

System IIoT do zbierania danych pomiarowych

Todo list

1 Wstęp

Systemy informatyczne znajdują obecnie szerokie zastosowanie w wielu przedsiębiorstwach. Do zadań takich systemów należą przede wszystkim: automatyzacja procesów, ułatwienie zarządzania zasobami (ludzkimi, materialnymi, finansowymi, dokumentacją, wiedzą), gromadzenie informacji na temat prowadzonej działalności na potrzeby raportowania, nadzoru, optymalizacji i rozwoju strategii, a także usprawnienie komunikacji z klientami i kontrahentami. Korzyści wynikające z wdrożenia rozwiązań informatycznych wykorzystuje się również w środowisku przemysłowym. Obok wymienionych zadań (obejmujących szerszy zakres działalności przedsiębiorstwa) podstawową rolę przemysłowych systemów informatycznych jest wspomaganie prowadzenia procesów przemysłowych (produkcji przemysłowej). Istotnym aspektem działania takich systemów jest zbieranie danych pomiarowych. Dane gromadzone przez zainstalowaną w systemie produkcji aparaturę pomiarową, jak i wprowadzane przez ludzi lub inne systemy, determinują działanie układów automatyki, umożliwiając nadzór, diagnostykę, regulację, monitorowanie i wizualizację procesów przemysłowych. Ponadto stosunkowo duża liczba gromadzonych danych poddana zaawansowanemu przetwarzaniu (ang. *big data*) może dostarczyć cennej wiedzy w kontekście prowadzenia biznesu. Wymaganiem charakterystycznym stawianym wobec systemów informatyki przemysłowej jest konieczność działania w ramach ograniczeń nakładanych przez specyficzne środowisko. Należą do nich: determinizm działań i determinizm czasowy, niezawodne funkcjonowanie (odporne na często niesprzyjające warunki), bezpieczeństwo danych i urządzeń [9].

Zbieranie znacznej ilości danych w celu ich dalszego przetwarzania wymienia się wśród głównych zadań Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, w skrócie: IoT). Jest to koncepcja, w myśl której przedmioty wyposażone w czujniki i/lub elementy wykonawcze są podłączane do Internetu. Systemy wykorzystujące Internet Rzeczy stały się szczególnie popularne w ostatnich latach dzięki czynnikom ułatwiającym ich realizację: znaczący rozwój systemów komputerowych małej i średniej skali oraz urządzeń mobilnych, upowszechniony dostęp do Internetu, stopniowe wdrażanie protokołu IPv6, duże postępy w dziedzinie eksploracji danych, uczenia maszynowego i inteligencji obliczeniowej, a także dynamiczny rozwój usług opartych na chmurze obliczeniowej [15]. Dziedzina zastosowań IoT jest szeroka, gdyż obejmuje ona urządzenia o wielu różnych przeznaczeniach. Powszechne stało się używanie określenia „inteligenty” (ang. *smart*) wobec tego typu przedmiotów lub środowisk, w których są one używane. W ten sposób powstały koncepcje inteligentnych gadżetów i urządzeń gospodarstwa domowego, rolnictwa, logistyki, systemów opieki zdrowotnej, budynków, a nawet miast. Do obszarów wykorzystania IoT zalicza się także przemysł. Koncepcja ta nosi nazwę Przemysłowego Internetu Rzeczy (ang. *Industrial Internet of Things*, w skrócie IIoT). Głównym przeznaczeniem IIoT jest gromadzenie wiedzy na temat procesu przemysłowego,

a w konsekwencji — zwiększanie jego efektywności [27].

W ramach niniejszej pracy podjęto zadanie zaprojektowania systemu informatycznego wraz z prototypem, którego podstawową funkcją jest zbieranie i składowanie danych pomiarowych. Docelowym obszarem zastosowań systemu jest środowisko przemysłowe. W realizacji projektu kładzie się nacisk na wykorzystanie technologii IoT oraz chmury obliczeniowej. Źródłem danych w systemie jest aparatura pomiarowa (czujniki) funkcjonująca w ramach systemów automatyki i IoT, inne systemy informatyczne wdrożone w przedsiębiorstwie, a także pracownicy obsługujący proces przemysłowy (mogą oni monitorować jego działanie i wprowadzać wyniki obserwacji do systemu, jak również wyzwać określone zdarzenia). Przedmiotem pracy jest ogólne opracowanie architektury systemu adresujące przedstawiony problem aplikacyjny. Stąd opisane w kolejnych rozdziałach rozwiązanie teoretyczne abstrahuje od szczegółowych przypadków użycia, konkretnych urządzeń technicznych czy technologii. Oczekiwaną cechą systemu jest możliwość dostosowania do różnych konfiguracji sprzętu i oprogramowania stosowanych w IoT i dedykowanych rozwiązaniach przemysłowych. Jedną z możliwych implementacji i jednocześnie weryfikacją zaproponowanej koncepcji systemu jest wykonany prototyp. Na jego potrzeby zdefiniowano kilka ściśle sprecyzowanych przypadków zastosowania, dokonano wyboru urządzeń i określonych usług chmurowych, jak również bibliotek i narzędzi programistycznych.

W rozdziale 2 dokonano przeglądu dostępnej literatury związanej z podjętą problematyką. W pierwszej kolejności omówiono z osobna poszczególne zagadnienia, które obejmuje temat pracy, przybliżając w ten sposób jego dziedzinę. Następnie zebrane informacje zestawiono w kontekście realizowanego zadania projektowego, wskazano możliwe problemy i potencjalne rozwiązania wraz z zarysem architektury systemu. Opisano również kilka dostępnych na rynku rozwiązań komercyjnych, które adresują podobny zakres funkcjonalny. W rozdziale 3 sprecyzowano wymagania funkcjonalne i нефункционалне, które ma realizować projektowany system oraz zdefiniowano ogólne przypadki użycia. Opisano również metodykę pracy oraz wybrane narzędzia, technologie i biblioteki użyte do realizacji prototypu. Rozdział 4 zawiera informacje dotyczące wdrażania i używania systemu, a także wymagań sprzętowych i programowych. Poruszono również kwestie bezpieczeństwa. W oparciu o zrealizowany prototyp przedstawiono przykładowe scenariusze korzystania z systemu. W rozdziale 5 zamieszczono szczegółowy opis architektury zaprojektowanego systemu. Wymieniono jej poszczególne komponenty i omówiono sposoby ich wzajemnej interakcji. Zdefiniowano interfejs komunikacyjny systemu, przedstawiono sposoby integracji wykorzystanych gotowych narzędzi z elementami autorskimi. Opisano także rozwiązania mające na celu poprawę bezpieczeństwa. Rozdział 6 zawiera opis stosowanej metodyki testowania i przypadków testowych oraz przedstawia wyniki przeprowadzonych testów z uwzględnieniem napotkanych problemów. W rozdziale 7 zamieszczono podsumowanie i wnioski, które

nasunęły się po zakończeniu prac nad projektem. Uzyskany rezultat zestawiono z postawionymi celami i określonymi wymaganiami. Rozważono również kierunki dalszego rozwoju systemu.

2 Analiza tematu

W niniejszym rozdziale przedstawiono rozważania teoretyczne dotyczące projektowanego systemu opierające się na analizie dostępnej literatury. Realizowany temat składa się z czterech zasadniczych zagadnień: systemy do zbierania danych pomiarowych, systemy informatyczne w przemyśle, IoT i IIoT. Do każdego z nich odnoszą się odpowiednio kolejne podrozdziały przedstawiające podstawowe pojęcia, problemy i rozwiązania w danej dziedzinie. W ostatnim podrozdziale dokonano konsolidacji zebranych wiadomości w kontekście celu pracy, jakim jest opracowanie systemu do zbierania danych pomiarowych dla środowiska przemysłowego z wykorzystaniem IoT.

2.1 Systemy informatyczne do zbierania danych pomiarowych

Zgodnie z encyklopedią **system informatyczny** to zespół systemów komputerowych, sieci oraz oprogramowania, których celem zastosowania jest przetwarzanie informacji [30]. **Przetwarzaniem informacji** nazywa się proces akwizycji, utrwalania, udostępniania, organizacji, interpretacji i wizualizacji informacji [12], [28]. Warto w tym miejscu doprecyzować pojęcia **informacji** oraz **danych**. Dane są pewną skodyfikowaną reprezentacją faktów. Natomiast dane, które podlegają interpretacji i nabierają znaczenia stają się informacją [10].

Jednym z możliwych źródeł informacji w systemie informatycznym mogą być **systemy do zbierania danych pomiarowych** (system akwizycji danych, ang. *Data Acquisition Systems*, w skrócie: DAQ). Są to systemy, których rolą jest gromadzenie w formie cyfrowej danych opisujących zjawiska fizyczne. Systemy DAQ tworzą między innymi następujące komponenty o odpowiednich przeznaczeniach:

- czujniki (sensory, ang. *sensors*) — przetwarzanie zjawisk fizycznych na analogowy sygnał elektryczny,
- przetworniki analogowo-cyfrowe — konwersja sygnału analogowego na cyfrowy,
- sprzęt komputerowy i oprogramowanie — przetwarzanie informacji.

Systemy DAQ stanowią jedno z głównych narzędzi stosowanych przez naukowców i inżynierów na potrzeby testów, pomiarów, a także zadań automatyzacji [7].

Poza bierną obserwacją zjawisk fizycznych przydatną może okazać się również możliwość oddziaływania systemu wirtualnego na rzeczywistość. Ogólny typ systemów realizujących nazwane funkcjonalności opierające się ponadto na zaawansowanym przetwa-

rzaniu informacji stanowią **systemy cybernetyczno-fizyczne** (ang. *Cyber-Physical Systems*, w skrócie: *CPS*). Są to systemy fizyczne, których funkcjonowanie jest zintegrowane, monitorowane oraz nadzorowane przez rdzeń obliczeniowy (system wbudowany) [14].

2.2 Systemy informatyczne w przemyśle

W podrozdziale podjęto zagadnienie systemów informatycznych wdrażanych w środowisku przemysłowym. Omówiono kolejno: pojęcia podstawowe, fundamentalne informacje dotyczące systemów rozproszonych i czasu rzeczywistego oraz zaprezentowano przykładową architekturę systemów przemysłowych.

2.2.1 Podstawowe zagadnienia

Podstawowym zagadnieniem odnoszącym się do środowiska przemysłowego jest pojęcie **procesu przemysłowego** nazywane też **procesem technologicznym**. Jest to ciąg określonych zjawisk fizykochemicznych mających na celu wytworzenie produktu. Dla zwiększenia efektywności, bezpieczeństwa i kontroli nad procesami przemysłowymi praktykuje się wspomaganie ich systemami informatycznymi [9].

W dziedzinie informatyki przemysłowej wykorzystuje się tzw. **urządzenia aparatury kontrolno-pomiarowej i automatyki** (w skrócie: AKPiA). Stanowią one pomost pomiędzy procesem przemysłowym a systemem informatycznym. Zestaw takich urządzeń można zamodelować zbiorem informacji, który nazywamy **obiektym przemysłowym** [9]. Pojęcie AKPiA jest podobne do omawianych w rozdziale 2.1 urządzeń systemów DAQ oraz CPS. W obrębie CPS spotykane jest określenie analogiczne (nieco bardziej ogólne) do obiektu przemysłowego — tzw. **bliźniaka cyfrowego** (ang. *Digital Twin*). Jest to nazwa trafna, jako że informacja cyfrowa pod postacią modeli i obiektów danych reprezentuje niejako drugą (bliźniaczą) tożsamość obiektu rzeczywistego [27]. Wśród urządzeń AKPiA można wyróżnić następujące grupy [9]:

- układy **inicjatorów** (czujniki, sensory, ang. *sensors*) — rejestrowanie stanu procesu (produkcja informacji),
- układy **wykonawcze** (ang. *actuators*) — modyfikacja stanu procesu (konsumpcja informacji),
- układy **mieszane** (ang. *mixed*) — jednoczesna produkcja i konsumpcja informacji.

Omawiając tematykę związaną z systemami przemysłowymi nie sposób pominąć kwestię warunków otoczenia. Środowisko przemysłowe charakteryzuje się zwiększoną uciążliwością. Wymienia się następujące **zaburzenia środowiskowe**, które mogą mieć

wpływ na pracę systemu przemysłowego: zaburzenia otoczenia (np. temperatura, wilgotność, czynniki chemiczne), zaburzenia mechaniczne, przewodzone i elektromagnetyczne [9].

2.2.2 Systemy rozproszone czasu rzeczywistego

Systemy informatyczne w przemyśle często posiadają cechy **systemów rozproszonych**. W systemach tych nie występuje centralne urządzenie przetwarzające informacje, lecz składają się one z wielu jednostek przetwarzających o różnym zakresie funkcjonalności. Do zalet takich systemów zalicza się zwiększoną moc obliczeniową, niezawodność oraz elastyczność (adaptacyjność, rekonfigurowalność) [9], [18]. W obrębie systemów przemysłowych w szczególności stosuje się **rozproszone systemy sterowania**, (ang. *Distributed Control Systems*, w skrócie: DCS). Do zadań takich systemów należą sterowanie i wizualizacja procesu przemysłowego.

Często wymaganą cechą procesów przemysłowych jest **determinizm czasowy**. Postawienie wymagania determinizmu czasowego względem systemu przemysłowego oznacza, że jego odpowiedź na zdarzenia musi zachodzić w zdefiniowanym, skończonym czasie [9].

Systemy charakteryzujące się determinizmem czasowym nazywa się **systemami czasu rzeczywistego** (ang. *Real Time Systems*, w skrócie: RTS). Systemy posiadające cechy zarówno systemów rozproszonych, jak i systemów czasu rzeczywistego nazywa się po prostu **systemami rozproszonymi czasu rzeczywistego**. Zagadnieniem kluczowym w kontekście takich systemów jest **komunikacja** [18]. Rolę medium komunikacyjnego w systemach komputerowych stanowią **sieci komputerowe**. Na potrzeby przemysłu opracowano dedykowane sieci komputerowe odpowiadające m. in. na potrzebą działania w ramach ścisłych ograniczeń czasowych. Do przykładowych sieci należą: Modbus, Ethernet, Profinet, Profibus, CAN, EtherCAT [19].

2.2.3 Architektura systemów informatycznych w przemyśle

Dziedzina funkcjonalna systemów informatycznych w przemyśle może być bardzo obszerna. Są one w stanie wspomagać zarówno przebieg procesu przemysłowego, jak i kompleksowo usprawniać procesy funkcjonujące na wyższych poziomach przedsiębiorstwa — np. te związane z zarządzaniem zasobami. W literaturze spotkać można różne modele przedstawiające zakres działania przemysłowych systemów informatycznych. Do najpopularniejszych należy tzw. model piramidowy (warstwowy, hierarchiczny) [9], [14], [15] przedstawiony na rys. 1. Wyróżniono w nim następujące warstwy [19]:

- Warstwa produkcyjna — tworzą ją urządzenia automatyki przemysłowej oraz aparatury kontrolno-pomiarowej. Są to m. in. maszyny realizujące procesy

przemysłowe, aparatura pomiarowa, urządzenia wykonawcze (silniki, pompy, zawory, itp.), urządzenia sterujące (sterowniki PLC, komputery przemysłowe, panele HMI) oraz przemysłowe sieci komputerowe;

- Warstwa operacyjna — należą do niej systemy realizacji produkcji (ang. *Manufacturing Execution System*, w skrócie: MES) oraz systemy zbierania danych i sprawowania kontroli SCADA/HMI (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition, Human Machine Interface*). Do funkcjonalności systemu MES należą zarządzanie wykonaniem produkcji i zarządzanie wydajnością. Systemy SCADA/HMI realizują zbieranie danych z procesu wraz z jego wizualizacją, sterowanie nadzórne (również przez człowieka), alarmowanie i archiwizację.
- Warstwa biznesowa — należą do niej wysokopoziomowe systemy planowania zasobów przedsiębiorstwa ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*), systemy analizy i produkcji SAP (ang. *Systems Analytics and Product*), systemy zarządzania relacjami z klientami CRM (ang. *Customer Relationship Management*) oraz wiele innych. Oprogramowanie tego typu usprawnia działanie przedsiębiorstwa w różnych obszarach, jak np.: logistyka, zamówienia, analiza danych i wspomaganie podejmowania decyzji, księgowość, inwentaryzacja.



Rysunek 1: Model piramidowy informatycznych systemów przemysłowych.

2.3 Internet Rzeczy

W podrozdziale przedstawiono przegląd definicji IoT oraz jego zastosowań, a także opisano elementy tworzące IoT. Podrozdział zawiera też odniesienie do ważnego w kontekście omawianego zagadnienia przetwarzania w chmurze.

2.3.1 Definicje i zastosowania Internetu Rzeczy

Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things*, w skrócie: IoT) posiada różne definicje. Jedną z prostszych jest: sieć przedmiotów z wbudowanymi czujnikami, które są podłączone do Internetu [15]. Bardziej szczegółowe jest ujęcie IoT jako sieci jednoznacznie identyfikowalnych przedmiotów z wbudowanymi czujnikami, inteligencją obliczeniową oraz powszechną łącznością z Internetem [25]. Na nieco wyższym poziomie definiuje się IoT jako globalną infrastrukturę udostępniającą zaawansowane usługi poprzez połączenie przedmiotów z wykorzystaniem technologii informacyjnych. [15].

W każdej z przytoczonych definicji zauważalne jest pewne podobieństwo pomiędzy IoT a CPS scharakteryzowanym w rozdziale 2.1. Zagadnienia te posiadają część wspólną, dotyczą podobnej tematyki (przede wszystkim połączenia świata fizycznego i logicznego), lecz mają odrębną genezę i uwydatnia się w ich ramach różne aspekty: inżynierię systemów sterowania w CPS oraz sieci i komunikację w IoT [11].

Głównym zastosowaniem Internetu Rzeczy jest monitorowanie świata rzeczywistego oraz wchodzenie z nim w interakcję, co może usprawnić działalność człowieka na wielu płaszczyznach. Wśród praktycznych zastosowań IoT wymienia się między innymi: sieci czujników i pomiary rozproszone, urządzenia (gadżety) ubieralne, inteligentne budynki, miasta, logistyka, przemysł, a także marketing [8]. Możliwości, jakie niesie IoT dla przemysłu zostały w sposób szczególny rozpatrzone w rozdziale 2.4.

2.3.2 “Rzeczy” w IoT

Wśród przedmiotów tworzących IoT wyróżnia się dwie kategorie: **czujniki oraz urządzenia wykonawcze**. Są to odpowiedniki aparatury kontrolno-pomiarowej wykorzystywanej w przemyśle (patrz: rozdział 2.2). Czujniki umożliwiają obserwację świata rzeczywistego i jej zapis w postaci cyfrowej. Urządzenia wykonawcze są w stanie zmienić stan układu rzeczywistego na podstawie otrzymanej informacji cyfrowej [25]. Przykładowe czujniki to: przyciski, przełączniki, czujniki ruchu, czujniki gazów, czujniki wibracji, czujniki temperatury, wilgoci, nacisku, ultradźwięków i wielu innych wielkości fizycznych. Przykłady urządzeń wykonawczych to: silniki, siłowniki liniowe, przekaźniki, zawory. Ważnym elementem infrastruktury IoT są systemy wbudowane typu SoC (ang. *System on a Chip*). Są to układy elektroniczne, których poszczególne komponenty realizujące wymagane funkcjonalności są zintegrowane w ramach jednego, kompletnego układu scalonego. System typu SoC mogą zawierać m. in.: procesory lub mikrokontrolery, przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, pamięci, procesory graficzne, interfejsy komunikacyjne [15], [29]. Obok rozwiązań dedykowanych dużą popularnością cieszą się następujące platformy uniwersalne [15]:

- Arduino — Różne modele płytek rozwojowych wykorzystujące m. in. systemy SoC producenta Atmel oparte o mikrokontrolery AVR. Wśród zestawów płytek

dostępne są moduły rozszerzeń posiadające przewodowe i bezprzewodowe interfejsy sieciowe.

- ESP — Systemy typu SoC producenta Espressif Systems zawierające wbudowane bezprzewodowe interfejsy sieciowe.
- Raspberry Pi — Zaawansowane płytki tworzące komputery jednopłytkowe (ang. *single-board computer*). Można na nich uruchomić system operacyjny (również z interfejsem graficznym). Posiadają liczne interfejsy komunikacyjne (w tym sieciowe) [24].

Wymienione platformy uniwersalne mogą też stanowić pomost pomiędzy główną siecią w systemie IoT (np. Ethernet lub WiFi) a innymi urządzeniami peryferyjnymi komunikującymi się za pośrednictwem uniwersalnych złącz pinowych GPIO albo interfejsów szeregowych, takich jak: SPI, I2C, RS232, USB [15].

2.3.3 “Internet” w IoT

Wymiana informacji w systemach IoT może odbywać się w sposób przewodowy lub bezprzewodowy. Stosowane modele komunikacji sieciowej bazują na standardowym modelu OSI bądź internetowym stosie TCP/IP. W warstwie fizycznej i łącza danych sieci IoT wykorzystuje się protokoły: Ethernet, WiFi, Bluetooth, sieci komórkowe, ZigBee, Z-Wave, NFC. W warstwie sieciowej stosuje się: IPv4, IPv6 oraz zoptymalizowaną pod IoT wersję IPv6 — 6LoWPAN. Protokoły warstwy transportowej to m. in. TCP i UDP. Warstwy sesji, prezentacji i aplikacji implementują powszechne używane internetowe protokoły, np. HTTP, RTP, SMTP. Wśród protokołów najwyższych warstw opracowano również protokoły dedykowane dla IoT — są to m. in. MQTT i CoAP [8], [15], [25].

W sieciach IoT rozróżnia się trzy następujące modele komunikacyjne [15]:

- Urządzenie – Urządzenie (ang. *Machine to Machine, Device to Device*, w skrócie: M2M) — Urządzenia komunikują się pomiędzy sobą bez potrzeby translacji czy wykonywania skomplikowanego przetwarzania danych. W odniesieniu do zaprezentowanego w rozdziale 2.2 modelu piramidowego oznaczałoby to, że węzły działające w ramach odrębnych warstw hierarchii mogłyby się ze sobą komunikować bezpośrednio, na tej samej płaszczyźnie;
- Urządzenie – Brama (ang. *Device to Gateway*) — Występuje, gdy zachodzi potrzeba translacji informacji wymienianej pomiędzy różnymi sieciami. Translację zajmuje brama (ang. *gateway*), którą tworzy dedykowane oprogramowanie i/lub urządzenie;
- Urządzenie – Chmura (ang. *Device to Cloud*) — Występuje, gdy zachodzi potrzeba zaawansowanego przetwarzania danych (statystyka, eksploracja danych,

big data, składowanie, itp.), co nie jest możliwe w przypadku urządzeń o ograniczonych zasobach obliczeniowych, pamięciowych i energetycznych. Niektóre urządzenia są w stanie komunikować się z chmurą bezpośrednio, inne korzystają w tym celu z bram.

2.3.4 Usługi chmurowe

Przetwarzanie w chmurze (ang. *cloud computing*) pozwala na migrację części lub całości infrastruktury informatycznej do tzw. chmury. Wśród popularnych rozwiązań znajdują się: Microsoft Azure, Amazon AWS, Google Cloud, czy IBM Cloud. Usługi chmurowe udostępniane przez wymienionych i wielu innych dostawców za pośrednictwem Internetu noszą miano **chmury publicznej**. Są one dostępne na życzenie i posiadają elastyczny system rozliczeń, w którym koszt są zależne od faktycznie zużytych zasobów informatycznych (cykle procesorów, pamięć, wykorzystanie łącza, liczba zapytań). Do zalet takiego rozwiązania należą: łatwa skalowalność, konfigurowalność i duży wybór usług ułatwiających utrzymanie infrastruktury informatycznej. Spośród wad należy wymienić zależność od firm trzecich (dostawców chmury) oraz brak pełnej kontroli nad posiadaną infrastrukturą. Niektóre firmy rozwijają też podobne, lecz dostępne wyłącznie lokalnie, rozbudowane platformy infrastruktury informatycznej, zwane **chmurą prywatną**. Tego typu rozwiązania są kosztowne, lecz dają pełną kontrolę nad posiadanymi zasobami [25].

W ramach swoich usług dostawcy chmury udostępniają m.in.: przetwarzanie danych, analitykę, eksplorację danych, uczenie maszynowe, konteneryzację, relacyjne i nierelacyjne bazy danych, integrację aplikacji, hosting aplikacji i stron internetowych, maszyny wirtualne, narzędzia programistyczne, zarządzanie użytkownikami, a ponadto platformy do zarządzania systemami IoT [6], [1].

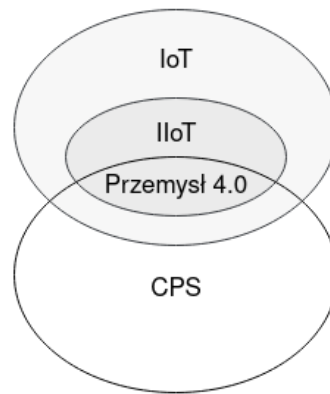
Zarządzanie dużą ilością danych jest podstawowym zadaniem systemu IoT. Składa się ono na: zbieranie, filtrowanie, agregację, przetwarzanie, składowanie, udostępnianie, wizualizację oraz zabezpieczanie [15]. Usługi chmurowe umożliwiają złożone zarządzanie danymi oferując jednocześnie skalowalność, zdalny dostęp, opłaty zależne od zapotrzebowania i gotowe rozwiązania programistyczne skracające czas rozwoju systemów [20], [2], [21].

2.4 Internet rzeczy w przemyśle

Przemysłowym Internetem Rzeczy (ang. *Industrial Internet of Things*, w skrócie: IIoT) nazywamy rozwiązania IoT znajdujące zastosowanie w przemyśle. Do dziedziny IIoT należą: komunikacja M2M oraz przemysłowe technologie komunikacyjne stosowane w systemach automatyzacji. IIoT ma umożliwić lepsze zrozumienie procesów przemysłowych, a w związku z tym zapewnić większą wydajność i zrównowa-

zenie produkcji. Innymi słowy, IIoT ma za zadanie ułatwić integrację **technologii operacyjnych** (ang. *Operation Technologies*, w skrócie: OT) oraz **technologii informatycznych** (ang. *Information Technologies*, w skrócie: IT) [27]. Technologie operacyjne to systemy nadzorujące przebieg procesów przemysłowych, zaś technologie informatyczne to systemy, których rolą jest gromadzenie i przetwarzanie informacji wartościowych z perspektywy przedsiębiorstwa [3].

Z zagadnieniem IIoT ściśle związane jest też pojęcie **Przemysłu 4.0** (ang. *Industry 4.0*) reprezentujące czwartą rewolucję przemysłową. Jest to koncept stosunkowo uniwersalny skupiający rozwiązania CPS, IoT, IIoT wykorzystywane w celu zwiększania efektywności procesów przemysłowych w ramach tzw. inteligentnych fabryk (ang. *smart factories*) [14], [27]. Zależności pomiędzy wymienionymi pojęciami przedstawia rys. 2.



Rysunek 2: Diagram Venne’a przedstawiający zależności między CPS, IoT, IIoT i Przemysłem 4.0

Ze względu na konieczność funkcjonowania w specyficznym środowisku przemysłowym IIoT posiada pewne cechy odróżniające od standardowego (konsumenckiego) IoT. Wśród nich należy wymienić [27]:

- Rozwój o charakterze ewolucyjnym, nie rewolucyjnym — Podczas gdy wokół konsumenckiego IoT rozwijanych jest wiele nowych technologii i standardów, wdrażając systemy IIoT należy się liczyć z dużą bezwładnością przemysłowego środowiska technologicznego. Istnieje wiele sprawdzonych, dobrze funkcjonujących rozwiązań dedykowanych dla przemysłu [9];
- Infrastruktura komunikacyjna — Infrastruktura IoT jest bardziej elastyczna, podczas gdy infrastruktura IIoT wymaga dostosowania do bardziej ustrukturyzowanych modeli komunikacyjnych;

- Ograniczenia — W otoczeniu przemysłowym charakterystyczne są wysokie wymagania dotyczące ograniczeń czasowych (determinizmu), niezawodności, bezpieczeństwa danych oraz funkcjonowania w niesprzyjających warunkach środowiskowych.

Szczególną uwagę należy poświęcić stwierdzeniu, że **intencją wykorzystania IIoT nie jest zastąpienie tradycyjnych systemów automatyzacji procesów przemysłowych** [27]. Na tej płaszczyźnie istnieją bowiem dedykowane rozwiązania adresujące problem ograniczeń spotykanych w autoamtyce przemysłowej. Właściwym celem wdrażania systemów IIoT jest **zwiększanie wiedzy na temat procesów przemysłowych, co w efekcie pozwala na ulepszenie jego wydajności**. [27].

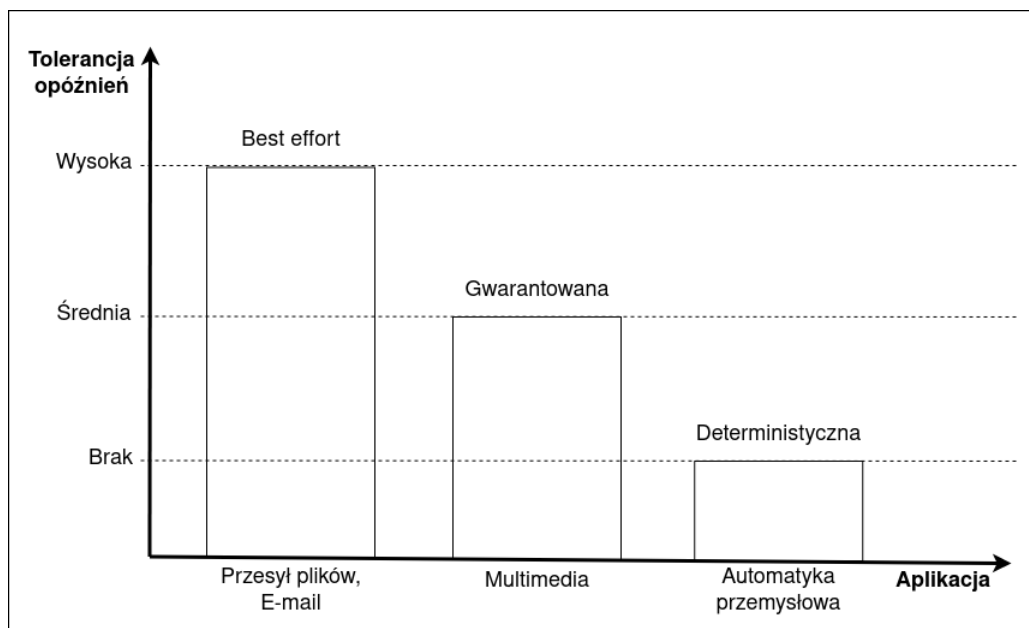
Ze względu na tolerancję ograniczeń w systemie (m. in. opóźnień czasowych) można wyróżnić trzy poziomy jakości usług komunikacyjnych [25]:

- Dostarczanie z wykorzystaniem najlepszych możliwości (ang. *best effort*) — Komunikacja nie spełnia ścisłych ograniczeń czasowych, wykorzystywana jest maksymalna dostępna przepustowość. Jest to poziom jakości charakterystyczny dla usług internetowych;
- Dostarczanie w czasie gwarantowanym — Komunikacja spełnia pewne ograniczenia czasowe, których niedotrzymanie skutkuje spadkiem korzyści płynących z wykorzystawanych usług;
- Dostarczanie w czasie deterministycznym — Komunikacja powinna spełniać ścisłe ograniczenia czasowe, których niedotrzymanie jest równoznaczne z awarią systemu.

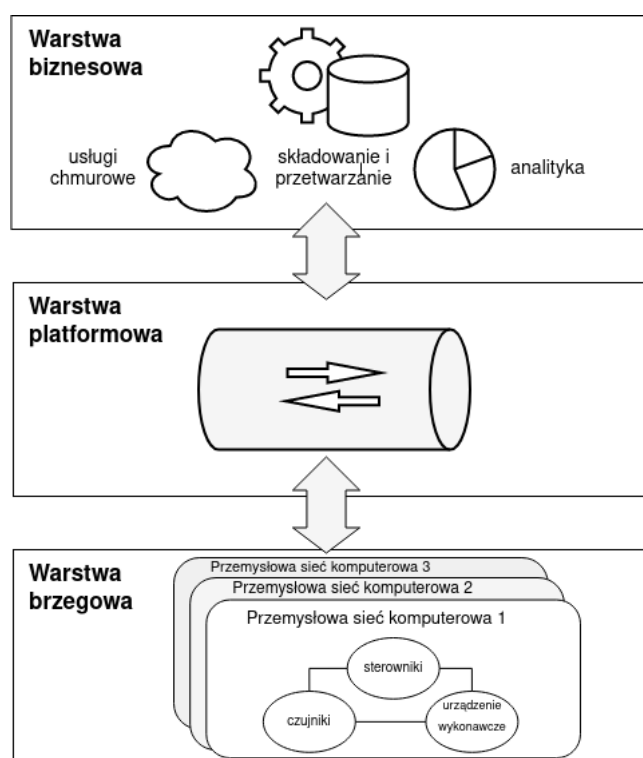
Poziomy tolerancji opóźnień czasowych w różnych aplikacjach przedstawia rys. 3

Powszechna infrastruktura tworząca Internet, jak i usługi w nim dostępne, są z reguły niedeterministyczne pod względem czasowym. Systemy IoT czy IIoT mogą więc funkcjonować zgodnie paradygmatem *best effort*. Aczkolwiek można wyobrazić sobie pewien heterogeniczny system IoT, w którym istnieje pewna sieć deterministyczna połączona z publicznym Internetem za pomocą odpowiedniej bramy. Takie podejście może okazać się przydatne w przemyśle, gdzie istnieje potrzeba integracji istniejących systemów automatyki z Internetem Rzeczy [16].

W systemach IIoT popularny jest podstawowy, trójwarstwowy model architektury. Wśród jego warstw wyróżniamy: warstwę brzegową (ang. *edge*), warstwę platformową (ang. *platform*) i warstwę biznesową (ang. *enterprise*) [27]. Model ten przedstawia rys. 4.



Rysunek 3: Wykres przedstawiający poziomy tolerancji opóźnień dla różnych aplikacji.



Rysunek 4: Model warstwowy informatycznych systemów przemysłowych.

Do warstwy brzegowej należą typowe urządzenia systemów automatyki przemysłowej, m.in. czujniki i urządzenia wykonawcze oraz sterowniki (np. klasy PLC) oraz łączące je sieci komputerowe. Warstwę platformową realizują zwykle usługi chmurowe, takie jak Azure IoT Hub czy AWS IoT. Serwisy te umożliwiają przede wszystkim zarządzanie systemem IoT, akwizycję i agregację danych oraz trasowanie danych na

wejścia innych usług i aplikacji domenowych [23]. Warstwę biznesową stanowią aplikacje domenowe lub zaawansowane usługi chmurowe korzystające ze zgromadzonych danych w celu wspomagnia analityki, monitorowania, zarządzania, archiwizacji, itp.

2.5 Ujęcie tematu w świetle zgromadzonych informacji

Niniejszy podrozdział przedstawia konsolidację wiedzy zebranej w ramach poprzednich podrozdziałów w kontekście podjętego tematu pracy.

Głównym zagadnieniem rozważanym w ramach projektu jest zbieranie danych pomiarowych w środowisku przemysłowym. Problem ten adresują technologie IIoT oraz usługi chmurowe. Umożliwiają one gromadzenie i przetwarzanie danych w systemie rozproszonym składającym się z szeroko pojętej aparatury kontrolno-pomiarowej (urządzeń cybernetyczno-fizycznych). W niniejszej pracy podjęto zadanie **zaprojektowania architektury** opisanego systemu oraz **realizacji jego prototypu**.

Sporządzenie koncepcji architektury systemu sprowadza się do wypracowania **ogólnego rozwiązania** dla klasy zadań, jaką jest zbieranie danych w środowisku przemysłowym. Zaproponowany model będzie więc abstrahować od konkretnych narzędzi, technologii, urządzeń czy szczegółowych przypadków użycia. Przykładową implementację modelu ma stanowić wykonany prototyp, na poziomie którego dobór technologii i aparatury będzie skonkretyzowany na podstawie analizy i porównań dostępnych narzędzi i usług informatycznych.

Modelem referencyjnym dla projektowanego systemu jest zaprezentowana w rozdziale 2.4 **trójwarstwowa architektura systemów IIoT**. Dla warstwy brzegowej przyjmuje się, że w systemie może być zapewniony dostęp do dwóch rodzajów urządzeń: przemysłowe urządzenia lub zespoły urządzeń aparatury kontrolno-pomiarowej pracujące w czasie rzeczywistym w ramach sieci przemysłowej (czujniki przemysłowe, wyspy czujników, moduły DAQ, moduły I/O, sterowniki, itp.) oraz typowe dla IoT bezprzewodowe sieci sensorowe (ang. *Wireless Sensor Networks*, w skrócie: WSN) lub inne zespoły urządzeń zawierające czujniki komunikujące się z wykorzystaniem protokołów charakterystycznych dla IoT [5] (przykłady takich urządzeń wymieniono w rozdziale 2.3). Implementację warstwy platformowej realizują wspomniane już rozwiązania oferowane przez dostawców chmury. Do warstwy biznesowej mogą należeć istniejące aplikacje wspomagające działalność przedsiębiorstwa (m. in. systemy klasy ERP) oraz mogące przejmować ich funkcje usługi chmurowe.

Reasumując — gromadzenie danych w ramach systemu umożliwia dostępna aparatura pomiarowa składająca się z urządzeń przemysłowych i/lub IoT. Zarządzanie urządzeniami, agregację, przetwarzanie, składowanie i udostępnianie danych mogą realizować wybrane usługi chmurowe i/lub “szyte na miarę” aplikacje (głównie internetowe). Pewną lukę, element brakujący w proponowanym modelu stanowi konieczność dopaso-

wania do różnych protokołów sieci przemysłowych i IoT. Konieczna jest też integracja warstwy brzegowej i platformowej zaproponowanego modelu. Są to krytyczne zadania przypisywane systemom IIoT. Do rozwiązania przytoczonego problemu stosuje się tak zwane **bramy IoT** (ang. *IoT gateways*). Są to zwykle urządzenia wraz z oprogramowaniem będące w stanie integrować zarówno protokoły warstwy fizycznej i łącza danych, jak i dokonywać translacji protokołów wyższych warstw (tzw. bramy semantyczne) wraz z możliwością udostępniania danych za pośrednictwem Internetu [17]. Bramy mogą realizować również wstępne przetwarzanie danych odciażając w ten sposób usługi wyższych warstw. Jest to tzw. koncepcja **przetwarzania brzegowego** (ang. *edge computing*) [4]. W ogólniejszym rozumieniu bramy IoT mogą stanowić pomost pomiędzy infrastrukturą pomiarową a infrastrukturą sieciową lub też pomiędzy technologią operacyjną a technologią informatyczną [5], [27]. Bramy IoT mogą z reguły udostępniać dane za pośrednictwem Internetu na poziomie usługi *best-effort*. Warto jednak rozważyć możliwość, aby na poziomie lokalnym mogły one współpracować z istniejącymi systemami czasu rzeczywistego, co jest ważnym aspektem w środowisku przemysłowym.

Otrzymano zatem podstawowy zarys projektowanego systemu. Składa się on z urządzeń pomiarowych udostępniających dane w ramach sieci przemysłowych oraz IoT. Integracji różnych protokołów i wstępnego przetwarzania dokonuje dedykowana brama (bramy) IoT. Brama przekazuje dane w spójnym, jednolitym formacie do usług chmurowych i innych aplikacji za pośrednictwem Internetu. Te z kolei mogą realizować zaawansowane przetwarzanie, składowanie, udostępnianie i wizualizację danych.

Poza podstawowym zdefiniowanym celem gromadzenia danych pomiarowych możliwe jest też oddziaływanie systemów informatycznych na systemy nadzorujące przebiegiem procesów przemysłowych. Nie jest to przypadek użycia zalecany dla zadań automatyzacji, gdzie zwykle narzucany jest determinizm czasowy. Aczkolwiek zapewne można sobie wyobrazić przykładową sytuację, w której wynikiem analizy danych jest polecenie dla systemu automatyzacji, które niekoniecznie musi być zrealizowane w ścisłych ramach czasowych. Projektowany system powinien zatem dopuszczać możliwość implementacji podobnych funkcjonalności wpisujących się w paradygmat systemów CPS.

W następującym, szczegółowym etapie projektowania poruszone zostaną również inne ważne wyzwania IIoT, jakimi są **bezpieczeństwo danych** oraz **bezpieczeństwo w kontekście niesprzyjającego środowiska przemysłowego** [27].

Wśród istniejących, komercyjnych rozwiązań o podobnej dziedzinie funkcjonalnej znaleziono następujące przykłady:

- Sensemetrics — Rozwiązanie amerykańskiej firmy Industrial IoT Solutions oparte na standaryzowanej architekturze warstwowej. Jest to system do akwizycji i zarządzania danymi. Producent przypisuje swojemu systemowi wysoką konfiguro-

walność [26];

- Nazca 4.0 — System rozwijany przez polską firmę APA Group zorientowany na Przemysł 4.0. Wśród użytych technologii producent wymienia IoT, inteligentne czujniki, przetwarzanie w chmurze, integrację systemów [22];
- IXON — Kompletne rozwiązanie IIoT holenderskiej firmy o tej samej nazwie. System składa się z platformy internetowej umożliwiającej nadzór, analitykę i wizualizację danych, a także dedykowanego routera/bramy IoT. Urządzenie wraz z oprogramowaniem integruje takie systemy i protokoły jak: OPC UA, Modbus, Ethernet [13].

3 Wymagania i narzędzia

4 Specyfikacja zewnętrzna

5 Specyfikacja wewnętrzna

6 Weryfikacja i walidacja

7 Podsumowanie i wnioski

Bibliografia

- [1] *Azure products*. Microsoft Azure. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/> (term. wiz. 15.11.2020).
- [2] *Benefits of a Cloud Platform in the IoT*. AVSystem. URL: <https://www.avsystem.com/blog/iot-cloud-platform/> (term. wiz. 15.11.2020).
- [3] Emilie Bonnetto, Bernard Yannou, Gwenola Bertoluci, Vincent Boly i Jorge Alvarez. „A categorization of customer concerns for an OT front-end of innovation process in an IT/OT convergence context”. W: *International Design Conference* (2016).
- [4] Claudio Botta, Leonardo Pierangelini i Luca Vollero. „IoT Gateways for Industrial and Medical Applications: Architecture and Performance Assessment”. W: *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT* (2020).
- [5] Hao Chen i Heng Li Xueqin Jia. „A brief introduction to the IoT gateway”. W: *IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011)* (2011).

- [6] *Cloud Products*. Amazon Web Services. URL: https://aws.amazon.com/products/?nc2=h_q1_prod_fs_f (term. wiz. 15.11.2020).
- [7] Maurizio Di Paolo Emilio. *Data Acquisition Systems. From Fundamentals to Applied Design*. Springer, 2013.
- [8] Vlad M.Trifa Dominique D.Guinard. *Internet rzeczy. Budowa sieci z wykorzystaniem technologii webowych i Raspberry Pi*. Helion, 2017.
- [9] Piotr Gaj. *Wybrane zagadnienia projektowania systemów informatyki przemysłowej*. Studia Informatica : quarterly ; vol. 37, nr 4B (128). Silesian University of Technology Press, 2016.
- [10] Mariusz Grabowski i Agnieszka Zająć. „Dane, informacja, wiedza – próba definicji”. W: *Zeszyty Naukowe nr 798 Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie* (2009).
- [11] Christopher Greer, Martin Burns, David Wollman i Edward Griffor. „Cyber-Physical Systems and Internet of Things”. W: *NIST Special Publication 1900-202* (2019).
- [12] *Information science*. Encyclopædia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/information-science> (term. wiz. 01.12.2020).
- [13] *IXON. All-in-one Industrial IoT solution*. IXON. URL: <https://www.ixon.cloud/all-in-one-industrial-iot-solution> (term. wiz. 15.11.2020).
- [14] Sabina Jeschke, Christian Brecher, Houbing Song i Danda B.Rawat. *Industrial Internet of Things. Cybermanufacturing Systems*. Springer, 2017.
- [15] Aleksandr Kapitonov, Dmitrii Dobriborsci, Igor Pantiukhin, Valerii Chernov, Raivo Sell, Rim Puks, Mallor Kingsepp, Agris Nikitenko, Karlis Berkolds, Anete Vagale, Rudolfs Rumba, Piotr Czekalski, Krzysztof Tokarz, Oleg Antemijczuk, Jarosław Paduch, Raivo Sell, Salvatore, Rustem Dautov, Riccardo Di Pietro, Antonino Longo Minnola, Blanka Czekalska, Małgorzata Wiktorczyk i Ritankar Sahu. *Introduction to the IoT*. RTU Press, 2019.
- [16] Aditi khandelwal, Ishita Agrawal, Malaserene I., S.Sankar Ganesh i Rajeev Karothia. „Design and implementation of an industrial gateway: Bridging sensor networks into IoT”. W: *International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (2019).
- [17] Viacheslav Kulik i Ruslan Kirichek. „The Heterogeneous Gateways in the Industrial Internet of Things”. W: *10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)* (2018).

- [18] Andrzej Kwiecień. *Analiza przepływu informacji w komputerowych sieciach przemysłowych*. Studia Informatica, 1642-0489, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Informatyka. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2002.
- [19] Roman Kwiecień. *Komputerowe systemy automatyki przemysłowej*. Helion, 2013.
- [20] Theo Lynn, John G. Mooney, Pierangelo Rosati i Grace Fox. *Measuring the Business Value of Cloud Computing*. PALGRAVE STUDIES IN DIGITAL BUSINESS AND ENABLING TECHNOLOGIES. Palgrave Macmillan, 2020.
- [21] Zaigham Mahmood, Eldar Sultanow i Alina Chircu. *The Internet of Things in the Industrial Sector*. Computer Communications and Networks. Springer, 2019.
- [22] *Nazca 4.0*. APA Group. URL: <https://www.apagroup.pl/en/nazca-4-0> (term. wiz. 15.11.2020).
- [23] Galia Novakova Nedeltcheva i Elena Shoikova. „Models for Innovative IoT Ecosystems”. W: *IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (2019).
- [24] *Raspberry Pi*. Raspberry Pi Foundation. URL: <https://www.raspberrypi.org/> (term. wiz. 15.11.2020).
- [25] Ammar Rayes i Samer Salam. *Internet of Things From Hype to Reality. The Road to Digitization*. Springer, 2019.
- [26] *Sensmetrics*. Industrial IoT Solutions. URL: <https://i-iotsolutions.com/sensematics/> (term. wiz. 15.11.2020).
- [27] Emiliano Sisinni, Abusayeed Saifullah, Song Han, Ulf Jennehag i Mikael Gidlund. „Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities and Directions”. W: *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 14, NO. 11* (2018).
- [28] Vladimir Slamecka. *Information processing*. Encyclopædia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/information-processing> (term. wiz. 01.12.2020).
- [29] *SoC*. TechTerms. URL: <https://techterms.com/definition/soc> (term. wiz. 15.11.2020).
- [30] *System informatyczny*. Wydawnictwo Naukowe PWN. URL: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/system-informatyczny;3982203.html> (term. wiz. 01.12.2020).