

Interaktywne sterowanie i spersonalizowana obsługa użytkowników budynków – mikrolokalizacja w systemach automatyki

Andrzej Ożadowicz, Jakub Grela

Wstęp

Współczesne zintegrowane systemy automatyki przemysłowej i budynkowej w znakomitej mierze bazują na sieciowych, rozproszonych systemach komunikacji danych. W sieciach tych na poziomie obiektowym – bezpośredniej obsługi urządzeń – wykorzystuje się otwarte protokoły komunikacji, co pozwala na swobodne łączenie i komunikowanie ze sobą węzłów sieciowych (czujników, elementów wykonawczych i sterowników) pochodzących od różnych producentów. Z kolei komunikacja na poziomach wyższych, zapewniających wymianę danych z systemami nadrzędnymi, platformami zarządzania, monitoringu, wizualizacji itp., zwykle realizowana jest w oparciu o popularny w sieciach teleinformatycznych protokół TCP/IP. Taka koncepcja organizacyjna systemów automatyki budynkowej i zarządzania infrastrukturą budynkową – BMS pozwala obecnie na realizację zaawansowanych funkcji monitoringu i sterowania oraz wprowadzenie elementów interaktywnej obsługi urządzeń infrastruktury budynku, w zależności od zmian rejestrowanych parametrów otoczenia – obecność osób, temperatura, poziom natężenia światła, stężenie CO₂ itp.

Najnowszym trendem obserwowanym w tym obszarze jest tzw. Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), z ukierunkowaniem na pełne rozproszenie modułów sieciowych poziomów nadrzędnych i obiektowych oraz wykorzystanie do komunikacji między nimi wspomnianych protokołów TCP/IP. Koncepcja ta zakłada włączenie w struktury sieci Internet aktywnych węzłów i modułów sieciowych, obsługiwanych dotąd przez sieci obiektowe – tak charakterystyczne dla automatyki budynkowej (np. LonWorks,

Streszczenie: Systemy automatyki budynkowej stanowią integralną część infrastruktury wielu współczesnych budynków, w szczególności użyteczności publicznej, komercyjnych i biurowych. Ich podstawowe zadanie to automatyczna obsługa różnorodnych urządzeń i podsystemów instalowanych w budynkach dla zapewnienia wysokiego komfortu użytkownika pomieszczeń, podniesienia poziomu bezpieczeństwa pracy samych urządzeń oraz osób z nich korzystających, jak również poprawy efektywności energetycznej budynków. Postępujący rozwój elektroniki, technik komputerowych i technologii komunikacji sieciowej sprawił, że systemy automatyki budynkowej umożliwiają realizację wielu zaawansowanych funkcji sterowania i monitoringu urządzeń infrastruktury budynkowej, w zależności od różnorodnych

parametrów i czynników oddziałujących na te urządzenia i obiekty zlokalizowane wewnątrz budynku. W szczególności czynnikiem takim są sami użytkownicy, osoby poruszające się po pomieszczeniach i lokalnie sterujące pracą różnych urządzeń. W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania elementów mikrolokalizacji wewnątrz pomieszczeń, w celu wprowadzenia zdalnej interakcji między użytkownikami budynków a urządzeniami i podsystemami infrastruktury budynkowej oraz personalizacji usług oferowanych konkretnym użytkownikom, w zależności od ich zachowań, upodobań itp. Zaprezentowano również rzeczywistą instalację systemu sterowania i dostarczania indywidualnej informacji kontekstowej, zrealizowaną w jednym z obiektów wystawowych nowoczesnych technologii i robotów przemysłowych.

🇬🇧 AN INTERACTIVE CONTROL AND PERSONALIZED SERVICES FOR BUILDINGS' USERS – MICRO-LOCATION IN THE BUILDING AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS

Abstract: Nowadays, Building Automation and Control Systems (BACS) are integral part of infrastructure in many buildings, especially public, commercial and in offices. The BACS provide automatic control and monitoring of various devices and subsystems in buildings to ensure high comfort level in the rooms, improve safety and security levels for both devices and occupants as well as to improve overall energy efficiency of the buildings. Taking into account extremely fast development in electronics, computer and communication

technologies, the modern BACS offer more and more advanced control and monitoring functions. They could depend on various parameters and factors affecting devices and subsystems installed in buildings. In particular, occupants and users themselves, with their habits and reactions could be considered as these factors. Users could move in rooms, corridors and control different devices locally. In this paper authors propose a concept of implementation of microlocation mechanisms for indoor location of occupants. These mechanisms could be integrated within the BACS providing interaction between users and devices installed in building. Customized services for various users could be provided as well. Real installation with mentioned functions has been presented in the paper.

KNX, BACnet) i przemysłowej (np. Profibus, ModBus). W sieciach IoT każdy obiekt, urządzenie, moduł dostępowy może automatycznie łączyć się z siecią Internet, stanowiąc jej pełnoprawny węzeł, i komunikować się z dowolnym innym węzłem/modułem do niej podłączonym [1]. Węzły z własnymi adresami IP, również na poziomie obiektowym sieci, korzystając z podanych algorytmów sterowania, mogą realizować działania oddziałujące na otoczenie, niejednokrotnie bez wiedzy i udziału użytkowników końcowych. Węzły te muszą mieć zdolność wzajemnej identyfikacji (każdy obiekt odnajduje i identyfikuje inne obiekty w sieci), komunikacji każdy z każdym P2P (wymiana danych ciągle lub w zależności od zdarzeń w obiekcie) oraz interakcji i interoperacyjności (wszystkie obiekty mogą ze sobą współpracować, wymieniać sygnały, dane) [2].

Dzięki takim rozwiązaniom, urządzenia infrastruktury budynków i ich otoczenia stają się obiektami aktywnie reagującymi na zmienne parametry otoczenia, monitorowane przez czujniki, jak i sygnały sterujące od użytkowników oraz innych urządzeń, tworząc interaktywne, inteligentne aplikacje systemowe. Interakcja między urządzeniami systemowymi oraz z użytkownikiem może być realizowana na różnych płaszczyznach. Nowoczesne techniki komunikacyjne, powszechność korzystania z Internetu oraz dostępność urządzeń mobilnych, zwiększają możliwości interaktywnego oddziaływania między użytkownikami budynków a ich infrastrukturą, jak również personalizacji informacji przekazywanych z i do systemu BMS. Gwałtowny wzrost popularności i zastosowań sieci Internet w ostatnich kilku latach spowodował, że ludzie zaczęli powszechnie korzystać z usług sieciowych oraz wielu innowacyjnych aplikacji i technologii dostępnych w ich osobistych, mobilnych smartfonach czy tabletach. Wygoda i intuicyjność użytkowania tych urządzeń i ich funkcji otwiera nowe obszary możliwych zastosowań, również jako elementu wspomnianej interakcji z otoczeniem i infrastrukturą budynkową. Współczesne urządzenia mobilne, wyposażone w różnorodne czujniki i aplikacje multimedialne, ofe-

rują nowe możliwości budowy elastycznych i uniwersalnych platform detekcji i lokalizacji osób, zarówno na zewnątrz, jak i we wnętrzach budynków. Szczególnie ten drugi obszar jest istotny z punktu widzenia aktywnej i spersonalizowanej obsługi systemów BMS i układów sterowania różnych urządzeń i obiektów zlokalizowanych w budynkach [3, 4].

Niezbędnym i coraz częściej implementowanym elementem takiej koncepcji aktywnie monitorowanych i sterowanych budynków jest mikrolokalizacja. Proces ten polega na wykrywaniu położenia/pozycji osób z bardzo dużą dokładnością, rzędu kilkudziesięciu, kilkunastu centymetrów. Nie mogą jej zatem zapewnić klasyczne już dziś systemy GPS, w szczególności we wnętrzach budynków, gdzie sygnał systemu GPS jest silnie tłumiony [5]. Aktualnie testowane są systemy mikrolokalizacyjne oparte o inne technologie, które przedstawiono w dalszej części artykułu. Technologia mikrolokalizacji dobrze wpisuje się w trendy automatyzacji. Flagowym przykładem jej zastosowań, gdzie systemy mikrolokalizacyjne wykorzystuje się już obecnie, są sklepy, w szczególności duże markety i galerie handlowe, które wykorzystują informacje o położeniu klienta w celu dostarczenia mu kontekstowych informacji, takich jak akcje promocyjne bądź wskazywanie drogi do przebieralni, kasy itp. Dlatego też spersonalizowane powitania, przypomnienia, oferty, w zależności od działu sklepu, w którym znajduje się użytkownik aplikacji, to jeden z możliwych kierunków rozwoju. Poza zastosowaniami typowo marketingowymi, szerokim obszarem rozwojowym jest rozszerzenie funkcjonalności systemów BMS – uruchamiania określonych urządzeń, oświetlenia dla konkretnych osób, pomieszczeń, aktywacji dostępu konkretnych osób tylko do wybranych pomieszczeń, wind, ciągów komunikacyjnych w budynkach itp. Mikrolokalizacja znajduje zastosowanie w różnorodnych sektorach rynku, a wspólnym mianownikiem zróżnicowanych wdrożeń jest to, że podnoszą komfort i jakość użytkowania, ale przede wszystkim stanowią źródło spersonalizowanych informacji. W artykule omówiono wybrane aspekty techniczne dotyczące technologii wyko-

rzystywanych w systemach mikrolokalizacji oraz zaprezentowano aplikację takiego systemu jako platformy wsparcia interaktywnej wystawy robotów w Astor Innovation Room (AIR) w Krakowie.

Mikrolokalizacja – koncepcja i technologie

Technologie geolokalizacyjne znane są i powszechnie stosowane już od kilkudziesięciu lat. Najbardziej znanym rozwiązaniem i systemem jest GPS (ang. *Global Positioning System*), którego koncepcja i pierwsze aplikacje sięgają początku lat 70. ubiegłego wieku, wówczas głównie w zastosowaniach wojskowych armii Stanów Zjednoczonych [6, 7]. Obecnie technologia ta, działająca z dokładnością do kilkudziesięciu metrów, dostępna jest powszechnie w zastosowaniach zarówno wojskowych, jak i cywilnych, ułatwiając ludziom dotarcie do celu podróży czy znalezienie właściwych obiektów w nieznanym nawet przestrzeni, miejscowości. Chociaż moduły GPS implementowane są nawet w niewielkich urządzeniach mobilnych, smartfonach czy tabletach, nie mogą być jednak bezpośrednio wykorzystane do bardziej precyzyjnej lokalizacji osób lub przedmiotów, w szczególności w przestrzeniach wewnątrz budynków. Problemem jest również dość znacząca energochłonność aktywnych modułów lokalizacji GPS, co znacząco ogranicza możliwości ich stosowania w ciągłej, precyzyjnej lokalizacji osób, bez zapewnienia dodatkowego zasilania [3]. Dlatego też w ostatnich kilku latach, na potrzeby organizacji systemów lokalizacji i nawigacji wewnątrzbudynkowej, podjęto prace badawcze związane z wykorzystaniem innych technologii bezprzewodowych, które instalowane są w ramach infrastruktury budynkowej, a jednocześnie ich czujniki, moduły są integralnymi elementami urządzeń mobilnych. Niemal intuicyjnie narzucającym się rozwiązaniem jest wykorzystanie modułów obecnej w budynkach sieci Wi-Fi, z pomiarem siły ich sygnału radiowego i parametrów identyfikacyjnych w sieci teleinformatycznej. Trzeba jednak mieć świadomość, że elementy przestrzeni zamkniętych znacznie utrudniają dokładny pomiar rozchodzenia się sygnałów radiowych. W większości

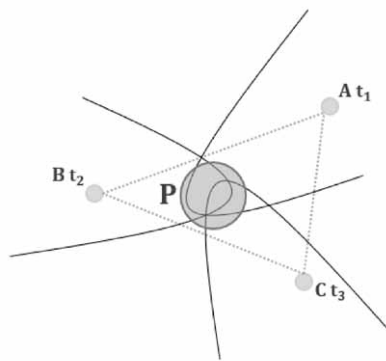
pomieszczeń powstaje zjawisko odbicia sygnału, a co za tym idzie – interferencji fal. Stosunkowo rzadko odbiornik sygnału znajduje się na tzw. ścieżce LOS (ang. *line-of-sight*) nadajnika, co bezpośrednio wpływa na zakłócenia w odbiorze. Duża liczba powierzchni odbijających, zagęszczenie osób w budynku oraz różnorodność materiałów wykorzystywanych w konstrukcji budynków utrudniają dodatkowo badanie i analizy sposobu rozchodzenia się fali w danym obiekcie, a tym samym lokalizacja nadajników sygnału jest obciążona dużym błędem. Dlatego też opracowano różne metody i algorytmy analizy sygnałów radiowych w pomieszczeniach, pozwalające na zwiększenie dokładności szacowania położenia obiektu emitującego sygnał oraz prowadzone są testy różnych technologii bezprzewodowych, w tym: wspomniane już WiFi, RFID, NFC, Bluetooth i inne [4, 5, 8, 9].

A. Metody i algorytmy pozycjonowania w mikrolokalizacji

Podstawową metodą lokalizacji modułów nadawczych w przestrzeni jest triangulacja, w której wykorzystuje się własności geometryczne trójkątów w estymacji położenia punktów w przestrzeni. W zastosowaniach mikrolokalizacyjnych stosowane są dwie odmiany tej metody: lateracja i angulacja – omówione szczegółowo w [10]. W pierwszej z nich – trilateracji, dla precyzyjnego ustalenia położenia punktu w przestrzeni dwuwymiarowej (a taka interesuje nas w budynku – np. pozycja osoby w pokoju), dokonywane są pomiary czasów

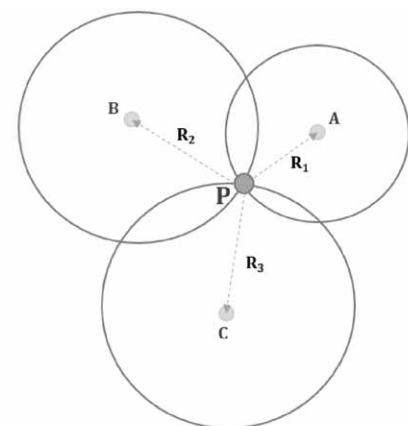
propagacji sygnałów radiowych co najmniej z trzech punktów odniesienia, jak to pokazano na rysunku 1 [5, 11, 12].

Kolejna, bardziej zaawansowana metoda lokalizacji to multilateracja, w której zamiast bezwzględnego czasu przelotu sygnału wykorzystuje się różnicę czasu dotarcia do kolejnych odbiorników. Aby zlokalizować obiekt w dwuwymiarowej przestrzeni, konieczne są trzy odbiorniki. Po odebraniu sygnału przez odbiorniki zapisywany jest czas jego odbioru. Z punktu widzenia algorytmu obliczeniowego nadajnik znajduje się na przecięciu trzech hiperbol, jak pokazano na rysunku 2. Więcej szczegółów w [10, 12].

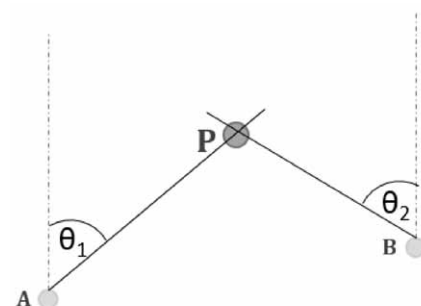


Rys. 2. Lokalizacja w metodzie multilateracji

Jeszcze inna metoda lokalizacji wykorzystuje informację o kącie nadejścia sygnału względem przyjętego wcześniej kierunku odniesienia – nazywana jest triangulacją. Do zlokalizowania obiektu na płaszczyźnie wystarczają dwa punkty referencyjne w postaci anten kierunkowych, jak pokazano na rysunku 3. Lokalizowany obiekt znajduje się na przecięciu linii wskazujących kąty. Szczegóły dotyczące funkcjonowania tej metody można znaleźć w [10, 12].



Rys. 1. Lokalizacja w metodzie trilateracji



Rys. 3. Lokalizacja w metodzie triangulacji

Jedną z podstawowych wad wspomnianych metod jest trudność ze znalezieniem ścieżki LOS między nadajnikiem a kolejnymi odbiornikami. W takich warunkach transmisja radiowa napotyka problemy związane z powieleniem sygnału odbitego od różnych powierzchni: ścian, podłogi itp. Podejściem technicznym, który ma na celu likwidację wspomnianych problemów, jest pomiar mocy odebranego sygnału RSSI (ang. *Received Signal Strength Indicator*). Aby skutecznie zlokalizować nadajnik, potrzebne są co najmniej trzy punkty pomiaru, a każdy dodatkowy punkt zmniejsza błąd położenia. Aby polepszyć wyniki otrzymywane tą metodą, konstruowane są tzw. mapy pomieszczeń, w których uwzględnia się rozkład poziomu sygnału sieci radiowej [13].

W ostatnich kilku latach na popularności zyskują metody oparte o tzw. bliskość (ang. *Proximity*), w tym technologie lokalizacyjne bazujące na tzw. tagach RFID (ang. *Radio Frequency Identification*) oraz nadajniki/odbiorniki podczterwieni. Wykorzystuje się tu względną informację o położeniu. Nie ma pomiaru odległości. Zwykle wykorzystuje się sieć anten, których pozycja jest dokładnie sprecyzowana i ustalona. Dzięki temu obiekt lokalizowany, po wykryciu przez jedną z anten, zostaje przypisany do konkretnego, wcześniej zdefiniowanego obszaru. W sytuacji, kiedy więcej anten wykrywa obecność obiektu, wybiera się tę, która odbiera silniejszy sygnał [8, 10].

B. Technologie wykorzystywane w mikrolokalizacji

Wiele nowoczesnych technologii komunikacji danych oraz tych stosowanych w systemach np. kontroli dostępu czy identyfikacji osób jest wykorzystywanych w aplikacjach mikrolokalizacyjnych. W przypadku wspomnianej już wcześniej technologii RFID, sygnał radiowy służy do przesyłu danych oraz zasilania układu nadawczo-odbiorczego (tzw. transceivera) celem jego identyfikacji przez czytnik. Układy wspomnianych transceiverów nazywane są tagami. Występują w dwóch odmianach: aktywnej oraz pasywnej. Co istotne, dla zaistnienia transmisji danych, tag nie musi być widoczny dla czytnika. Stanowi to

dodatkowe wyzwanie przy projektowaniu bezpieczeństwa systemów operujących na RFID [12]. Kolejną z technologii – NFC (ang. *Near Field Communication*), implementowana coraz powszechniej np. w smartfonach, bazuje na idei RFID. Trzeba jednak podkreślić, iż RFID obsługuje komunikację jednokierunkową, NFC natomiast może działać dwustronnie. Wspólny dla obu technologii jest zakres wysokich częstotliwości 13,56 MHz. Sposób działania również jest analogiczny: jedno z urządzeń, korzystając z zasad indukcji magnetycznej, wywołuje falę radiową wzbudzającą urządzenie docelowe [13]. NFC ma ograniczony zasięg do 10 cm oraz brak możliwości zbierania danych z kilku tagów. Podstawową jej zaletą to możliwość obsłużenia procedury wymiany danych przez dotknięcie taga pasywnego urządzeniem aktywnym. Brak konieczności sparowania sprawia, że całość trwa krócej niż sekundę.

Jedną z najpopularniejszych technologii radiowych we współczesnych budynkach jest WLAN (IEEE 802.11), wykorzystywana w organizacji bezprzewodowych sieci Wi-Fi. Z natury zatem posiada statystyczną przewagę nad konkurencyjnymi technologiami umożliwiającymi implementację usług mikrolokalizacji. Współcześnie znamięta większość wszystkich szerokopasmowych połączeń do Internetu realizowana jest poprzez bezprzewodowe routery Wi-Fi. Rynek urządzeń bezprzewodowych WLAN jest rozwinięty przez ich obecność w sieciach domowych oraz publicznych (hotspotach). Zasięg typowej sieci Wi-Fi to około 50–100 m z przepustowością 11, 54 lub 108 Mbps. Komunikacja radiowa Wi-Fi operuje na częstotliwości 2,4 GHz. Dokładność większości systemów mikrolokalizacji działających w oparciu o ten standard i wykorzystujących metodę RSSI oscyłu-

je między 3 a 30 m z czasem odświeżania danych około kilku sekund [10].

C. Bluetooth nowej generacji – moduły beacon

Ciekawym rozwiązaniem w zakresie radiowej komunikacji danych jest powszechna w urządzeniach mobilnych technologia Bluetooth, w szczególności jej najnowsza odmiana Bluetooth Low Energy (BLE) – Bluetooth w wersji 4.0 [9]. Podstawową różnicą w nowej specyfikacji technologii jest zarządzanie energią w trakcie komunikacji modułów Bluetooth. Nowa technologia Bluetooth eliminuje bowiem problem ciągłej aktywności urządzeń sparowanych do komunikacji, które szybko zużywały dostępną w modułach bezprzewodowych energię z baterii. W nowym standardzie urządzenia utrzymywane są w stanie uśpienia i wybudzane tylko w momencie, w którym powinny zinterpretować

otrzymane dane lub wysłać kolejne [14]. Dzięki takim właściwościom technologią tą zainteresowała się firma Apple, światowy potentat na rynku technologii mobilnych. Na bazie BLE zaprojektowano protokół iBeacon dla małych urządzeń zwanych beaconami. Każdy moduł beacon cyklicznie wysyła małe pakiety danych, możliwe do rozpoznania przez wszystkie obiekty, które wcześniej zezwoliły na działanie odpowiedniej usługi – np. w platformie Android włączenie komunikacji Bluetooth. Dzięki niskiemu zużyciu energii, moduły beacon mogą osiągać bardzo długie czasy działania na jednej baterii. W zależności od konstrukcji, zaprojektowanego układu oraz zaprogramowania, może to być od kilku miesięcy do kilku lat [5]. Głównym przeznaczeniem technologii mikrolokalizacji z modułami typu beacon są aplikacje rozszerzające możliwości marketingowe i informacyjne. Dlatego jak dotąd na implementację modułów beacon decydują się przede wszystkim firmy sprzedające towary detaliczne, w większości odzieżowe, by dowiedzieć się więcej o działaniach swoich klientów np. w sklepach, galeriach handlowych itp. Technologia ta znajduje też zastosowanie w innych obszarach, jak np. mobilna aplikacja Huevolution [15] służąca do integracji rozwiązań kilku producentów w jeden domowy system automatyki oświetlenia. W jednym środowisku pracować mogą żarówki Philips Hue (ZigBee), LIFX (Wi-Fi) i Estimote (iBeacon, BLE). Poza typowo konsumenckimi wdrożeniami można spotkać zastosowania przemysłowe, gdzie za przykład może posłużyć rozwiązanie firmy Astor. Dzięki modułom beacon zainstalowanym w konkretnych punktach hali produkcyjnej, istnieje możliwość obserwacji wskaźników efektywności w czasie rzeczywistym na urządzeniach mobilnych [16].

Interaktywna aplikacja z elementami mikrolokalizacji – wystawa AIR w Krakowie

W ramach badań nad technologią mikrolokalizacji oraz jej rolą we współczesnych systemach BMS, opracowano oraz zaimplementowano system aktywnego wsparcia osób odwiedzających ASTOR Innovation Room (AIR) – interaktywną

wystawę robotów oraz przemysłowych technologii informatycznych, znajdującą się w siedzibie firmy Astor w Krakowie [17]. Głównym wyróżnikiem wystawy są roboty przemysłowe. Trzy z nich, wyprodukowane przez firmę Kawasaki, pozostają w ścisłej interakcji z osobami zwiedzającymi AIR. Każda osoba przechodząca obok wystawy lub też znajdująca się w pomieszczeniu AIR, może wysłać wiadomość SMS, która po zinterpretowaniu przez system automatyki włącza odpowiedniego robota, z określonym programem działania pokazowego. Przy realizacji proponowanego nowego systemu interakcji przyjęto trzy podstawowe cele: (i) zwiększenie efektywności zarządzania procesem aktywnego zwiedzania AIR, (ii) uatrakcyjnienie obiektu przez wprowadzenie elementów interakcji urządzeń z osobami zwiedzającymi wystawę oraz (iii) aktywne skojarzenie rozwiązań przemysłowych i elementów automatyki budynkowej z nowoczesnymi technologiami mobilnymi. Wymienione cele zdeterminowały trzy obszary implementacyjne zaproponowanej interaktywnej aplikacji z elementami mikrolokalizacji:

- opracowanie aplikacji mobilnej, wykorzystującej mikrolokalizację do kontekstowego dostarczania informacji o poszczególnych punktach wystawy;
- integracja z firmowym systemem CRM (ang. *Customer Relationship Management*) istniejącym już w obiekcie, w celu organizacji informacji dostarczanych zwiedzającym;
- zwiększenie interaktywności poprzez integrację z systemem BMS istniejącym już w obiekcie, w ramach wybranych funkcjonalności.

A. Aplikacja mobilna – aktywne informacje kontekstowe

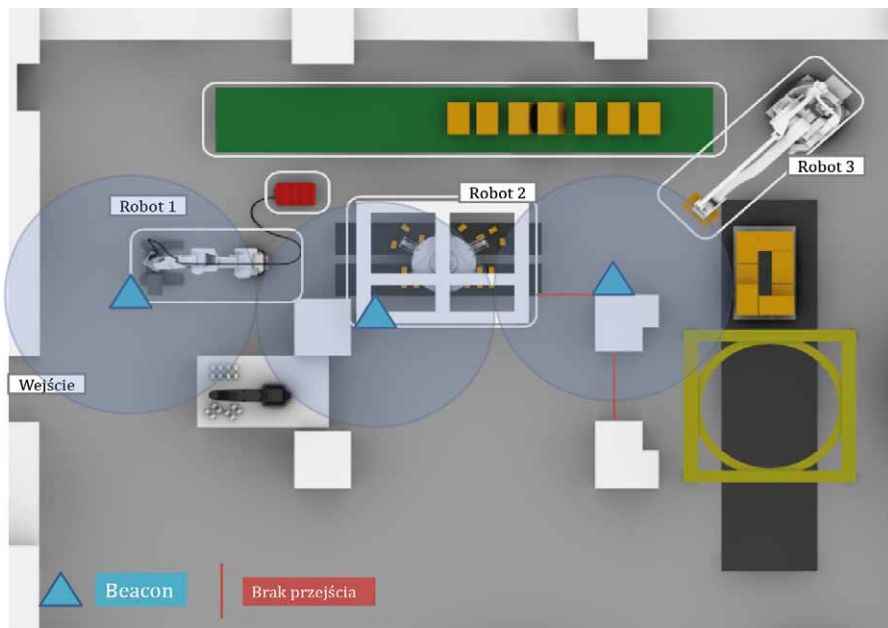
Sercem nowego, interaktywnego systemu jest aplikacja mobilna, opracowana na urządzenia mobilne z platformą systemową Android. Dodatkowym atutem okazał się fakt, że w obiekcie docelowym istniały już pewne aplikacje oparte o to środowisko. Daje to potencjalne możliwości połączenia funkcjonalności i wzajemnego wykorzystywania kompatybilnych urządzeń. Aplikację zbudowano w języku Java, korzystając ze środowi-

ska Android Studio, które jest wspierane i dostarczane przez firmę Google. Umożliwiło to łatwy dostęp do aktualnego zestawu narzędzi deweloperskich, tzw. Android SDK.

Najważniejszą informacją pobieraną przez urządzenie mobilne i zaimplementowaną na nim aplikację są dane o lokalizacji użytkownika w przestrzeni wystawowej AIR. Zdecydowano się wykorzystać technologię iBeacon ze względu na satysfakcjonujące parametry techniczne, prostotę implementacji i niskie koszty wdrożenia. Jako moduły mikrolokalizacyjne wybrano urządzenia firmy Estimote, do których dołączana jest bogata w przykłady dokumentacja [18]. Dodatkowym atutem jest publicznie dostępne SDK (ang. *software development kit*) dedykowane dla urządzeń z systemem typu Android od wersji 4.3. Jedynym wymaganiami sprzętowymi jest posiadanie smartfonu/tabletu z BLE.

Z punktu widzenia aplikacji beacony są nadajnikami komunikatów typu broadcast. Nadają jedynie informację o swojej „tożsamości”, czyli numer ID. Dołączone przez producenta SDK odpowiada za interpretację siły sygnału (RSSI) i przetworzenie jej do postaci danej użytkownikowej. Udostępniane są także gotowe klasy i funkcje, pozwalające np. na rozpoczęcie skanowania dostępnych beaconów lub pobranie ich listy, posortowanej wg RSSI. W implementacji systemu w pomieszczeniu AIR zastosowano trzy moduły Estimote, umieszczone w pobliżu wybranych robotów, jak pokazano na rysunku 4. Pozwala to na skuteczne lokalizowanie zwiedzających podczas przejść między elementami wystawy.

Po kontekstowym rozróżnieniu robota następuje uruchomienie odpowiadającej mu aktywności i wyświetlenie kontekstowej informacji w opracowanej aplikacji mobilnej. Informacje dostępne są z poziomu zasobów danych współdzielonych między pracownikami firmy Astor, umieszczonych na platformie informacyjnej Profesal. Łączy ona funkcjonalności systemu CRM, rozbudowanego zarządzania projektami, a także utrzymywania zasobów firmy. Z punktu widzenia opracowanego systemu ważny jest fakt, że każdy pracownik odpowiedzialny za obsługę wystawy ma dostęp do danych



Rys. 4. Lokalizacja modułów beacon Estimote w pomieszczeniu wystawowym AIR

oraz posiada uprawnienia, by podglądać i modyfikować zawarte tam informacje. Każdy z robotów wystawy AIR ma własny profil zasobu, gdzie gromadzone są związane z nim notatki, akcje serwisowe, projekty oraz opisy. Wybrane w programie aplikacyjnym informacje zaciągane są do aplikacji mobilnej z dynamicznej strony www, osadzonej na serwerze firmy Astor, i prezentowane zidentyfikowanemu zwiedzającemu, w zależności od jego lokalizacji przy aktualnie oglądanym robocie. Przykładowe skany informacji pokazano na rysunku 5.

Jeżeli zwiedzający zmieni położenie i najbliższym robotem jest inny niż ten pokazywany aktualnie na ekranie, wyświetlany jest odpowiedni przycisk i zachęta do zapoznania się z informacjami na temat kolejnego robota. Ponieważ od strony użytkownika wymagane jest podłączenie do Internetu, w pomieszczeniu udostępniono sieć Wi-Fi.

B. Integracja elementów automatyki budynkowej

Oprócz aktywnej informacji kontekstowej, ułatwiającej prowadzenie osób zwiedzających pomieszczenia AIR i zarządzanie robotami pokazowymi, ważnym elementem zaproponowanej aplikacji programowo-sprzętowej jest również

integracja z istniejącymi w budynku systemami automatyki budynkowej i interaktywne wykorzystanie ich wybranych funkcjonalności. Dlatego też w ramach nowego systemu opracowano integrację wspomnianej już aplikacji z komponentami systemu BMS marki Comodis, istniejącego w budynku firmy Astor. Aby pokazać i zweryfikować możliwości integracji funkcjonalnej, zdecydowano się zwiualizować „wirtualne połączenie zwiedzającego z robotem”, którego opis jest aktualnie wyświetlany na ekranie urządzenia mobilnego. W tym celu użyto trzech źródeł światła, każde umieszczone obok każdego z robotów. W momencie, w którym zwiedzający wybiera w aplikacji ekran opisujący dane stanowisko z robotem, załączane jest przy nim źródło światła i pozostaje włączone przez cały okres, gdy wyświetlana jest dana informacja kontekstowa. Gaśnie dopiero przy przejściu do kolejnego ekranu, dla którego schemat się powtarza.

Aby zaimplementować opisaną funkcjonalność, konieczna była rozbudowa warstwy sprzętowej i programowej systemu. Do trzech modułów bezprzewodowych wyjść cyfrowych AS70DOC001 systemu Comodis, takich jak widoczny na rysunku 6, podłączono obwody wspominanych trzech źródeł światła.

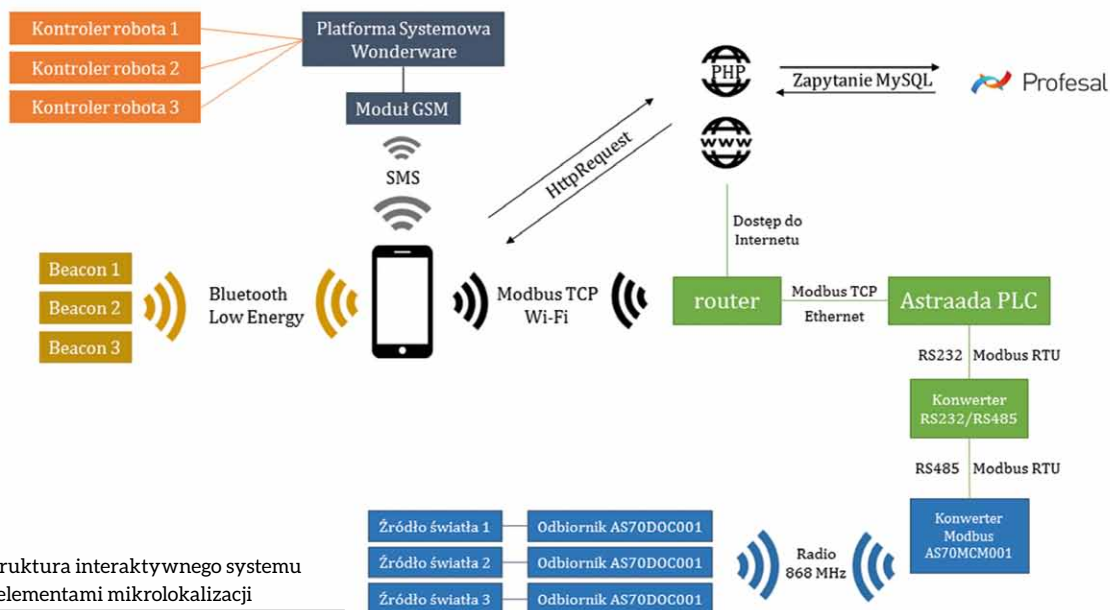


Rys. 5. Ekran przykładowych informacji kontekstowych



Rys. 6. Moduł bezprzewodowy wyjścia cyfrowego AS70DOC001 systemu Comodis

Za komunikację z tymi modułami odpowiada z kolei moduł Modbus AS70MCM001, który konwertuje ramki protokołu Modbus RTU na wewnętrzny protokół radiowy urządzeń Comodis, działający w paśmie częstotliwości 868 MHz. Prostą logikę odpowiadającą za sterowanie światłem zaimplementowano w kompaktowym sterowniku PLC Astraada RCC. Jej główną częścią jest „nasłuch” komunikatów od aplikacji mobilnej, ich przetwarzanie oraz wysłanie ramek wykonawczych do konwertera protokołu Modbus. Ze względu na to, że w danym momencie wystawa może być zwiedzana przez większą liczbę osób z aktywnymi aplikacjami kontekstowymi na swoich urządzeniach mobilnych, w sterowniku zaimplementowano również trzy rejestry sumujące liczbę osób, które w danym momencie przeglądają opis tego samego robota. W ten sposób światło przy danym stanowisku pokazowym jest zapalane i gaszone tylko



Rys. 7. Infrastruktura interaktywnego systemu sterowania z elementami mikrolokalizacji

wtedy, gdy do strefy modułu beacon wchodzi pierwsza osoba i kiedy opuszcza ją ostatnia. Aby telefon komórkowy mógł za pośrednictwem aplikacji wysłać komunikat do sterownika PLC, oba urządzenia muszą znajdować się w tej samej sieci wymiany danych. Udało się to osiągnąć przez podłączenie sterownika PLC Astraada do tego samego routera, przez który urządzenia mobilne pobierają kontekstowe informacje z serwera w sieci Internet.

Kształt zaproponowanej i zaimplementowanej w pomieszczeniu wystawy AIR infrastruktury systemowej przedstawiono na rysunku 7.

Po zainstalowaniu i uruchomieniu systemu przeprowadzono testy weryfikujące poprawność jego działania, ukierunkowane na sprawdzenie szybkości realizacji zadań, jak i dokładność lokalizacji urządzeń mobilnych z aplikacją kontekstową. W pierwszym z tych aspektów istotnym elementem okazał się czas konieczny na odnalezienie przez aplikację mobilną sygnału z pierwszego modułu beacon. Zwykle trwa to kilka sekund, jednak z punktu widzenia użytkownika niekiedy jest irytujące – musi czekać na ekran powitalny aplikacji. Czas trwania pobierania samego opisu robota jest już zależny tylko od prędkości łącza internetowego, stąd przy różnym obciążeniu sieci pojawiały się niekiedy niewielkie opóźnienia. Nie miało to jednak znacze-

nia dla samego procesu czytania opisów. Równie niewielki wpływ mają opóźnienia przy włączaniu lub wyłączaniu źródeł światła przy stanowiskach robotów. Wynikają one głównie z dużego narzutu danych w ramach komunikatów protokołu TCP, które są konstruowane w urządzeniu mobilnym. Jeżeli chodzi o kwestie dokładności lokalizacji, w testach zauważono wyraźną dysproporcję między wskazaniem dotyczącym kolejnych robotów. Najlepszy wynik zanotowany dla robota nr 1 (patrz: rys. 4) wynika z jego lokalizacji w pomieszczeniu wystawowym. Aby do niego podejść, należy pokonać najmniejszy dystans, a stojąc w jego pobliżu, odbiornik jest najmniej podatny na wpływy innych nadajników Bluetooth 4.0 – beaconów.

Podsumowanie

Przeprowadzone prace implementacyjne i badawcze wskazują na wysoki potencjał aplikacyjny technologii mikrolokalizacyjnych w systemach sterowania urządzeniami przemysłowymi oraz infrastruktury budynkowej. Elastyczność, uniwersalność i otwartość technologii i standardów komunikacji wykorzystywanych w tego typu platformach systemowych, pozwala na organizację zaawansowanych funkcjonalnie systemów sterowania i zarządzania zarówno samymi elementami infrastruktury budynkowej, jak i użytkownikami budynków

oraz znajdujących się w nich urządzeń. Mikrolokalizacja może być ważnym elementem implementacji aktywnych systemów sterowania i monitoringu w budynkach, w szczególności w perspektywie wdrożenia idei Internetu Rzeczy i w pełni zintegrowanych systemów wymiany danych, zarówno na poziomie obiektowym, jak i sterowania oraz zarządzania budynkami, zespołami budynków.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania firmie Astor z Krakowa i jej przedstawicielom za pomoc przy opracowaniu i implementacji systemu oraz udostępnienie pomieszczeń interaktywnej wystawy robotyki i technologii IT Astor Innovation Room w Krakowie, przy ul. Smoleńsk 29.

Literatura

- [1] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *PORTFOLIO: Opracowanie analizy możliwości technicznych i funkcjonalnych integracji technologii Internetu Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. Kraków 2014.
- [2] OŻADOWICZ A.: *Internet Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [3] MAN Y., NGAI E.C.-H.: *Energy-efficient automatic location-triggered applications on smartphones*. *Comput. Commun.*, vol. 50, Sep. 2014, pp. 29–40.

- [4] ZOU H., JIANG H., LUO Y., ZHU J., LU X., XIE L.: *BlueDetect: An iBeacon-Enabled Scheme for Accurate and Energy-Efficient Indoor-Outdoor Detection and Seamless Location-Based Service*. *Sensors*, vol. 16, no. 2, Feb. 2016, p. 268.
- [5] SHEINKER A., GINZBURG B., SALOMONSKI N., FRUMKIS L., KAPLAN B., MOLDWIN M.B.: *A method for indoor navigation based on magnetic beacons using smartphones and tablets*. *Measurement*, vol. 81, Mar. 2016, pp. 197–209.
- [6] ALEXANDROW C.: *The Story of GPS*. DARPA, 2008.
- [7] SULLIVAN M.: *A Brief Story of GPS*. PCWorld, 2012. [Online]. Available: <http://www.pcworld.com/article/2000276/a-brief-history-of-gps.html>.
- [8] DEAK G., CURRAN K., CONDELL J.: *A survey of active and passive indoor localisation systems*. *Comput. Commun.*, vol. 35, no. 16, Sep. 2012, pp. 1939–1954.
- [9] BOBEK S., GRODZKI O., NALEPA G.J.: *Indoor Microlocation with BLE Beacons and Incremental Rule Learning*. *Cybernetics (CYB-CONF)*, IEEE 2nd International Conference, 2015, pp. 91–96.
- [10] LIU H., DARABI H., BANERJEE P., LIU J.: *Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems*. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C (Applications Rev.)*, vol. 37, no. 6, Nov. 2007, pp. 1067–1080.
- [11] ZEILER W., LABEODAN T., BOXEM G., MAAIJEN R.: *Detecting and tracing building occupants to optimize process control*. 14th International Conference for Enhanced Building Operations, 2014.
- [12] ZAFARI F., PAPAPANAGIOTOU I., CHRISTIDIS K.: *Microlocation for Internet-of-Things-Equipped Smart Buildings*. *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 1, Feb. 2016, pp. 96–112.
- [13] MARTINEZ-SALA A., LOSILLA F., SÁNCHEZ-AARNOUTSE J., GARCÍA-HARO J.: *Design, Implementation and Evaluation of an Indoor Navigation System for Visually Impaired People*. *Sensors*, vol. 15, no. 12, Dec. 2015, pp. 32168–32187.
- [14] ZAFARI F., PAPAPANAGIOTOU I., CHRISTIDIS K.: *Micro-location for Internet of Things equipped Smart Buildings*. *IEEE Internet Things J.*, vol. 4662, no. c, 2015.
- [15] PUCHTA O.: *Home automation with Huevolution app*. Estimote.com, 2014. [Online]. Available: <https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/204074086-Home-automation-with-Huevolution-app>.
- [16] Astor: *ASTOR Watch – szybka informacja z produkcji... na Twoim nadgarstku!* 2015. [Online]. Available: <http://www.astor.com.pl/o-nas/centrum-prasowe/aktualnosci/9823-astor-watch-szybka-informacja-z-produkcji-na-twoim-nadgarstku.html>.
- [17] Astor: *Astor Innovation Room*. Astor.com.pl, 2014. [Online]. Available: <http://www.astor.com.pl/air/>.
- [18] Estimote.com, *Estimote*. Estimote.com, 2015. [Online]. Available: <http://estimote.com/>.