI. Tworzą one podstawę do łączenia urządzeń IIoT ze sobą, a w ramach pojedynczych, niepołączonych ze sobą domen przypadków użycia, kluczowym warunkiem wstępnym jest użycie interoperacyjnych łączy przewodowych lub bezprzewodowych. W zależności od wymagań obszaru aplikacji można zastosować autorskie technologie, takie jak systemy magistrali polowej PROFIBUS10 lub Modbus11. Można jednak zaobserwować dwa główne trendy: Po pierwsze, sieci przewodowe są w fazie transformacji, aby stać się głównie oparte na sieci Ethernet, przy czym jednym z godnych uwagi zmian są standardy IEEE Time-Sensitive Networking (TSN). Po drugie, tam gdzie to możliwe, do łączności stosowane są technologie bezprzewodowe o niskim poborze mocy. W przypadku krótkich zasięgów wdrażane są głównie technologie Bluetooth Low Energy (BLE), technologie RFID, takie jak Near Field Communication (NFC) oraz podejścia oparte na IEEE 802.15.4, takie jak ZigBee. W przypadku sieci rozległych o małej mocy (LPWAN) popularnymi technologiami w pasmach nielicencjonowanych są LoRa, Sigfox, nWave i Neul. Jednocześnie projekt partnerski trzeciej generacji (3GPP) standaryzuje LTE-M, NB-IoT i EC-GSM-IoT dla pasm licencjonowanych. Ponieważ wymiana danych między wieloma branżami jest jedną szczególną cechą IIoT, połączona warstwa sieci z możliwością routingu jest drugim warunkiem wstępnym. Pomimo specyfikacji IPv6 już pod koniec XX wieku, wiele sieci nadal korzysta z IPv4. Jednak biorąc pod uwagę liczbę połączonych urządzeń i ich często ograniczone możliwości, grupa robocza IPv6 zajmująca się bezprzewodową siecią osobistą o małej mocy (6LoWPAN) grupy roboczej Internet Engineering Task Force (IETF) zdefiniowała odpowiednie koncepcje wykorzystania protokołu IPv6 jako wspólnej warstwy sieciowej, która będzie również dominować w kontekście IIoT. W zależności od wymagań, oprócz protokołu IPv6, będą używane typowe transporty oparte na protokole TCP (Transmission Control Protocol) i protokole UDP (User Datagram Protocol).

Komunikacja

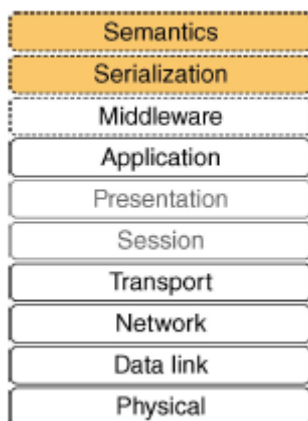
Jak pokazano na rysunku,



w nowoczesnych sieciach kolejną i ostatnią warstwą OSI jest aplikacja. Jednak do interoperacyjnej wymiany danych potrzebna jest dodatkowa warstwa, którą dla wygody nazywamy „oprogramowaniem pośredniczącym”. Po pierwsze, Hyper Text Transfer Protocol (HTTP), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP), Message Queue Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP) lub WebSockets są typowymi przykładami standardowych protokołów poziomu aplikacji, które są używane w kontekst IIoT. Następnie, aby umożliwić standardowe zdalne wywołania procedur (RPC) i wymianę danych, wykorzystywane są mechanizmy takie jak XMLRPC lub Simple Object Access Protocol (SOAP) oraz koncepcje Representational State Transfer (REST). Na koniec, w zależności od przypadku użycia i obszaru geopolitycznego, wdrażane są różne systemy oprogramowania pośredniego specyficzne dla IIoT. Poniższe trzy przykłady są obecnie przedmiotem dyskusji w różnych branżach IIoT. Sojusz oneM2M12 to partnerstwo międzynarodowych organów normalizacyjnych. Chociaż historycznie koncentruje się na branży telekomunikacyjnej, architektura ma na celu objęcie inteligentnych budynków, inteligentnych fabryk i inteligentnych sieci energetycznych. W obecnej wersji 2.0 specyfikacji oprogramowania pośredniczącego wiadomości mogą być wysyłane za pośrednictwem protokołów HTTP, MQTT, CoAP i WebSockets. Ponadto zdefiniowano szereg jednostek usług wspólnych (CSE), które są często używane w środowiskach komunikacji maszyna-maszyna (M2M) (Wu i in., 2011), które mogą być wywoływane przez jednostki aplikacji (AE); oraz jednostki usług sieciowych (NSE) świadczą odpowiednie usługi na rzecz CSE. Opracowane w ramach międzynarodowej Fundacji OPC, oprogramowanie pośredniczące Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) jest następcą poprzedniej architektury Object Linking and Embedding for Process Control (OPC), stosowanej głównie w przemyśle automatyki. Dwa różne typy komunikacji to bezpośrednia wymiana danych binarnych przy użyciu surowych gniazd TCP lub wymiana danych XML przez SOAP i HTTP przez TCP. Od czerwca 2016 r. oceniane są kolejne protokoły publikowania/subskrypcji na poziomie aplikacji, takie jak AMQP. Standardy dalej definiują wspólne usługi podstawowe, takie jak (historyczny) dostęp do danych, alarmy i warunki oraz programowalność, a także wspólny metamodel zorientowany obiektowo do opisywania wymienianych informacji. Wreszcie usługa dystrybucji danych (DDS) (Pardo-Castellote, 2003) została opracowana w ramach projektu Global Information Grid (GIG) i ustandaryzowana przez Object Management Group (OMG). Na podstawie interoperacyjności DDS Protokół publikowania/subskrybowania w czasie rzeczywistym (DDSI-RTPS), interfejs programowania aplikacji DDS (API) oferuje za pośrednictwem TCP lub UDP dostęp do zorientowanego na dane systemu publikowania/subskrypcji z potencjalnie wieloma hierarchicznymi domenami kontrolnymi. Od 2017 roku jest dalej rozszerzany o możliwości RPC

Wymiana danych

Jak pokazano na rysunku,

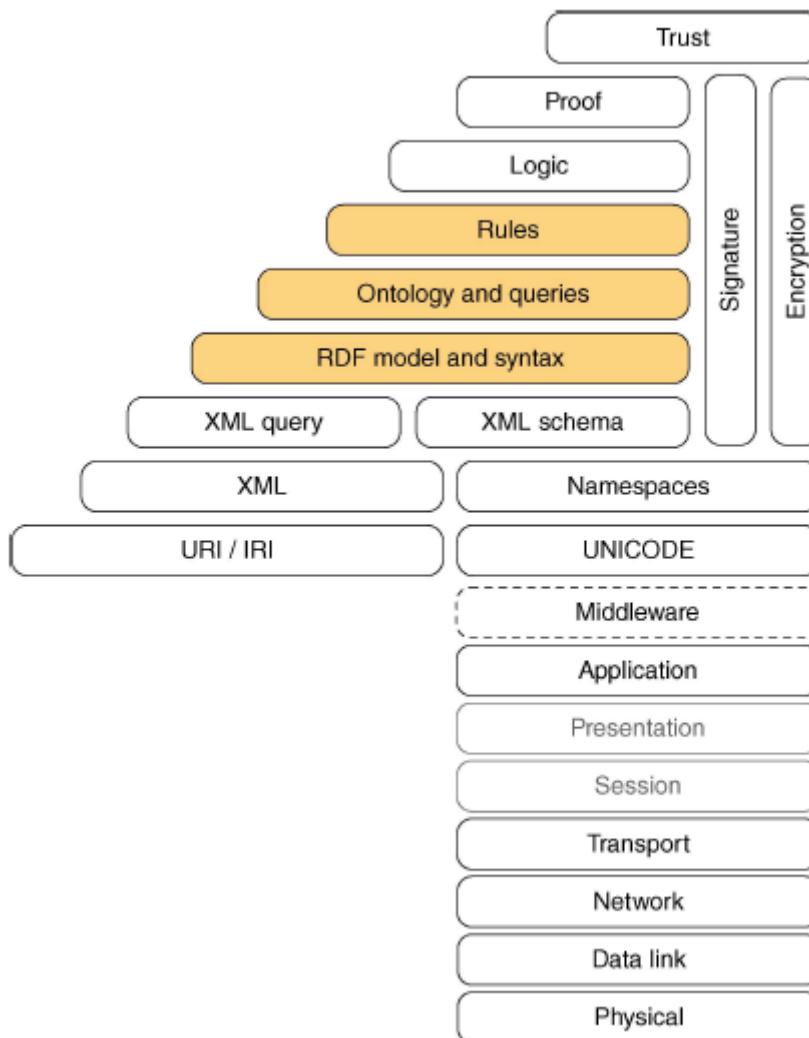


aspekt wymiany danych znajduje się na szczycie omówionej wcześniej warstwy oprogramowania pośredniczącego. Zgodnie z białą księgą Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych (ETSI) na temat interoperacyjności technicznej, należy wziąć pod uwagę co najmniej trzy różne warstwy. Po pierwsze, pod kątem interoperacyjności technicznej należy wziąć pod uwagę wszystkie aspekty, od warstwy sieciowej po oprogramowanie pośredniczące. Ze względu na heterogeniczność zaangażowanych systemów w środowiskach IIoT zastosowanie jednorodnego zestawu protokołów jest mało prawdopodobne. Dlatego implementacje muszą być wyabstrahowane z określonych interfejsów API. Do realizacji takiej Separacji obaw (SoC), termin ukuty przez Edsgera W. Dijkstrę w 1974, można zastosować wiele architektonicznych wzorców projektowych. Przykładami są klasyczny kontroler widoku modelu (MVC), Entity, Boundary, Interactor (EBI) lub Data, Context and Interaction (DCI), oprócz bardziej nowoczesnych architektur opartych na mikrousługach. Po drugie, zakładając użycie odpowiednich wzorców projektowych lub bram, aby umożliwić systemom IIoT wymianę danych między sobą, dane te muszą być serializowane przy użyciu tej samej składni lub muszą istnieć jednoznaczne reguły mapowania. Jak pokazano na rysunku,



w celu ogólnej wymiany informacji między systemami rozproszonymi, koncepcje świata są abstrahowane do modelu informacyjnego, często w formie czytelnego dla człowieka dokumentu tekstowego, takiego jak Request for Comments (RFC). Aby przesłać informacje przez sieć, pochodny model danych jest następnie serializowany przy użyciu składni, takiej jak Extensible Markup Language (XML) lub JavaScript Object Notation (JSON). W aplikacji ciąg ten jest następnie ponownie deserializowany przez kod funkcjonalny do obiektu w celu przetwarzania opartego na dokumencie lub strumieniu, w zależności od rozmiaru danych i sposobu zaprojektowania aplikacji odbiorcy. Aby skrócić czas transmisji i deserializacji, można również zastosować wydajniejsze serializacje, takie jak bufory protokołu (protobuf). Wreszcie, zakładając, że używana jest ta sama składnia, znaczenie wymienianych danych musi być rozumiane przez każdy zaangażowany komponent. Dotyczy to w szczególności środowisk IIoT, w których heterogeniczne urządzenia w wielu domenach aplikacji będą autonomicznie negocjować interakcje w celu dalszej automatyzacji procesów. Zazwyczaj stosowany jest model danych oparty na drzewie wraz z semantyką implikowaną strukturą i identyfikatorem, na przykład oparty na

na definicjach schematów znanych w określonej domenie przypadków użycia. Podejście to nie jest jednak skalowalne w przypadku międzydomenowych scenariuszy obejmujących cały IIoT, ponieważ ze względu na ich heterogeniczny charakter skutkowałoby to zaangażowaniem n różnych podejść do kodowania informacji w drzewie, co prowadzi do kombinatorycznego problemu n^2 wymaganych konwersji za pomocą kodu funkcjonalnego. Zamiast tego potrzebny jest nieformalny model informacji o typach, właściwościach i relacjach obiektów w określonych dziedzinach, znany również jako ontologie. Umożliwiłoby to semantyczne rozumowanie dotyczące informacji w celu wywnioskowania logicznych konsekwencji, takich jak przechodniość, symetria lub równość określonych danych; innymi słowy, umożliwiłoby to maszynom wzajemne zrozumienie. Jednym z powszechnych podejść jest sieć semantyczna (Berners-Lee i in., 2001), wraz z jej kanonicznym, opartym na grafach modelem danych Resource Description Framework (RDF), języki ontologiczne, takie jak Resource Description Framework Schemat (RDFS) oraz Język Ontologii Sieciowej (OWL) oraz inne powiązane koncepcje. Jak pokazano na rysunku, odpowiedni stos technologii dla interoperacyjności semantycznej znajduje się powyżej typowego modelu OSI i systemów oprogramowania pośredniczącego.



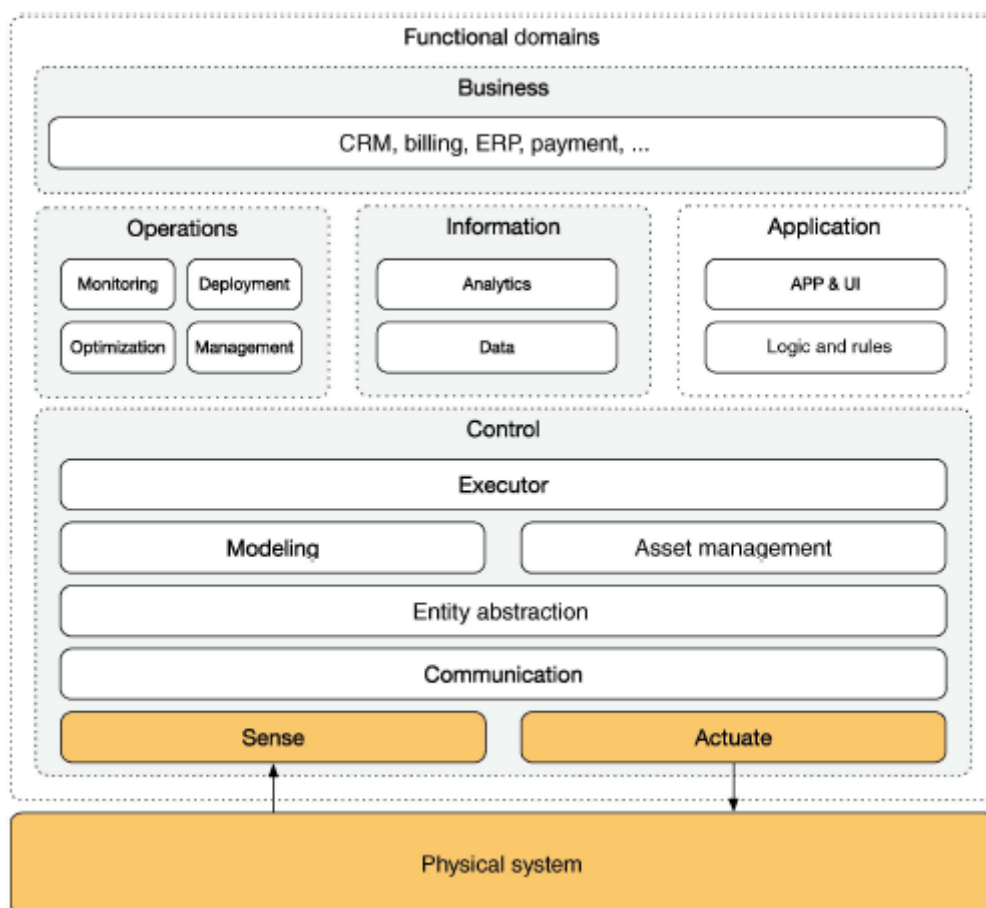
Będąc głównie niezależnym od protokołów i serializacji używanych w różnych obszarach aplikacji, interoperacyjność w tej warstwie będzie prawdopodobnie jednym z najważniejszych aspektów w przewidywanym IIoT. Ze względu na wydajność można również używać serializacji binarnych, takich jak Header, Dictionary, Triples (HDT).

Sojusze

W samym kontekście IIoT, Grupa Robocza Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI) ds. Standaryzacji IoT (WG3)15 wymienia ponad 60 odpowiednich SDO i sojuszy. Ten przegląd obejmuje przypadki użycia w budownictwie, produkcji, transporcie, opiece zdrowotnej, energetyce, miastach i rolnictwie, a także horyzontalne aspekty telekomunikacyjne.

Konsorcjum Internetu Przemysłowego

Jedyną wyróżniającą się inicjatywą jest Industrial Internet Consortium (IIC), ponieważ obejmuje prawie każdą domenę wertykalną. Chociaż nie jest SDO, IIC jest otwartą organizacją członkowską zrzeszającą rząd, środowisko akademickie i przemysł. Ma na celu zebranie wymagań dotyczących przypadków użycia i koordynację wysiłków standaryzacyjnych w całym ekosystemie IIoT. Jednym z godnych uwagi wyników tych wysiłków jest Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) (Industrial Internet Consortium, 2015). Jego głównym celem jest zapewnienie wspólnej podstawy dla heterogenicznych interesariuszy do projektowania systemów IIoT poprzez przedstawienie przeglądu architektury. Zgodnie z pojęciami i terminologią wprowadzoną w ISO/IEC/IEEE 42010:2011 (ISO/IEC/IEEE, 2011), ogólna architektura jest podzielona na cztery różne punkty widzenia. Dla każdego z nich dokładniej opisano obawy i modele z różnych perspektyw interesariuszy. Jak sugerują nazwy, z biznesowego punktu widzenia identyfikowane są aspekty handlowe i regulacyjne; punkt widzenia użytkownika opisuje kwestie związane z komponentami lub ludźmi wchodzącymi w interakcję z systemem IIoT; punkt widzenia funkcjonalnego koncentruje się na ogólnych interakcjach i działaniach wewnętrznych i zewnętrznych; i wreszcie, punkt widzenia realizacji obejmuje specyfikę realizacji opisanych problemów w innych punktach widzenia. Z technicznego punktu widzenia specyfikacja funkcjonalnego punktu widzenia dostarcza najbardziej szczegółowych szczegółów. W szczególności poważnym problemem jest trwająca konwergencja między lokalnymi systemami sterowania tradycyjnych OT a globalnie połączonymi technologiami informacyjnymi (IT). W rezultacie zidentyfikowano szereg domen funkcjonalnych, aby utworzyć konkretną architekturę funkcjonalną opartą na połączonych ze sobą systemach CPS.

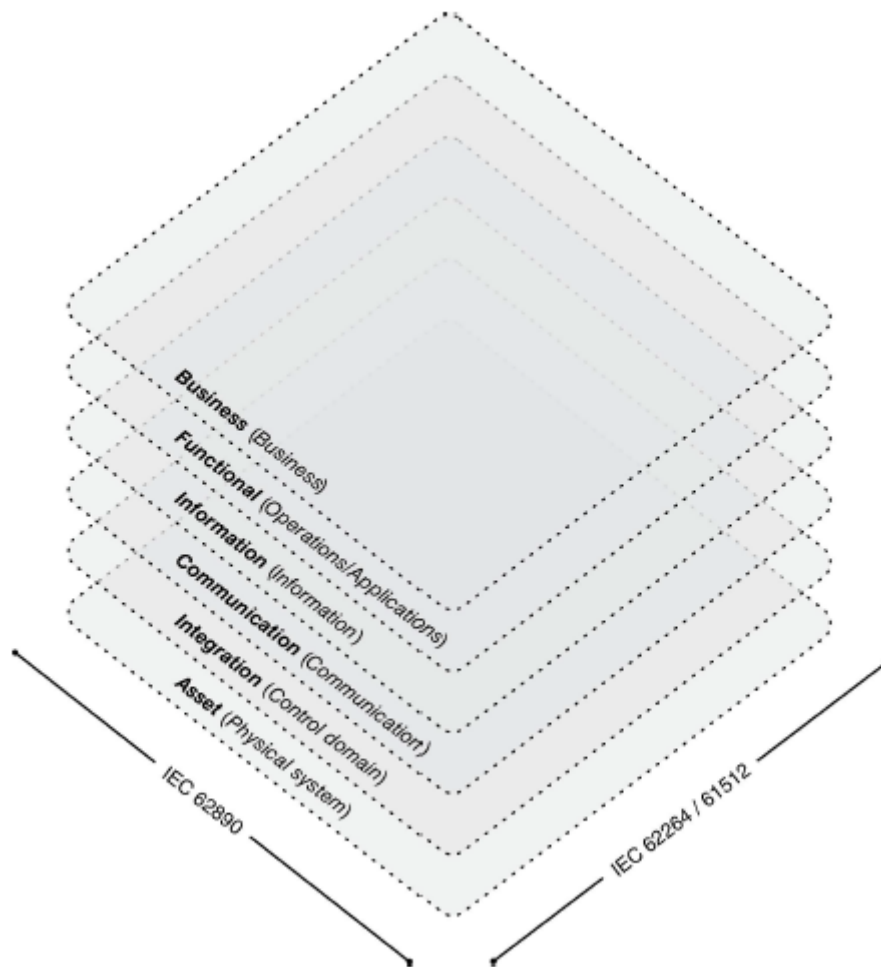


Domena kontrolna bezpośrednio wchodzi w interakcję z systemem fizycznym, wykrywając informacje i stosując logikę pętli zamkniętej poprzez uruchamianie. Ta domena obejmuje ponadto komunikację z podmiotami zewnętrznymi, abstrakcję i analizę danych oraz zarządzanie zasobami. W domenie operacyjnej zawarta jest pewna liczba funkcji wymaganych do zarządzania systemami w ramach jednej domeny kontrolnej. Funkcje te obejmują udostępnianie, wdrażanie, monitorowanie, diagnostykę, prognozowanie i optymalizację. Domena informacji zawiera funkcje danych i analizy, które są komplementarne do tych w domenie kontroli. Jego celem jest przekształcanie, przetwarzanie, utrwalanie, dystrybucja i analizowanie danych w celu ogólnosystemowych, długoterminowych optymalizacji. Następnie domena aplikacji zawiera zarówno globalną logikę i reguły specyficzne dla przypadków użycia, jak i interfejsy dla ludzi lub aplikacji do interakcji z logiką. Wreszcie, w domenie biznesowej znajdują się tradycyjne funkcje, takie jak planowanie zasobów przedsiębiorstwa (ERP), zarządzanie relacjami z klientami (CRM) czy system realizacji produkcji (MES). Innym źródłem szczegółów technicznych dotyczących projektowania systemów IIoT jest opis punktu widzenia implementacji. Opisuje architektoniczne wzorce projektowe, które są stosowane w różnych domenach przypadków użycia. Najbardziej ogólną abstrakcją jest architektura trójwarstwowa, która definiuje trzy różne warstwy: warstwę brzegową, platformę i warstwę korporacyjną. Na najwyższym poziomie warstwa korporacyjna zawiera głównie aplikacje domenowe z ich regułami i kontrolami, a warstwa platformy w centrum zawiera bardziej ogólne funkcje agregacji danych i analizy przepływu. Podczas zlecenia tych działań stronom trzecim w celu zaspokojenia potrzeb organizacji w efektywny sposób, przekazywanie danych do scentralizowanej chmury przez Internet wprowadza opóźnienia i fluktuacje. W związku z tym funkcje można również umieścić w pobliżu urządzeń w najniższej warstwie brzegowej (znanej również jako przetwarzanie brzegowe (Lopez i in., 2015)) w celu połączenia z potencjalnie deterministyczną siecią dostępową zdolną do pracy w czasie rzeczywistym. Brakuje w tym poglądzie

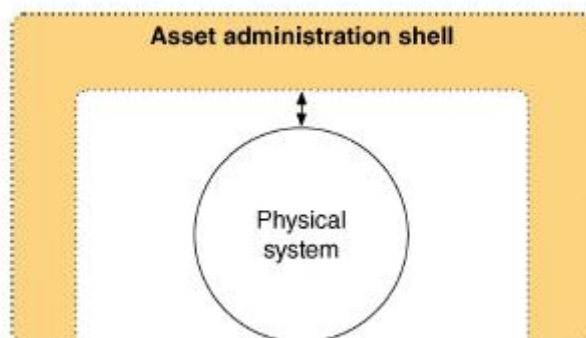
paradygmatu mgły obliczeniowej. Aby jeszcze bardziej zmniejszyć opóźnienia, a jednocześnie poprawić skalowalność, bezpieczeństwo i suwerenność danych, w tej koncepcji, funkcjonalności domeny Control są, w zależności od ograniczeń zasobów urządzeń, albo uruchomione na urządzeniu, albo na węzłach, które są podłączone bezpośrednio do urządzeń. Ta architektura ponadto umożliwia węzłom autonomiczne uruchamianie bez zależności od sieci, a przede wszystkim stanowi podstawę do wdrożenia wspomnianej powyżej koncepcji CPS. Wreszcie decyzja, gdzie umieścić określone zwirtualizowane funkcje w topologii, jest zawsze kompromisem między dostępnymi zasobami, wydajnością sieci, prywatnością danych i autonomią urządzenia.

Platforma Przemysłu 4.0

W połowie XVIII wieku produkcja mechaniczna była zasilana wodą w ponad 80% w Wielkiej Brytanii. Zmieniało się to stopniowo wraz z wynalezieniem silnika parowego, aż na początku XX wieku ponad 98% wymaganej mocy było dostarczane przez parę. Ten rozwój po raz pierwszy radykalnie zmienił sposób produkcji i dlatego nazywany jest pierwszą rewolucją przemysłową. Następnie, na początku XX wieku, wprowadzenie pracy na linii montażowej ponownie zmieniło cały proces produkcji. Podczas gdy wyprodukowanie Forda Model T w 1911 roku zajęło ponad 720 minut, czas spadł poniżej 90 minut zaledwie 3 lata później, dzięki tej drugiej rewolucji przemysłowej. Do 1968 roku do automatyzacji procesu produkcyjnego w fabrykach wykorzystywano dedykowane sterowniki, przekaźniki i obwody stałe. W rezultacie proces aktualizacji takich obiektów był bardzo czasochłonny, kosztowny i podatny na błędy. Wynalezienie programowalnego sterownika logicznego (PLC) przez Dicka Morleya zapoczątkowało trzecią rewolucję przemysłową. Dzięki modułom wejścia/wyjścia (I/O) dla urządzeń obiektowych zbudował fundament nowoczesnej pięciowarstwowej piramidy automatyzacji. Wiele sterowników PLC, zdalnych terminali (RTU) i interfejsów człowiek-maszyna (HMI) jest połączonych ze sobą za pomocą systemów magistrali nadzorczej SCADA (Sterowanie i akwizycji danych), a ponadto MES, który monitoruje najważniejsze kluczowe wskaźniki wydajności (KPI) i wreszcie informacje można zintegrować z systemem ERP. Obecna konwergencja między tym OT i ICT w kierunku samoorganizującej się automatyzacji opartej na CPS nazywana jest czwartą rewolucją przemysłową. Koncepcja wykorzystuje wirtualne reprezentacje obiektów fizycznych dla inteligentnych fabryk przyszłości; zwany także Industry 4.0, na podstawie niemieckiego terminu „Industrie 4.0”. Jako związek najważniejszych firm i stowarzyszeń w Niemczech, „Plattform Industrie 4.0” ma na celu opracowanie zaleceń dotyczących wdrażania inteligentnych fabryk przyszłości. Dlatego, w przeciwieństwie do IIC, inicjatywa koncentruje się głównie na modelowaniu systemów produkcyjnych nowej generacji, skupiając się jednocześnie na skutkach ekonomicznych połączonych międzydziedzinowych łańcuchów wartości. Platforma Przemysłu 4.0 określiła Referencyjny Model Architektury Przemysłu 4.0 (RAMI). Ten trójwymiarowy model warstw jest podstawą do systematycznej klasyfikacji powiązanych technologii i opiera się na normach określonych przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (IEC), mianowicie IEC 62890 (zarządzanie cyklem życia systemów i produktów stosowanych w pomiarach, sterowaniu i automatyzacji procesów przemysłowych), IEC 62264 (integracja systemu sterowania przedsiębiorstwa) i IEC 61512 (sterowanie wsadowe). Analogicznie do IIC IIRA, theRAMI definiuje sześć różnych warstw i począwszy od 2016 r. obie inicjatywy uzgodniły współpracę i rozpoczęły mapowanie funkcjonalności obu architektur. Jak pokazano na rysunku, od najniższego do najwyższego poziomu, warstwy RAMI odpowiadają domenom IIRA w następujący sposób: warstwa aktywów z systemem fizycznym, warstwa integracji z domeną kontrolną, warstwa komunikacyjna z częścią komunikacyjną domena kontrolna, warstwa informacyjna z domeną informacyjną, warstwa funkcjonalna z domenami operacyjnymi i aplikacyjnymi, wreszcie warstwa biznesowa z domeną biznesową.



Najważniejszą koncepcją w tym modelu jest tzw. Asset Administration Shell (AAS) (Plattform Industrie, 2016), jak pokazano na rysunku.



Implementacja CPS może być postrzegana jako analogia do wyżej wymienionej domeny kontrolnej. Owija komponent oprogramowania wokół fizycznych obiektów zawierających cyfrową reprezentację, tak zwanego Digital Twin lub Avatar, zasobu, z którym komunikują się inne systemy. W związku z tym zawiera istniejące zasoby/system fizyczny w celu zintegrowania go ze środowiskami Przemysłowego Internetu/Przemysłu 4.0. Ponieważ ani Platforma Industrie 4.0, ani IIC nie określiły jeszcze, w jaki sposób te koncepcje powinny być wdrażane, faktyczna realizacja jest otwartym i interesującym tematem badawczym. Obecnie oceniane są głównie trzy różne podejścia do oprogramowania pośredniczącego: OPC UA, oneM2M i DDS. Jak dowiedzieliśmy się, użycie jednego oprogramowania

pośredniczącego we wszystkich przypadkach użycia IIoT jest zarówno mało prawdopodobne, jak i niepotrzebne. Wyzywające pytanie badawcze, które jest obecnie przedmiotem aktywnej dyskusji we wszystkich odpowiednich sojuszach, dotyczy tego, jak osiągnąć semantyczną interoperacyjność, aby umożliwić przemysłowy Internet autonomicznych CPS.

Wnioski

Internet przemysłowy pozwoli na tworzenie sieci cyfrowych w różnych dziedzinach zastosowań przemysłowych. Oczekuje się, że ta cyfrowa transformacja całego łańcucha wartości do 2030 r. przyniesie światowej gospodarce 14,2 bln USD. Jednocześnie zidentyfikowano w tym kontekście szereg wyzwań. W tym rozdziale przedstawiono przegląd koncepcji związanych z przemysłowym Internetem rzeczy (IIoT), znanym również jako Internet przemysłowy. Skupiono się na przypadkach użycia, aspektach interoperacyjności oraz technologiach łączności, komunikacji i wymiany danych, a także na powiązanych standardach. Podsumowując, różne organizacje i sojusze normalizacyjne dążą do harmonizacji na tym wschodzącym rynku. W szczególności IIC proponuje wraz z IIRA koncepcję, która obejmuje jednocześnie wszystkie istotne branże. Jako konkretny przykład użycia, inicjatywa Platforma Przemysłu 4.0 definiuje Model Architektury Referencyjnej Przemysłu 4.0 (RAMI), aby rozwinąć koncepcje inteligentnych fabryk, które będą obsługiwane przez autonomiczne systemy cyber-fizyczne (CPS). Ogólna wizja rysuje ekscytującą przyszłość kolejnej rewolucji przemysłowej, charakteryzującej się wysoce wzajemnie powiązanymi, autonomicznymi systemami CPS, które stale komunikują się i wymieniają informacje. Jednak na drodze do rozwiązania wielu przeszkód potrzebnych jest wiele iteracyjnych, następujących po sobie i ewolucyjnych kroków.