

# Boje lokalizacyjne – nowy sposób określania położenia wewnątrz budynków

Jarogniew Rykowski, Mateusz Nomańczuk

## 1. Wprowadzenie

Praktycznie każdy z nas lubi wiedzieć, gdzie akurat się znajduje, lub też gdzie są inne interesujące nas osoby lub przedmioty, na przykład nasze dzieci lub samochód. W niektórych przypadkach uzyskanie takich informacji jest banalne, ale niekiedy mamy z tym duże problemy, na przykład próbując odszukać konkretny dom lub sklep w nieznanym nam terenie, albo biuro i konkretnego urzędnika w dużym urzędzie. Z tego względu powszechnie zaakceptowaliśmy w naszym otoczeniu urządzenia i technologie, które potrafią lokalizować – nas w nieznanym otoczeniu, innych ludzi, których aktualne miejsce przebywania chcemy znać, zwierzęta oraz przedmioty mobilne (jak wspomniany wcześniej samochód czy też rower). Najlepiej, gdy technologie te są wbudowane w urządzenia, które mamy cały czas „pod ręką”, przede wszystkim nasz telefon komórkowy, lub gdy są częścią wyposażenia „inteligentnego” miejsca – domu, stanowiska pracy, pojazdu itp.

Do tej pory najbardziej zwracaliśmy uwagę na problem zagubienia w przestrzeni otwartej. Z tym problemem poradziliśmy sobie, wykorzystując satelitarne systemy nawigacyjne (GPS, Galileo, Glonass) oraz popularne „nawigacje” instalowane w pojazdach czy też ostatnio – jako aplikacje w naszych smartfonach. „Nawigacja” pozwala nam na lepszą orientację w nieznanym nam przestrzeni, mocno ograniczając uczucie zagubienia się oraz pomagając nam w wielu różnych, z góry niemożliwych do przewidzenia sytuacjach.

Udogodnienia, z których korzystamy w przestrzeni otwartej, być może byłyby przydatne także w przestrzeni zamkniętej – wewnątrz budynków, sklepów, magazynów, tuneli itp. Szczególnego znaczenia nabiera to w przypadku przestrzeni publicznej, na przykład dużych centrów handlowych, peronów i dworców kolejowych, hoteli i centrów konferencyjnych itp. Dodatkowo problem lokalizacji w przestrzeni zamkniętej można niejako odwrócić – dla ludzi jest ważna orientacja, gdzie się znajdujemy w kontekście konkretnego budynku, ale dla tego budynku podobna informacja w odniesieniu do przebywających w nim osób też może mieć znaczenie. Informacje o miejscu pobytu ludzi można wykorzystać na przykład do efektywnego gospodarowania energią (włączamy oświetlenie i ogrzewanie tylko w tych pomieszczeniach, w których aktualnie ktoś przebywa) czy też zapewnienia wygody (dopasowujemy poziom oświetlenia do indywidualnych wymagań). Możemy też monitorować pozycję zwierząt (domowych lub hodowlanych), a nawet przedmiotów (wyniesienie drogiego obrazu z pomieszczenia muzeum może powodować alarm).

Jak widzimy, potrzeby lokalizacyjne wewnątrz budynków są takie same, jak w przestrzeni otwartej. Pojawia się pytanie, czy

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł został poświęcony opisowi nowej, szybko zdobywającej popularność technologii – bojom lokalizacyjnym. Punktem wyjścia są ograniczenia dzisiejszych systemów lokalizacyjnych wykorzystywanych wewnątrz budynków, związane z fizyką, techniką oraz ekonomią. Rozwiązaniem tych problemów są właśnie boje – niewielkie, autonomiczne urządzenia rozbijające swoją obecność drogą radiową i pozwalające na tej podstawie wnioskować o lokalizacji urządzenia odbierającego ich sygnał. W artykule pokazano podstawy techniczne oraz przedyskutowano możliwe architektury systemu lokalizacji opartego na bojach, zarówno stacjonarnych, jak i mobilnych. Przedyskutowano także możliwe obszary zastosowań oraz problemy natury psychologiczno-społecznej, które może powodować masowe wprowadzenie tej technologii do naszego codziennego życia.

istnieje technologia, która umożliwi taką lokalizację przy zapewnieniu odpowiedniego poziomu kosztów i wygody w jej stosowaniu. W niniejszym artykule postaramy się na to pytanie odpowiedzieć.

## 2. Ograniczenia dzisiejszych systemów lokalizacyjnych

Większości osób geolokalizacja kojarzy się z popularnym systemem GPS (ang. *Global Positioning System*) [GPS], a także z nawigacją samochodową i określaniem położenia w przestrzeni otwartej. O ile zewnętrzne systemy geolokalizacyjne są powszechnie akceptowane i stosowane, o tyle wejście z lokalizacją do budynków i innych przestrzeni zamkniętych (tuneli, peronów kolei i metra, zadaszonych przystanków itp.) napotyka sporo trudności. Można się zastanowić, czym to jest spowodowane i czy napotkane ograniczenia da się w jakiś sposób obejść. Niniejszy rozdział jest właśnie poświęcony takiej dyskusji, w podziale na trzy główne nurty: ograniczenia fizyczne, ekonomiczne, oraz psychologiczno-społeczne.

Do głównych ograniczeń fizycznych związanych z geolokalizacją w przestrzeniach zamkniętych należą ekranowanie, dokładność i powtarzalność. Ekranowanie jest konsekwencją sposobu propagacji sygnału radiowego, który jest podstawą działania praktycznie wszystkich zewnętrznych systemów lokalizacyjnych. Sygnał taki, generowany przez satelity, ma zbyt niską energię, żeby przeniknąć nawet przez stosunkowo cienkie przegrody budowlane typu ściany i sufity. W zasadzie bez

większych problemów przenika on tylko przez szkło i drewno, czyli otwory okienne i drzwiowe. Niestety, rozmiar okna czy też drzwi jest często zbyt mały, żeby odbiornik „zobaczył” minimum cztery<sup>1</sup> satelity niezbędne do wyliczenia położenia. Przez okno widzimy tylko wąski fragment nieba, co pozwala na odbiór sygnału z jednego, dwóch satelitów. Im dalej znajdujemy się od okna, tym gorzej; już odległość rzędu dwóch metrów praktycznie uniemożliwia odbiór więcej niż jednego sygnału. Problemu nie można rozwiązać przez umieszczenie w pomieszczeniach tzw. powtarzaczy (ang. *repeater*) sygnału, jak to powszechnie się stosuje np. dla potrzeb telefonii komórkowej, z kilku powodów. Po pierwsze, urządzenia takie wprowadzają opóźnienia, które bardzo utrudniają wyliczenie poprawnej odległości od satelity z wymaganą dokładnością. Po drugie, powtarzacz *de facto* mierzy sumę odległości: od satelity do swojej anteny zewnętrznej oraz od urządzenia do miejsca pomiaru, zatem trzeba by jeszcze dodawać poprawkę na dystans między powtarzaczem a miejscem pomiaru oraz kąt „załamania” fali (nie można założyć, że satelita, antena zewnętrzna i miejsce pomiaru znajdują się w linii prostej), co przy nieznajomości tego miejsca nie jest możliwe. Zatem wykorzystanie satelitarnej lokalizacji zewnętrznej w pomieszczeniach zamkniętych ze względu na ekranowanie sygnału jest praktycznie niemożliwe, mimo istnienia kilku komercyjnych rozwiązań, które jednak głównie ograniczają się do dużych budowli o otwartej przestrzeni, typu tunele lub hale sportowe, magazynowe czy też sklepowe.

Istniejące systemy lokalizacyjne mają też spore problemy związane z dokładnością i powtarzalnością pomiaru. Jest to spowodowane przez zmianę prędkości rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w różnych ośrodkach materialnych. Wystarczy, że na drodze sygnału będą chmury lub warstwa zjonizowanego powietrza, żeby opóźnić sygnał i tym samym zafałszować wynik pomiaru. Większość producentów odbiorników GPS podaje w parametrach urządzenia, że wyznacza ono lokalizację np. z dokładnością do jednego metra dla 95% poziomu ufności. Oznacza to, że statystycznie około pięciu pomiarów na sto będzie dokonanych z większym błędem, sięgającym nawet kilkadziesiąt metrów. Sytuacji nie rozwiązuje dokonanie szeregu pomiarów i uśrednienie wyniku, gdyż „fałszywe” wyniki mają tendencję do grupowania w czasie, co odzwierciedla wolnozmiennie warunki pogodowe. Uśrednienie takie jest sensowne w skali kilku, może nawet lepiej kilkunastu dni, ale całkowicie uniemożliwia pewny pomiar dokonywany w czasie pojedynczych sekund. Czyli mamy następne ograniczenie czysto fizyczne, którego nie można obejść<sup>2</sup>.

Drugą grupę ograniczeń wyznacza ekonomia. Odbiornik sygnału należy nosić cały czas przy sobie, musi on być też cały czas włączony i nieustannie wykonywać pomiary, nawet jeśli w większości przypadków interesuje nas tylko np. moment wejścia do pomieszczenia i wyjścia z niego, a nie dokładna lokalizacja w każdej sekundzie. Takie wymaganie zwiększa koszty nie tylko zakupu samego urządzenia (te są niewielkie, gdyż duża część z nas posiada telefony wyposażone w moduł GPS), ale przede wszystkim energii przez nie konsumowanej (smartfon z aktywnym modułem GPS trzeba ładować praktycznie codziennie, a niektóre modele nawet co kilka godzin). Docho-

dzimy tu do następnego ograniczenia – wygody korzystania

z systemu, która w przypadku konieczności częstego ładowania urządzenia odbiorczego jest mocno ograniczona.

Ostatnie ograniczenie, które warto rozważyć, to sposób obrazowania lokalizacji dla człowieka. Podstawą działania systemu GPS jest podawanie współrzędnych geograficznych w formie pary wysokość-szerokość (ang. *longitude, latitude*). Takie wartości są praktyczne nieczytelne dla przeciętnego użytkownika, dlatego w celu ich zobrazowania należy je rzucić na mapę lub plan i w takiej formie wyświetlić. Jednakże powoduje to konieczność w miarę sprawnego posługiwania się mapą. Nie wszyscy mają na tyle dużą orientację przestrzenną, żeby obraz lokalizacji na mapie przełożyć na warunki rzeczywiste. O ile w przestrzeni zewnętrznej nam to nie przeszkadza (gdy posługujemy się nazwami ulic i numeracją budynków), o tyle w przestrzeni zamkniętej wymaga dobrej znajomości planu pomieszczeń w budynku oraz umiejętności przełożenia widoku planu na obserwowane miejsce. Niestety, dla większości ludzi nie jest to tak proste jak odczytanie tabliczki z nazwą ulicy lub numerem domu – na korytarzach budynku takich tabliczek może brakować, a wizytówki na drzwiach mogą pełnić inną funkcję i zawierać inną informację niż numery pomieszczeń zobrazowane na planie. Z punktu widzenia człowieka znacznie przydatniejsze byłyby wskazówki typu „następne drzwi na prawo” lub „biuro rewidenta Kowalskiego” niż obrazowanie aktualnej pozycji na mapie. Należy przemyśleć, czy mapa pomieszczeń jest w ogóle potrzebna, czy nie lepiej kierować osobę zainteresowaną do wskazanego miejsca za pomocą prostych poleceń typu „wejdź schodami na pierwsze piętro i potem przez ostatnie drzwi po prawej stronie”, wydawanych głosowo lub przez proste komunikaty ekranowe. Oczywiście, system w takiej sytuacji musiałby znać pozycję osoby zainteresowanej, żeby w czasie rzeczywistym wyliczyć wskazówki i relatywną drogę od aktualnego miejsca jej pobytu do miejsca docelowego. Takiej możliwości nie mają niestety dzisiejsze systemy geolokalizacyjne, które z definicji są tylko urządzeniami odbiorczymi. Zatem należy zaproponować nowe, wygodniejsze dla człowieka rozwiązania, także takie wykorzystujące transmisję dwukierunkową oraz (niekoniecznie świadomą) interakcję.

### 3. Systemy oferujące lokalizację jako usługę dodatkową

Jak wspomniano, większość systemów geolokalizacyjnych jako podstawę działania przyjmuje wyliczenie czasu propagacji sygnału radiowego od znanego źródła (satelity) do odbiornika. Skoro satelity wewnątrz budynku stają się „niewidoczne” ze względu na wspomniane wcześniej ekranowanie sygnału, może warto się zastanowić nad wykorzystaniem innych źródeł promieniowania elektromagnetycznego, pracujących wewnątrz budynku. Odbiornikowi będzie wszystko jedno, jakie jest źródło odbieranego sygnału, jeśli tylko będzie miał możliwość określenia lokalizacji tego źródła. Zatem jako nadajniki lokalizacyjne można wykorzystać dowolne emitery, na przykład punkty dostępowe sieci WiFi. W celu określenia położenia wystarczy zmierzyć siłę sygnału radiowego odbieranego z jednego lub kilku punktów, a następnie, znając mapę propagacji fal w pomieszczeniach i tłumienie sygnału w powietrzu, określić przybliżoną odległość od nadajnika. Ponieważ sygnały WiFi są

najczęściej dość słabe i nie wychodzą poza pomieszczenie lub grupę pomieszczeń (np. biura przy wspólnym korytarzu), można określić położenie co najmniej z dokładnością do pomieszczenia i piętra, co dla większości zastosowań jest w zupełności wystarczające [Aer scout]. Niestety, takie nietypowe zastosowanie nadajników WiFi ma kilka poważnych wad. Po pierwsze, przed użyciem systemu należy wykonać bardzo dokładną mapę „pokrycia radiowego” całego budynku, a także mapę taką uaktualniać po każdej większej zmianie (choćby po przesunięciu mebli). Po drugie, jeśli na drodze sygnału radiowego znajdują się przypadkowo ludzie lub mobilne przedmioty (np. przejeżdżający samochód), to warunki propagacji fal ulegają zmianie. Im więcej takich mobilnych przeszkód w pomieszczeniach, tym ciężiej określić dokładny wynik i tym dłuższych pomiarów to wymaga. Po trzecie, większa rozdzielczość określania pozycji wymaga dużej liczby punktów dostępowych, co nie jest ekonomicznie uzasadnione, co więcej, zbytne zagęszczenie transmisji może skutkować zmniejszeniem pasma oraz dużymi zakłóceniami, czyli obniżać poziom samej usługi transmisji danych. Po czwarte, uzyskanie informacji na temat lokalizacji z punktów dostępowych nie jest natychmiastowe – zwykle trwa to kilka sekund, co jest nie do przyjęcia w typowych zastosowaniach. Zatem takie podejście nie jest możliwe do bezpośredniego wykorzystania w miejscach publicznych odwiedzanych przez dużą liczbę osób, na przykład w centrach handlowych i na parkingach – tam, gdzie występują największe potrzeby geolokalizacji.

Podobne problemy napotykamy w odniesieniu do sygnału telefonii GSM, na przykład przy zastosowaniu popularnego rozszerzenia A-GPS (ang. *Assistant GPS*) [aGPS]. Jako że nadajników (dokładniej – powtarzaczy) sieci GSM w budynku jest niedużo (zwykle jeden lub dwa), dokładność określenia pozycji jest niewielka i zwykle ogranicza się do stwierdzenia faktu, czy użytkownik znajduje się wewnątrz, czy na zewnątrz budynku. Zatem i ta technologia, mimo niekwestionowanej popularności, do wyznaczenia lokalizacji w pomieszczeniach zamkniętych się raczej nie nadaje.

Jeśli zrezygnujemy z pomiaru czasu propagacji lub natężenia fal radiowych jako podstawy wyliczenia odległości, musimy wykorzystać inne dostępne technologie, na przykład znaczniki identyfikacyjne RFID/NFC [NFC] lub kody kreskowe [QRcode]. Taka metoda lokalizacji wymaga rozmieszczenia pewnych małych obiektów, zwanych znacznikami (ang. *tag*), w przestrzeni. Jeśli taki znacznik znajdzie się w polu widzenia czytnika (którym może być na przykład smartfon noszony przez użytkownika w kieszeni), to odczytany ze znacznika identyfikator może posłużyć do odszukania związanej z nim lokalizacji w bazie danych. Wymaga to jednak każdorazowo ręcznego odczytu zawartości znacznika, czyli przybliżenia telefonu do znacznika lub, w przypadku kodu kreskowego, zrobienia zdjęcia tego kodu za pomocą wbudowanej w smartfon kamery. Trudno wyobrazić sobie automatyzację takiego procesu, także wyгода korzystania jest mocno dyskusyjna, choć niewątpliwie pod względem ekonomicznym jest to bardzo efektywne rozwiązanie.

Warto się zastanowić, czy nie połączyć zalet wyżej opisanych systemów – wykorzystującego pomiar czasu propagacji fal lub siły sygnału radiowego oraz metody znacznikowej – ograniczając przy okazji ich wady. Przede wszystkim musi to być roz-

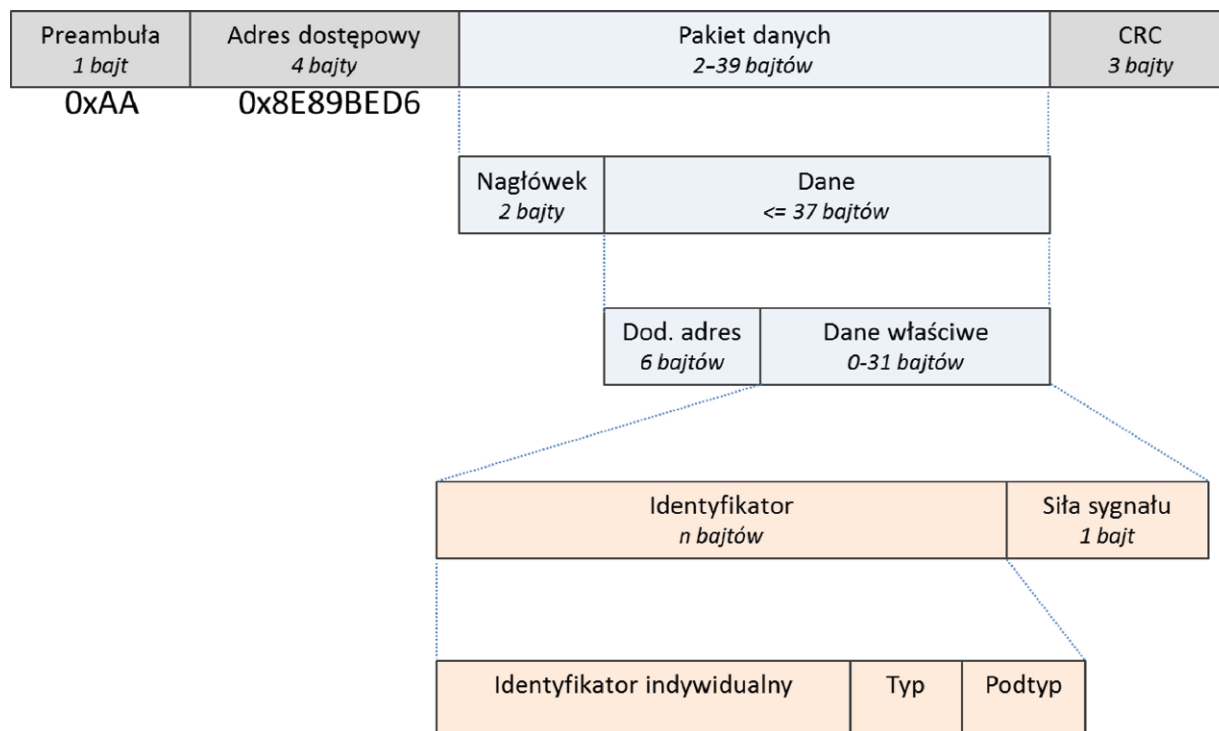
wiązanie dedykowane potrzebom lokalizacyjnym, a nie usługą uzyskana „przy okazji”. Podstawowym elementem tego rozwiązania byłby znacznik, przekazujący ściśle określoną informację (z reguły swój unikalny identyfikator). Możemy wyobrazić sobie sytuację, gdy znacznik nadaje periodicznie pewien sygnał radiowy, który jest widziany z bardzo małej odległości (rzędu metrów). Znając siłę sygnału u źródła oraz współczynnik jego tłumienia w powietrzu, jesteśmy w stanie, po zbliżeniu się do znacznika, nie tylko stwierdzić jego obecność i oszacować dzielący nas dystans, ale także łatwo go zidentyfikować i poznać jego przeznaczenie, odwołując się do zewnętrznej bazy danych. Sam pomysł jest bardzo podobny do szeroko stosowanych w żegludze boi i pław znacznikowych. Zakotwiczona boja nadaje sygnały – dźwiękowe, świetlne lub radiowe – informując wszystkich w pobliżu „tu jestem”. Jeśli w nadawanych sygnałach jest zakodowany sygnał identyfikacyjny (np. kod świetlny latarni morskich), to boja dodatkowo mówi „czym jestem” oraz pośrednio – „jak mnie zidentyfikować”. Jeśli z poziomu otwartych wód (makrolokalizacja) przejdziemy do zamkniętego budynku (mikrolokalizacja), a za kotwicę uznamy fakt przytwierdzenia urządzenia do ściany lub elementu wyposażenia (stoły, drzwi itp.), to otrzymujemy nową technologię – tak zwane boje geolokalizacyjne (ang. *geolocalization beacon*), opisane szerzej w następnym rozdziale.

#### 4. Technologia boi lokalizacyjnych

Boja jest niewielkim, autonomicznie zasilanym urządzeniem, którego jedyną funkcją jest periodiczne nadawanie pewnego sygnału radiowego. Podstawą działania boi jest energooszczędna technologia Bluetooth 4.0 Low Energy (LE) [BLE]. Wykorzystanie tej technologii powoduje, że boja może być wyposażona w niewielkie źródło zasilania, a mimo to pracować nawet do kilku lat bez potrzeby ładowania lub wymiany baterii. Istnieją także rozwiązania wykorzystujące pozyskiwanie energii (ang. *energy harvesting*) np. z rozproszonego pola elektromagnetycznego, różnicy temperatur, przetworników elektromechanicznych – czujników nacisku itp. – które znacznie przedłużają „żywność” boi.

Boja nie łączy się z Internetem ani z żadną inną siecią transmisji danych<sup>3</sup>. Jedyną formą komunikacji tego urządzenia jest transmisja rozptylowa (ang. *broadcast*) pewnej ściśle określonej informacji. W najprostszym przypadku na tę informację składa się tylko unikalny (zaprogramowany przez producenta lub instalatora) numer seryjny boi oraz siła nadawanego sygnału. W niektórych przypadkach dane te mogą być uzupełnione o wartości odczytane z czujników, na przykład pomiaru temperatury, ciśnienia, wilgotności itp.

Maksymalny zasięg transmisji dla pojedynczej boi jest ograniczony zastosowaną technologią, czyli Bluetooth LE. Z reguły nie przekracza on kilkunastu metrów, choć w niektórych rozwiązaniach można go skrócić, zmniejszając siłę nadawanego sygnału. Czyli boja niejako z definicji ma działać wewnątrz jednego niewielkiego pomieszczenia lub w niewielkiej odległości od wskazanego punktu w większym pomieszczeniu. Taka strategia umożliwia rozmieszczenie w budynku wielu takich urządzeń oraz lokalizację co najmniej z dokładnością do miejsca odbioru sygnału, czyli kilku metrów, lub częściej danego pomieszczenia.



Rys. 1. Struktura ramki danych rozgłaszanych przez boję

Wybór Bluetooth LE jako formy komunikacji z boją, oprócz zalet związanych z niewielką konsumpcją energii, umożliwia ponadto odbiór sygnału przez praktycznie dowolne urządzenie przenośne, w szczególności przez każdy smartfon. Zatem do lokalizacji nie jest potrzebne żadne dodatkowe urządzenie poza tym, co już praktycznie każdy z nas nosi w kieszeni. Więcej, niektórzy producenci smartfonów umożliwiają odbiór sygnału boi nawet w przypadku, gdy użytkownik wyłączy w swoim smartfonie transmisję Bluetooth (na poziomie systemu operacyjnego, a nie aplikacji), co zmniejsza zapotrzebowanie na energię i jest zdecydowanie wygodniejsze w stosunku do konieczności każdorazowego zezwalania na odbiór.

#### 4.1. Boja BLE – struktura nadawanych danych

Boje wykorzystują tak zwany kanał marketingowy standardu BLE [BLE Beacon], przesyłając pakiety danych o maksymalnej długości 47 bajtów (rys. 1). Na transmitowany całościowy pakiet danych składają się:

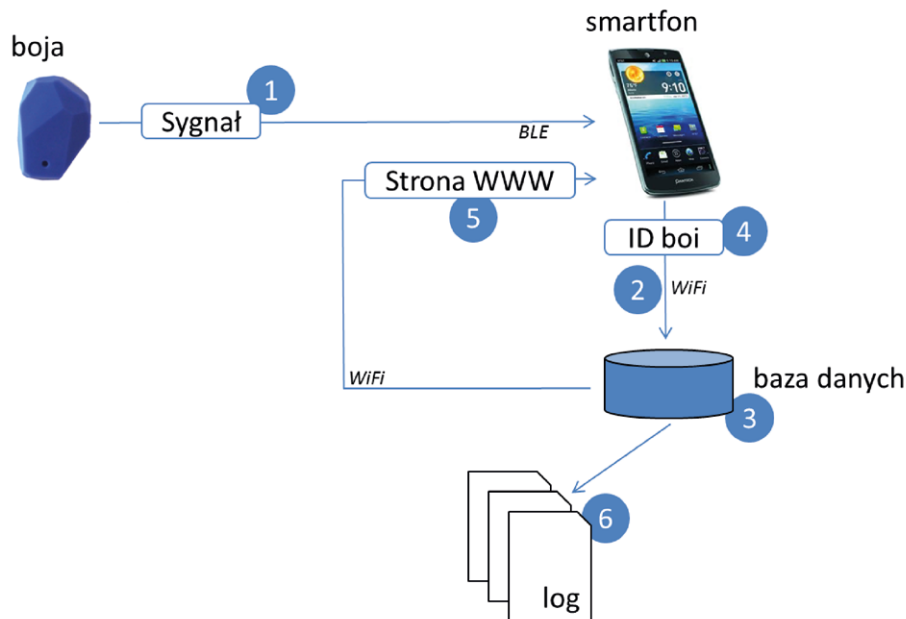
- preambuła (dla kanału marketingowego zawsze równa 0xAA<sup>4</sup>),
- adres dostępowy (dla kanału marketingowego zawsze równy 0x8E89BED6);
- pakiet danych właściwych, składający się z nagłówka (określającego rodzaj transmisji, typ adresu dodatkowego oraz sposób ewentualnej reakcji urządzenia BLE w odniesieniu do transmisji zwrotnej – ten ostatni nie jest wykorzystywany dla boi rozgłoszeniowych) oraz danych właściwych, które z reguły zawierają adres nadawcy i identyfikator logiczny urządzenia, ten ostatni w podziale na identyfikator właściwy, identyfikator typu (grupy) i podtypu (podgrupy);

- sumę kontrolną pakietu CRC, używaną w celu wykrycia i ewentualnej automatycznej korekty błędów transmisji.

Bajty adresu dodatkowego służą do ewentualnego potwierdzenia poprawności sygnału boi oraz utrudnienia retransmisji podobnego sygnału przez inne urządzenie (por. ostatnia sekcja tego artykułu i dyskusja o możliwych oszustwach). Adres ten, w zależności od informacji przesłanej w nagłówku, może być niezmienny lub generowany jako liczba pseudolosowa. W tym drugim przypadku sposób generacji adresu podlega pewnym ściśle określonym regułom w celu maksymalnego uniemożliwienia śledzenia transmisji i powiązania jej z konkretnym urządzeniem w dłuższym okresie czasu (choć nie zapobiega nagraniu sygnału boi i odtworzeniu go w innym miejscu/czasie). W chwili obecnej zmienne adresy dodatkowe praktycznie nie są używane przez producentów boi w rozwiązaniach komercyjnych.

Dane właściwe, w zależności od potrzeb i deklarowanego w nagłówku typu transmisji, obejmują unikalny identyfikator urządzenia, jego przynależność do określonej grupy lub typu, a także moc transmitowanego sygnału (jako liczba w uzupełnieniu do dwóch, wyrażona w decybelach). Zawartość tego pola nie jest objęta standardem BLE i zależy od producenta urządzenia. Na rysunku pokazano przykładowy podział pola na bloki. W ogólności nie musi on być zachowany, a interpretacja przesłanych danych może należeć w całości do aplikacji i jest określana przez producenta urządzenia w ramach jego wewnętrznego standardu (np. iBeacon [iBeacon] firmy Apple, AltBeacon [AltBeacon] firmy Radius Networks itp.).

Boja transmituje pakiet danych w programowalnych odstępach czasu, od 100 ms<sup>5</sup> do kilku, kilkunastu sekund. Jak wspo-



Rys. 2. Architektura systemu śledzącego wykorzystującego nieruchome boje

mniano wcześniej, można także określić siłę nadawanego sygnału, w zależności od potrzeb i możliwości energetycznych urządzeń. W standardzie wyróżniono też trzy możliwe sposoby zasilania urządzenia: kablowe (z reguły USB), z baterii (z reguły baterie typu CR2032 lub popularne akumulatory AAA) oraz w trybie pozyskiwania energii (np. z baterii słonecznych, ciepłych lub przetworników nacisku). Wprowadzono też kanał komunikacyjny na potrzeby instalacji – najczęściej jest to połączenie kablowe w standardzie SPI lub I<sup>2</sup>C, dostępne po otwarciu obudowy urządzenia<sup>6</sup>.

#### 4.2. Zasięg i możliwy konflikt transmisji radiowej

W teorii sygnał nadawany przez boję w idealnych warunkach może być odebrany z odległości nawet kilkuset metrów. Jednakże wykorzystywane przez boję pasmo radiowe 2,4 GHz jest „zaśmiecone” innymi sygnałami, nie tylko transmisji danych (Bluetooth, WiFi), ale także zakłóceń od mikrofalowych urządzeń analogowych (radary policyjne, kuchenki mikrofalowe, alarmowe czujki ruchu itp.). Sygnał mikrofalowy jest też silnie tłumiony w powietrzu, szczególnie wilgotnym. Z tego względu zasięg transmisji z reguły nie przekracza kilkunastu metrów, a w większości przypadków ogranicza się do jednego niewielkiego pomieszczenia. Należy to traktować raczej jako zaletę niż wadę, gdyż umożliwia bezkonfliktowe rozmieszczenie większej liczby boi na ograniczonym obszarze, a tym samym większą precyzję lokalizacji. Co więcej, siłę sygnału można dodatkowo obniżyć, celowo zmniejszając jego zasięg, co umożliwi usługi bardzo bliskiego zasięgu (ang. *nearables*), uaktywniane samym faktem pojawienia się w określonym miejscu.

W celu uniknięcia konfliktów z sygnałami sieci WiFi, nadającej najczęściej w kanałach 1, 6 i 11 pasma 2,4 GHz (standard 802.11abg), w przypadku boi zdecydowano się na wykorzystanie kanałów 37, 38 i 39, uaktywnianych sekwencyjnie podczas jednej transmisji. Oczywiście w najnowszym standardzie WiFi

802.11n kanały te też są wykorzystywane, a nadajniki WiFi pracują ze znacznie większym poziomem mocy – w tym przypadku zaleca się odsunięcie boi od wszystkich innych aktywnych źródeł mikrofal.

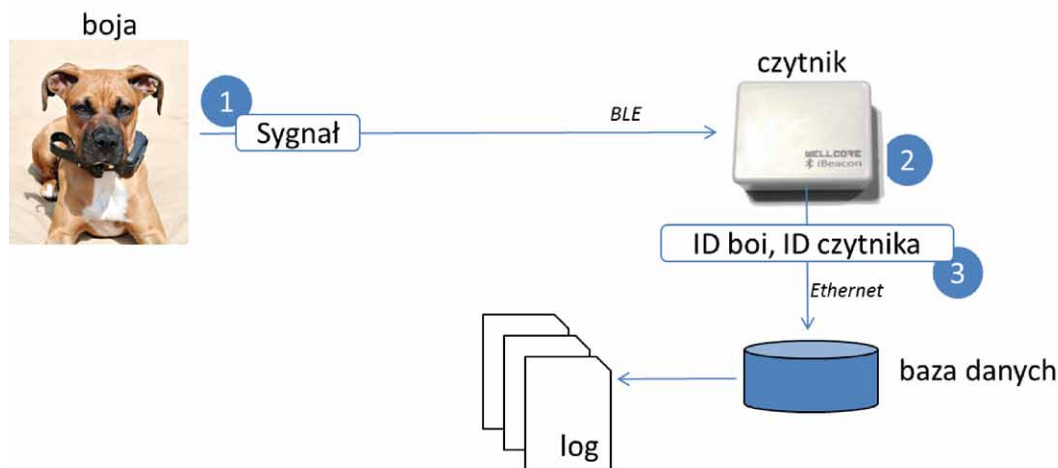
#### 4.3. Architektura typowego systemu geolokalizacyjnego

W ogólności możemy sobie wyobrazić dwie podstawowe formy wykorzystania boi do celów lokalizacyjnych:

- boje są nieruchome i wyznaczają bezpośrednio lokalizację miejsca, w którym się znajdują, pośrednio pozwalając na lokalizację odbiornika, który akurat odbiera ich sygnał;
- boje są skojarzone z obiektami ruchomymi, które przemieszczając się, wchodzą w zasięg odbioru stacjonarnych czytników.

Pierwszy przypadek zobrazowano na rys. 2. Smartfon, po wejściu w zasięg obszaru pokrycia radiowego danej boi, zaczyna odbierać jej sygnał (1). Odebrany sygnał jest interpretowany przez wcześniej zainstalowaną aplikację lub rozszerzenie systemu operacyjnego, a następnie smartfon, korzystając z lokalnego połączenia z siecią komputerową (2), odwołuje się do zewnętrznej bazy danych (3), przesyłając jej rozpoznany identyfikator boi (4). Baza danych odpowiada zestawem danych skojarzonych z tym identyfikatorem, na przykład przesyła zawartość strony WWW (5) do wyświetlenia na ekranie smartfona. Jednocześnie, znając zarówno identyfikator boi, jak i adres smartfona, baza danych może zapamiętać fakt interakcji tych dwóch urządzeń w swoim logu (6), do późniejszego wykorzystania.

Możemy też zaproponować uproszczenie powyższej formy komunikacji, polegające na tym, że wszystkie niezbędne dane na temat boi (czyli odpowiednik wspomnianej powyżej bazy danych) są przechowywane w smartfonie. W takim przypadku połączenie z siecią jest zbędne, a interakcja smartfona z boją (i cała transmisja radiowa danych) ogranicza się do odczytania identyfikatora boi, a następująca po tym fakcie interpretacja sygnału odbywa się całkowicie w smartfonie.



Rys. 3. Architektura systemu śledzącego wykorzystującego boje ruchome

W drugim przypadku (rys. 3) odwracamy sytuację, czyli system śledzi przemieszczanie się boi. Na przykład boja jest przymocowana do obroży psa (1). Zwierzę, poruszając się po budynku, wchodzi w zasięg kolejnych czytników (2), które powiadamiają system centralny o fakcie interakcji (3), identyfikując boję (i pośrednio przypisany do niej obiekt, czyli w tym przypadku psa) na podstawie odebranego identyfikatora. W większości przypadków wystarczy lokalizacja z dokładnością do pomieszczenia, zatem taki system może być stosunkowo tani i prosty w eksploatacji. Podobnie do opisywanego przykładu można nadzorować np. pracowników danego zakładu pracy, lekarzy i pacjentów w szpitalu itp., ale także zwiedzających muzeum czy też stado zwierząt na farmie hodowlanej, a nawet pozycje samochodów na parkingu.

W pewnych przypadkach możemy też sobie wyobrazić sytuację mieszaną, gdy zarówno boja, jak i czytnik są integralnymi elementami pewnego nadrzędnego urządzenia, na przykład smartfonu, noszonego w kieszeni użytkownika, lub nadajnika wbudowanego np. w obrożę psa lub kota. W tym przypadku mamy do czynienia z sytuacją podwójnego śledzenia – każdy może monitorować innych, ale sam też jest monitorowany. Przykład wykorzystania takiego podejścia mieszanego to organizacja dużej konferencji, gdzie jej uczestnicy nie tylko chcą wiedzieć (lub zapamiętać), z kim akurat rozmawiają, ale chcą także szybko lokalizować inne osoby i wiedzieć, w jakim miejscu odbywa się dana prelekcja czy też spotkanie, otrzymywać przypomnienia i wskazówki, jak dojść na miejsce itp.

## 5. Obszary zastosowań

Po dawce techniki z poprzednich rozdziałów zaczynamy się zastanawiać, gdzie i w jakich celach możemy wykorzystać boje lokalizacyjne. Pojawiają się tu dwa główne obszary – w warunkach domowych oraz w miejscach publicznych.

Pierwszy obszar zastosowań służy głównie wygodzie. Oczywiście doskonale wiemy, w jakim miejscu domu się aktualnie znajdujemy i usługa lokalizacyjna jako taka nie jest nam potrzebna. Jednakże wyposażenie domu niekoniecznie musi to wiedzieć

i taką informację czasem warto przekazać. Zatem w tym przypadku boje przekazują informacje o lokalizacji do smartfonu, a ten z kolei, znając już miejsce, może „inteligentnie” sterować wyposażeniem budynku. Na przykład audycja radiowa lub telewizyjna „wędruje” z pokoju do pokoju w miarę, jak się przemieszczamy po budynku. Jeśli opuścimy jakieś pomieszczenie, jest ono „wygaszane” lub „usypiane” – oświetlenie jest wyłączone, podobnie wspomniany wyżej telewizor i radio, ogrzewanie jest redukowane itp. Wszystkie te akcje są dokonywane przez system sterowania domem całkowicie automatycznie, jedynie na podstawie informacji, jakie boje „widzi” aktualnie smartfon oraz jakie są preferencje mieszkańca. W większości przypadków wystarczy jedna boja na pomieszczenie lub element wyposażenia. Np. kanapa lub fotel, po stwierdzeniu, że ktoś na nich usiadł, mogą daną osobę zidentyfikować i na tej podstawie włączyć muzykę lub ulubiony kanał telewizyjny [Launchhere].

Możemy też odwrócić sytuację i nosić boję przy sobie lub zawiesić ją na obroży naszego psa lub kota. Rozmieszczone w domu czujniki będą „widziały” przemieszczanie takiej boi między pomieszczeniami, w ten sposób śledząc ruch człowieka lub zwierzęcia [TrackR] i odpowiednio reagując w miarę potrzeby. Na przykład wyjście dziecka, które nosi boję w postaci bransoletki na nadgarstku lub wisiorka na szyi, z chronionego pomieszczenia (lub poza monitorowany teren, na przykład ogród lub plac zabaw) może skutkować natychmiastowym powiadomieniem opiekunów [Nivea, BeLuvv]. Możemy też liczyć na pomoc innych – jeśli nasz pies zginie, a sygnał z jego boi zostanie odebrany przez smartfon innej osoby, ta może nas o tym powiadomić, na przykład odpowiadając na nasze ogłoszenie o zagubieniu się zwierzęcia i jego poszukiwaniach na Facebooku.

Zastosowania boi w miejscach publicznych są jeszcze szersze i ciekawsze. Na pewno wielokrotnie mieliśmy odczucie zagubienia podczas wizyty w dużym centrum handlowym. Boje mogą znacznie to uczucie zmniejszyć, prowadząc nas do celu. Na przykład, widzimy przy wejściu do centrum manekin ubrany w bluzkę, która nam się podoba. Podchodzimy do tego

manekina i w tym momencie odbieramy sygnał od jego boi. Na podstawie tego sygnału identyfikujemy sklep i na naszym smartfonie obrazujemy mapę dojścia do niego. Mijane po drodze boje pozwalają sprawdzić, czy poruszamy się we właściwym kierunku. Jeśli dodatkowo przed rozpoczęciem trasy nasz smartfon skomunikuje się ze sklepem i prześle nasze wymiary oraz preferencje np. co do koloru, wybrana bluzka będzie już na nas czekać na miejscu, przygotowana przez obsługę.

Podobnie możemy sobie wyobrazić pomoc w wyszukiwaniu konkretnego biura w urzędzie publicznym, wskazywanie drogi niepełnosprawnym (z uwzględnieniem ich ograniczeń, na przykład konieczności korzystania z windy zamiast schodów), identyfikację peronów na dworcu, stanowisk odlotu na lotnisku itp.

Możemy też sobie wyobrazić restaurację bez kelnerów – zamówienie odbierze od nas stolik, pod którego blatem znajduje się boja, za pośrednictwem naszego smartfonu. Rolą obsługi będzie tylko przyniesienie gotowego posiłku i posprzątanie naczyń, cały przepływ informacji (łącznie z płatnością) będzie wykonany automatycznie [Everytrap].

Wreszcie gry komputerowe – o ileż można wzbogacić interakcję między uczestnikami gry w plenerze, jeśli będą mogli oni wykryć automatycznie swoją obecność w pobliżu oraz oznaczyć aktualnych sąsiadów jako „sojuszników” i „wrogów”. Boje można też wykorzystać, w celach nazwijmy to, „randkowych” [Mingleton, Tinder], co zwłaszcza dla osób nieśmiałych może być bardzo pomocne. Możemy też identyfikować osoby uczestniczące we wspólnym wydarzeniu (np. uczestników spotkania czy też konferencji, studentów na wykładach itp.). Należy zauważyć, że osoby monitorowane niekoniecznie muszą zdawać sobie sprawę z tego faktu – ich boje mogą rozgłaszać sygnał „tu jestem”, ale nie są w stanie odebrać sygnału zwrotnego ani ocenić, kto nadany sygnał odczytał.

## 6. Zagrożenia wynikające z masowego zastosowania boi lokalizacyjnych

Masowe wykorzystanie technologii boi lokalizacyjnych, obok niewątpliwych zalet, niesie też ze sobą pewne zagrożenia, które poniżej krótko przedyskutowano. Zagrożenia te są związane głównie z ochroną prywatności, natłokiem informacyjnym oraz możliwymi oszustwami.

Boje umożliwiają śledzenie osób lub przedmiotów w sposób niewidoczny i nieinwazyjny, na znacznie większą skalę niż dotychczas stosowane technologie. Sama boja oczywiście nikogo nie śledzi, ale usługa zaproponowana z jej udziałem już tak. Dla przykładu, wiodący producent boi zakłada, że każdorazowo odebrany sygnał należy autoryzować za pomocą jego serwera i bazy danych zarejestrowanych boi. Z jednej strony częściowo eliminuje to możliwość oszustwa, gdyż nikt „z zewnątrz” nie może dodać swojej boi do systemu bez autoryzacji. Z drugiej strony producent ten gromadzi informacje o tym, kto (z dokładnością do adresu sieciowego smartfonu), kiedy i gdzie odebrał sygnał z boi, co w skrajnym przypadku umożliwia śledzenie dowolnej osoby w kluczowych momentach (np. w czasie dokonywania zakupów). Taka informacja z punktu widzenia marketingu jest bezcenna i na pewno prędzej czy później stanie się przedmiotem handlu. Podobnie sklep może śledzić, jakimi towarami interesuje się dany klient (bo „widzi” on konkretną

boję przez dłuższy czas, stojąc obok półki z tym towarem), które półki mijają obojętnie itp. Zatem klient musi otrzymać pewną wartość dodaną, która zrekompensuje mu częściową utratę prywatności, na przykład mapę dojścia do szukanego towaru, zniżkę lub ofertę promocyjną, możliwość automatycznej płatności itp. W przeciwnym przypadku ludzie będą się bronić przed nadmiarowym śledzeniem, po prostu ignorując sygnały boi i nie uruchamiając aplikacji interpretującej ich sygnały w swoim smartfonie.

W miarę wzrostu popularności technologii boi będziemy też obserwować przesycenie informacyjne – boi będzie tak dużo, że nadawany przez nie sygnał trzeba będzie ignorować, nie mając czasu na skorzystanie z oferowanych usług. Jeśli każda półka sklepowa zacznie wysyłać do naszego smartfonu informację marketingową, to już po kilku minutach, zdenerwowani natłokiem wiadomości, wyłączymy telefon. Rozwiązaniem jest publiczny system klasyfikacji i oceny jakości oferowanych towarów i usług, z którego każdy zainteresowany może skorzystać, deklarując klasy usług, którymi jest potencjalnie zainteresowany. Na przykład klient w sklepie będzie otrzymywał informacje o premierze nowej płyty (bo zadeklarował zainteresowanie muzyką), ale informacje o nowej generacji proszków do prania będą przez jego smartfon ignorowane. System klasyfikacyjny musi być oferowany przez niezależną instytucję zaufania publicznego lub powszechny system społecznościowy. W chwili obecnej takich usług praktycznie nie ma, a jeśli są, to wymagają manualnej analizy setek opinii wystawionych przez poprzednich klientów i raczej odnoszą się do towarów (np. telewizorów czy też lodówek), a nie usług.

Wreszcie ostatni problem – podatność technologii na oszustwa. Niestety, jak każda technologia, także boje lokalizacyjne mogą być wykorzystane w inny sposób, niż przewidzieli to ich twórcy. Banalnym sposobem oszustwa jest „nagranie” sygnału boi (nawet analogowe) i odtworzenie go w innym miejscu i czasie, pozorując w ten sposób zmianę miejsca nadawania. Rozwijając w tym kierunku przykład centrum handlowego opisanego powyżej możemy dojść do sytuacji, w której jeden sklep „podbiera” klientów innemu, udając, że jest tym miejscem, do którego klient miał trafić. Podobnie, w stosunkowo prosty sposób, można wstawić do systemu nieautoryzowane boje (których sygnał nie podlega żadnej weryfikacji), które nawet po wykryciu nie umożliwiają identyfikacji instalatora. Technologia boi jest na tyle młoda, że takie oszustwa jeszcze się na masową skalę nie pojawiły, ale niewątpliwie nas to czeka. Przypomina to trochę oszustwa systemu lokalizacyjnego GPS podczas wojny w Afganistanie – Rosjanie, symulując za pomocą niewielkich stacji naziemnych sygnał z satelity GPS, byli w stanie na tyle fałszować odczyty tego systemu, że amerykańskie pociski trafiły wiele kilometrów obok celu. Było to możliwe dzięki temu, że transmisja z satelity GPS, nadawana otwartym tekstem, nie jest w żaden sposób zabezpieczona przed przechwyceniem i fałszowaniem. Podobnie wczesne systemy sterowania dronów posługiwały się otwartą transmisją bez jakiegokolwiek weryfikacji nadajnika i odbiornika, co umożliwiało przejęcie nad nimi kontroli. Niewątpliwie technologię boi należy znacząco zmienić, żeby stała się odporna na tego typu oszustwa, jest to jednak temat na następny artykuł.

## 7. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono stosunkowo młodą, choć szybko zdobywającą popularność technologię boi lokalizacyjnych, przeznaczonych głównie do lokalizacji w przestrzeni zamkniętej. Pokazano rozwiązania techniczne stanowiące podstawy tej technologii oraz typowe możliwości jej zastosowań w ujęciu architektonicznym i praktycznym. Obok opisanego niewątpliwych zalet i szybko wzrastającego obszaru zastosowań przedyskutowano także główne zagrożenia wynikające z masowego zastosowania technologii w naszym życiu codziennym: zmniejszenie prywatności, przesycenie przekazem informacyjno-marketingowym oraz oszustwa związane z geolokalizacją.

## Podziękowanie

Niniejsza praca została częściowo sfinansowana w ramach projektu GOLIATH, finansowanego wspólnie przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) oraz Narodową Agencję Badań Luksemburga (FNR) – grant NCBR numer 200021E-136316/1 oraz Luxembourg National Research Fund (FNR) – grant numer INTER/SNSF/10/02.


Niniejsza praca została częściowo sfinansowana przez Billenium Sp. z o.o., a przedstawione w niniejszej pracy informacje stanowią część realizacji projektu pt. „Stworzenie platformy wspierającej zarządzanie projektami Rego”, współfinansowanego z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, działanie 1.4-4.1 – Wsparcie na prace badawcze i rozwojowe oraz wdrożenie wyników tych prac, umowa o dofinansowanie nr UDA-POIG.01.04.00-14-221/11-00.

## Przypisy

1. W zasadzie trzy sygnały wystarczają, ale wtedy nie można określić wysokości, co np. w budynkach wielopiętrowych czyni lokalizację praktycznie bezużyteczną.
2. Nie uwzględniamy tu systemowej korekty błędów GPS (na przykład w ramach systemu EGNOS [EGNOS]), ale ciężko sobie wyobrazić masowe wykorzystanie takiej pomocy, tym bardziej w przestrzeni zamkniętej.
3. Pomijając moment instalacji i pierwszego uruchomienia, a także niestandardowe rozwiązania wykorzystujące dwukierunkową transmisję BLE, które w praktyce nie są wykorzystywane.
4. W artykule stosujemy zapis liczb w formacie heksadecymalnym z prefiksem 0x, znany np. z języków programowania C i Java.
5. 20 ms dla urządzeń BLE transmisji dwukierunkowej – w przypadku boi wykorzystywana jest jedynie transmisja rozplływowa, czyli w grę wchodzi tylko większy odstęp czasowy.
6. Niektóre urządzenia są hermetycznie zamknięte na etapie produkcji i niemożliwe do samodzielnej konfiguracji, o ile nie mają zaimplementowanej dwukierunkowej transmisji BLE. Takie urządzenia działają tak długo, jak zawarta w nich bateria jest w stanie generować energię, z reguły od roku do kilku lat.

## Literatura

- [Aer scout] Market-leading Accurate Location Determination and Processing of Visibility Data, Stanley Healthcare (formerly AeroScout Ltd.), <http://www.stanleyhealthcare.com/products/location-engine>
- [aGPS] GPS kontra AGPS – który lepszy?, raport Interia Mobtech, 2010, <http://mobtech.interia.pl/news-gps-kontra-agps-ktory-lepszy,nId,705210>
- [AltBeacon] AltBeacon – The Open and Interoperable Proximity Beacon Specification, 2015, <http://altbeacon.org/>
- [BeLuvv] CUBI – the communicator for smart kids, 2015, <http://www.beluvv.com/>
- [BLE] Bluetooth® Low Energy, white paper of LitePoint, 2012, [http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2014/02/Bluetooth-Low-Energy\\_WhitePaper.pdf](http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2014/02/Bluetooth-Low-Energy_WhitePaper.pdf)
- [BLE beacon] Bluetooth® Low Energy Beacons, Texas Instruments materials, 2015, <http://www.ti.com/lit/an/swra475/swra475.pdf>
- [EGNOS] About EGNOS, 2015, <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos>
- [Everytrap] Polska aplikacja Everytap zrewolucjonizuje system programów lojalnościowych, 2015, <http://whatnext.pl/polska-aplikacja-everytap-wynagradza-dobra-zabawe/>
- [GPS] Nawigacja GPS – wprowadzenie, Wortal GPS, 2015, <http://www.technologiagps.org.pl/>
- [iBeacon] iOS: omówienie technologii iBeacon, materiały firmy Apple, 2015, <https://support.apple.com/pl-pl/HT202880>
- [Launchhere] Launch Here – iBeacon based app shortcuts, project home page (currently suspended), 2015, <http://launchhere.awwapps.com/>
- [Mingleton] Be more social – in real life, Mingleton home page (project abandoned), 2015, <http://mingletonapp.com/>
- [NFC] What is NFC?, NFC Forum, 2015, <http://nfc-forum.org/what-is-nfc/>
- [Nivea] „The protection Ad” by Nivea, 2015, <https://youtu.be/nZ532wkhHYs>
- [QRcode] What is a QR code?, DENSO WAVE materials, 2015, <http://www.qrcode.com/en/>
- [TrackR] Locale anything in seconds using your iPhone or Android, <http://www.thetrackr.com>
- [Tinder] Friends, dates, relationships, and everything in between, Tinder home page, <https://www.gotinder.com/>

 Jarogniew Rykowski – Katedra Technologii Informatycznych, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, e-mail: rykowski@kti.ue.poznan.pl; Mateusz Nomańczuk – Billenium Sp. z o.o.

reklama



Preferujesz internet?

Wypromuj się na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)