



## Technologie komunikacji cyfrowej bliskiego zasięgu

mgr inż. ROMAN CZAJKOWSKI, dr inż. WOJCIECH NOWAKOWSKI, prof. ndzw.

Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

Rozwój mobilnych technologii komunikacyjnych bliskiego zasięgu, zwłaszcza telefonii komórkowej, mobilnych urządzeń komputerowych oraz mobilnego internetu otworzył zupełnie nieznane jeszcze niedawno przestrzenie aplikacyjne, od technik identyfikacyjnych towarów i osób poczynając po zupełnie nowe zjawiska socjologiczno-techniczne jak Internet Rzeczy (IoT, ang. Internet of Things), czyli przedmiotów, które mogą gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane, zarówno między sobą jak i z człowiekiem.

Postęp w tej dziedzinie jest bardzo szybki, a ilość informacji technicznych jej dotyczących – przytłaczająca. Kilka razy do roku publikowane są specyfikacje dotyczące nowych, lub tylko odnawianych protokołów komunikacyjnych, co utrudnia skuteczne śledzenie rozwoju technicznego tej dziedziny. Ale jest to niezbędne, bo zastosowania cyfrowych technologii komunikacyjnych krótkiego zasięgu, typowych dla współczesnego świata pełnego smartfonów, phabletów, tabletów i komputerów mobilnych, stają się powszechne, a ich niedostrzeżenie może być już nazwane wykluczeniem cyfrowym.

Warto więc, przynajmniej w zarysie, przedstawić najważniejsze obecnie technologie i standardy komunikacji cyfrowej bliskiego zasięgu. Technologie te są bowiem podstawą nowych aplikacji, zarówno już teraz zdobywających popularność, jak i dopiero się rozwijających.

### RFID – technika znana i szeroko stosowana [1, 2, 3]

RFID (ang. *Radio-Frequency IDentification*) – technika identyfikacji polegająca na odbieraniu drogą radiową danych ze znaczników (elektronicznych etykiet, identyfikatorów nazywanych też *tagami*) znajdujących się na identyfikowanych obiektach. Jakkolwiek etykiety mogą zawierać źródło zasilania, to jednak w większości przypadków czerpią one energię bezpośrednio z pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez czytnik. Ciekawostką jest, że za protoplastę etykiety RFID uważa się szpiegowski nadajnik podsłuchowy (tzw. pluskwę) Leona Theremina z 1945 roku, który nadawał *on-line* podsłuchiwaną informację audio drogą radiową, za pomocą modulacji falą akustyczną rezonatora nadajnika sygnału radiowego. Aczkolwiek urządzenie to technicznie nie miało nic wspólnego z etykietą RFID, uważane jest za jej poprzednik, ponieważ również było pasywne i zasilane zewnętrznym polem elektromagnetycznym.

Etykiety identyfikacyjne (tagi, znaczniki) RFID stosowane są szeroko w światowej gospodarce do bardzo różnorodnych celów. W instytucjach publicznych na przykład stosuje się je

w paszportach, prawach jazdy, kartach zdrowia itd, w transporcie publicznym w metrze, tramwajach, pociągach i autobusach, w znakowaniu zwierząt (bydło, zwierzęta domowe, a nawet pszczoły), w płatnościach (bezzystkowe karty bankowe), a także w różnych środowiskach przemysłowych (logistyka, magazyny, kontrola dostępu, rejestracja czasu pracy, usługi parkingowe, dostęp do aplikacji komputerowych. Tagami RFID można znakować odzież, nieruchomości a nawet ludzi. Szacuje się, że rynek znakowania RFID przekroczył w 2014 roku 20 mld USD.

Ze względu na techniczną realizację RFID (zakres wykorzystywanych częstotliwości, rodzaj kodowania, wielkość pamięci znacznika, szybkość transmisji, rozróżnialność wielu znaczników w zasięgu czytnika itp., por. tabl. 1) istnieje wiele różnych standardów, jak np. Tiris (najstarszy), EPC (Electronic Product Code) Global, Mifare, Uniqe, Q5, Hitag, I-code. W technologii RFID najczęściej wykorzystywana jest częstotliwość 125 kHz, pozwalająca na odczyt z odległości nie większej niż 0,5 m. Bardziej złożone systemy, z zapisem i odczytem informacji, pracują przy częstotliwości 13,56 MHz i zapewniają zasięg do kilku metrów. Inne stosowane częstotliwości, już w zakresie UHF – 868...956 MHz, 2,4 GHz, 5,8 GHz – zapewniają zasięg do 3, a nawet 6 m. Właśnie w zakresie częstotliwości UHF technika RFID rozwija się najbardziej dynamicznie ze względu na duże korzyści wynikające z prędkości oraz odległości odczytu.

Co ciekawe, technika identyfikacji RFID wzbudza duże kontrowersje związane z naruszeniem prywatności, bowiem może prowadzić np. do utraty anonimowości kupujących. Bowiem np. dokładne śledzenie drogi jaką przebywa każdy produkt, może w odczuciu wielu ludzi umożliwić firmom uzyskanie zbyt wielu informacji dotyczących zakupowych zwyczajów osób prywatnych. Notowano poważne spięcia między sieciami handlowymi wykorzystującymi metki RFID a organizacjami społecznymi. Doprowadziło to m.in. do implementowania w metkach funkcji *chip kill*, pozwalającej wykasować zapisane w nich informacje, a nawet trwale je dezaktywować. Operacje te można przeprowadzić za pomocą zwykłego czytnika, np. podczas kupowania produktów przy kasie sklepowej.

### Wi-Fi Direct, czyli konkurencja dla Bluetootha [4]

Wi-Fi Alliance jest międzynarodowym stowarzyszeniem o zasięgu globalnym, które od 15-tu lat opracowuje i wdraża do praktyki swoją technologię mobilnej komunikacji cyfrowej mię-



Tabl. 1. Częstotliwości wykorzystywane w znakowaniu RFID. Tabl. 1. RFID tags technical frequencies specification

Pasma częstotliwości RFID					
Pasmo	Normy	Długość fali	Szybkość przesyłu danych	Uwagi	Koszt znaczni-ka (tagu) USD (w 2006 r.)
120–150 kHz (LF)	Nienormowane	10 cm	Mała	identyfikacja zwierząt, skanowanie danych fabrycznych	1
13.56 MHz (HF)	ISM bandworldwide	10 cm – 1 m	Mała do średniej	Karty inteligentne (ISO/IEC 15693, ISO/IEC 14443 A,B). Karty pamięci nie w pełni kompatybilne z ISO (Mifare Classic, iCLASS, Legic, Felica...). Kompatybilne z ISO karty mikroprocesorów (Desfire EV1, Seos)	Od 0,50 do 5
433 MHz (UHF)	Short Range Devices	1–100 m	Średnia	Zastosowania obronne, tagi aktywne	5
865-868 MHz (Europe) 902-928 MHz (North America) UHF	ISM band	1–12 m	Średnia do dużej	EAN (kody kreskowe), różne standardy	0,15 (tagi pasywne)
2450-5800 MHz (mikrofale)	ISM band	1–2 m	Duża	802.11 WLAN, Bluetooth standards	25 (tagi aktywne)
3.1–10 GHz (mikro-fale)	Ultra wide band	to 200 m	Duża	Wymaga tagów sub-aktywnych lub aktywnych	5 (projektowane)

dzy produktami i urządzeniami o nazwie Wi-Fi. Jest to technologia szeroko już rozpowszechniona w całym świecie w postaci lokalnych sieci mobilnych niewielkiego zasięgu z routerem.

W 2010 r. stowarzyszenie Wi-Fi Alliance rozpoczęło proces certyfikacji nowego projektu **WiFi Direct**, który umożliwia urządzeniom Wi-Fi łączenie się bezpośrednio ze sobą bez punktu dostępowego lub routera, a więc bez internetu, sieci domowej, biurowej lub hotspotów. Telefony komórkowe, kamery, drukarki, komputery osobiste i inne urządzenia mogą bezpośrednio między sobą szybko i łatwo przesyłać i udostępniać informacje cyfrowe. Za pomocą Wi-Fi Direct można przesyłać zdjęcia, filmy, muzykę i inne materiały. Urządzenia mogą współpracować „jeden-do-jednego”, lub w grupie kilku urządzeń. Podłączanie urządzeń Wi-Fi Direct jest łatwe i proste, za naciśnięciem przycisku. Co więcej, wszystkie połączenia bezpośrednie Wi-Fi są chronione przez nową technologię zabezpieczeń WPA2 (256-bitowe szyfrowanie AES). Ważną cechą Wi-Fi Direct jest to, że w standardzie tym nie jest konieczne aby dwa, albo wszystkie połączone urządzenia były zgodne z Wi-Fi Direct. Wystarczy jeden certyfikowany moduł Wi-Fi Direct w jednym tylko urządzeniu współpracującym, aby móc wymieniać dane ze wszystkimi urządzeniami wyposażonymi w „zwykłą” łączność Wi-Fi. Gdy dwa lub więcej certyfikowanych urządzeń Wi-Fi Direct łączy się bezpośrednio, tworzy się sieć Grupa Wi-Fi Direct, która jest zabezpieczona najnowszą technologią *Wi-Fi Protected Setup*.

Największą różnicą między Wi-Fi, a Wi-Fi Direct, jest właśnie procedura dynamicznego ustalania struktury zarządzania. Po wykryciu innych urządzeń musi nastąpić etap konfiguracji grupy, po którym jedno urządzenie zostaje oznaczone jako główne (ang. Group Owner) zaś pozostałe jako członkowie grupy (ang. clients). Wszystkie urządzenia można łączyć z wieloma grupami, korzystając z różnych częstotliwości lub dzielenia kanału.

## NFC, krewniak RFID [5–8]

NFC (ang. *Near Field Communication*) to krótkozasięgowy, wysokoczęstotliwościowy, radiowy standard komunikacji pozwalający na bezprzewodową wymianę danych na odległość do 20 centymetrów.

Technologia ta jest prostym rozszerzeniem ISO/IEC 14443 (karta zbliżeniowa), która łączy interfejs kart inteligentnych i czytnik w jednym urządzeniu (standard ISO/IEC 14443 definiuje karty zbliżeniowe używane w celu identyfikacji użytkownika oraz protokoły transmisji używane podczas komunikowania się z nimi).

Urządzenia NFC mogą komunikować się zarówno z istniejącymi urządzeniami we wspomnianym standardzie, jak również z innymi urządzeniami NFC, będąc tym samym zgodne z istniejącą i będącą już w użyciu infrastrukturą publicznego transportu i płatności, jak np. MIFARE [9].

NFC jest więc technologią umożliwiającą bezprzewodową wymianę danych pomiędzy dwoma urządzeniami lub urządzeniem i etykietami czyli tzw. tagami na odległościach centymetrowych. Rynek usług oferowanych przy użyciu NFC jest już duży. Smartfon z NFC może posłużyć jako bilet komunikacji miejskiej, identyfikator, karta dostępową w pracy, czy wizerunek. Często jest też wykorzystywane smartfonów z NFC, jako zbliżeniowych kart płatniczych. W wielu krajach istnieją parkomaty z komunikacją bliskiego zasięgu, która umożliwia uiszczenie opłacanie parkingu, jak też przypominanie o kończącym się czasie parkingowym. To zaledwie niewielka część możliwych zastosowań. NFC stwarza także nowe możliwości w obszarze reklamy i programów lojalnościowych.

Przed wszystkim jednak należy przypomnieć, że smartfon z technologią NFC może współpracować z programowalnymi etykietami, czyli tagami. Takie etykiety można kupić za kilka złotych, a następnie zaprogramować (np. programem NFC TagWriter pod Androidem) umieszczając w nich dane kontak-



Rys. 1. Galaxy SIII i para naklejek TecTile  
Źródło: [http://pl.wikipedia.org/wiki/NFC\\_Tag](http://pl.wikipedia.org/wiki/NFC_Tag) (fot. Andy Dingley)  
Fig. 1. Galaxy SIII phone and two TecTile tags  
Source: [http://pl.wikipedia.org/wiki/NFC\\_Tag](http://pl.wikipedia.org/wiki/NFC_Tag) (Andy Dingley own work)

towe lub inne informacje, które chcemy upubliczniać. Każdy będzie mógł te dane odczytać zbliżeniowo swoim telefonem komórkowym z aplikacją NFC.

## Charakterystyka standardu Wi-Fi Direct

- Zasięg: <20 cm
- Częstotliwość: 13.56 MHz  $\pm$  7 kHz (pasmo ISM)
- Maksymalna szerokość pasma sygnału: 2 MHz
- Przepustowość: 106, 212, 424 lub 848 kbit/s
- 2 tryby pracy: Pasywny – inicjujące urządzenie wytwarza pole elektromagnetyczne, a docelowe urządzenia odpowiada, modulując to pole. W trybie tym urządzenie docelowe jest zasilane mocą pola elektromagnetycznego urządzenia inicjującego. Aktywny – oba urządzenia, inicjujące i docelowe, komunikują się przez naprzemienne generowanie swojego sygnału. Urządzenie wyłącza swoje pole elektromagnetyczne, gdy czeka na dane. W tym trybie oba urządzenia potrzebują zwykle własnego zasilania.

Standard NFC obsługuje wiele smartfonów i tabletów z Androidem, ale także i z Symbianem oraz Windows Phone. Pierwszym telefonem z tym standardem komunikacji była Nokia 6131. bardzo wygodne jest wykorzystanie NFC do autoryzacji transakcji lub transmisji danych. Wystarczy zbliżyć do siebie dwa telefony (z nowszymi wersjami systemów operacyjnych – Android 4.1 lub nowszy, najnowsza wersja Symbiana, albo Windows Phone 8), a one automatycznie uzgodnią i rozpoczną transfer poprzez Bluetooth, albo Wi-Fi Direct.

Niektóre firmy wyposażają swoje zestawy słuchawkowe, głośniki, czy stacje dokujące w moduł NFC, aby było możliwe szybkie sparowanie ich ze smartfonem użytkownika, bez konieczności zestawienia transmisji Bluetooth.

## Bluetooth LE, Smart

Bluetooth jest jednym ze starszych standardów technologii bezprzewodowej komunikacji krótkiego zasięgu między różnymi urządzeniami elektronicznymi. Jest to standard otwarty, opisany w specyfikacji IEEE 802.15.1. Specyfikacja ta obejmuje trzy klasy mocy nadawczej 1–3 o zasięgu 100, 10 oraz 1 metra w otwartej przestrzeni. Najczęściej spotykaną klasą jest klasa druga. Technologia korzysta z fal radiowych w paśmie ISM 2,4 GHz.



Rys. 2. Historia standardu Bluetooth  
Fig. 2. Bluetooth standard history

Nazwa technologii pochodzi od przydomka duńskiego króla Harald Sinozębego, który zjednoczył wiele plemion skandynawskich. Podobnie Bluetooth miał „zjednoczyć” różne urządzenia informatyczne jak np. komputery, drukarki, aparaty cyfrowe i telefony komórkowe.

Promocją wszystkich standardów grupy Bluetooth zajmuje się założone 1998 roku Bluetooth SIG (ang. *Special Interest Group*) – stowarzyszenie handlowe ponad 20 tysięcy firm członkowskich. Stowarzyszenie to jest organizacją non-profit, która nadzoruje rozwój standardów Bluetooth, licencjonowanie tej technologii oraz jej znaków towarowych.



Rys. 3. Logo standardu Bluetooth v4.0  
Fig. 3. Bluetooth v4.0 standard logo

Najnowsza oferta Bluetooth SIG to Bluetooth Low Energy (BLE, nazwa handlowa Bluetooth Smart) [10,11]. Jest to podzbiór najnowszej specyfikacji Bluetooth v4.0, oparty na oryginalnych kluczowych funkcjach Bluetooth, przeznaczony do nowych zastosowań w dziedzinach zdrowia, fitnessu, bezpieczeństwa, rozrywki domowej, a zwłaszcza dla Internetu Rzeczy (IoT, ang. *Internet of Things*) czyli jednoznacznie identyfikowalnych przedmiotów (w tym beaconów, ang. *beacons*), które mogą gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane za pośrednictwem sieci komputerowej. W porównaniu do klasycznej technologii Bluetooth, Bluetooth Smart zapewnia łączność bezprzewodową o bardzo małym poborze mocy.



Dane techniczne	Classic Bluetooth	Bluetooth Smart
Odległość/zasięg	100 m	>100 m
Szybkość transmisji radiowej	1–3 Mbit/s	1 Mbit/s
Przepustowość	0.7–2.1 Mbit/s	0.27 Mbit/s
Liczba urządzeń aktywnych	7	niezdefiniowana, zależna od implementacji
Kodowanie	56/128-bitów	128-bitowy AES
Czas opóźnienia (od stanu wyłączenia)	typowy 100 ms	6 ms
Minimalny czas do wysłania danych	100 ms	3 ms
Funkcja głosowa	tak	nie
Pobór mocy	1 W	0.01 to 0.5 W
Szczytowy pobór prądu	<30 mA	<15 mA
Wykrywanie usług	Tak	Tak

Zalety tego standardu to:

- pobór mocy, umożliwiający długookresowe (miesiące, lata) z baterii pastylkowej
- niewielki rozmiar i niski koszt
- kompatybilność z dużą liczbą istniejących na rynku telefonów komórkowych, tabletów i komputerów.

Bluetooth LE został pierwotnie wprowadzony pod nazwą Wibree w firmie Nokia w 2006 roku. Do głównego standardu został włączony w 2010 roku przyjęciem specyfikacji Bluetooth Version 4.0. Mobilne systemy operacyjne, w tym iOS, Android, Windows Phone i BlackBerry, ale też OS X, Linux i Windows 8, mają już przez producenta wbudowaną obsługę komunikacji radiowej Bluetooth Smart. Bluetooth SIG przewiduje, że w roku 2018 ponad 90% smartfonów będzie wspierał ten standard.

Bluetooth Smart działa w tym samym zakresie częstotliwości (2,400 GHz–2,4835 GHz, pasmo ISM) jak klasyczny Bluetooth, ale wykorzystuje inny zestaw kanałów: zamiast 79 kanałów o szerokości 1 MHz Bluetooth Smart używa 40 kanałów o podwójnej szerokości 2 MHz, z zastosowaniem modulacji GFSK z kluczowaniem częstotliwości i gaussovskim kształtowaniem sygnału (ang. Gaussian frequency-shift

keying), podobnie jak w poprzednich protokołach Bluetooth. Szybkość transmisji wynosi 1 Mbit/s, a maksymalna moc nadawania – 10 mW.

W ciągu ostatnich kilku lat szereg firm wprowadziło swoje zoptymalizowane chipsety Bluetooth Smart. Badania przeprowadzone przez firmę oprogramowania nawigacyjnego Aisle-labs, pokazało, że urządzenia peryferyjne np. takie jak sygnalizatory zbliżeniowe (w tym beacons) mogą działać do 2 lat będąc zasilane baterią pastylkową o pojemności 1000 mAh

Standard Bluetooth Smart wprowadzono w 2010 roku, a w latach następnych ogłoszono dodatki 2, 3, 4, których celem były ulepszenia wersji 4.0. W 2013 roku wprowadzono wersję 4.1 specyfikacji Bluetooth, która dodaje nowe funkcje z większym wsparciem dla LTE (ang. Long Term Evolution) i projektujących aplikacje. W grudniu 2014 wydano specyfikację Bluetooth 4.2, w której wprowadzono kilka kluczowych cech dla Internetu Rzeczy (IoT).

## Literatura

- [1] Bob Violino: A Summary of RFID Standards. Dokument pdf: <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?1335>, dokument html: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?1335>
- [2] Dipankar Sen, Prosenjit Sen and Anand Das. RFID For Energy and Utility Industries, PennWell, ISBN 10 1-59370-105-5, pp. 1–48.
- [3] Swati Kadlag. Integrating Embedded RFID Information Technology for Better Surveillance and Management of Productive business and logistics. Int. Journal of Research in Management, ISSN 2249-5908, Iss 3, Volume 3, May 2013 pp. 81–83.
- [4] <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct>
- [5] ISO/IEC 14443-1:2008 Karty identyfikacyjne – Zbliżeniowe układy scalone – Karty zbliżeniowe – Część 1: Dane techniczne (ang.).
- [6] ISO/IEC 14443-2:2001 Karty identyfikacyjne – Zbliżeniowe układy scalone – Karty zbliżeniowe – Część 2: Parametry łącza radiowego (ang.).
- [7] ISO/IEC 14443-3:2001 Karty identyfikacyjne – Zbliżeniowe układy scalone – Karty zbliżeniowe – Część 3: Wywołanie protokołu i zabezpieczenia (ang.).
- [8] ISO/IEC 14443-4:2008 Karty identyfikacyjne – Zbliżeniowe układy scalone – Karty zbliżeniowe – Część 4: Protokół transmisji danych (ang.).
- [9] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Mifare>
- [10] [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)
- [11] [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1278927](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1278927)

**Prenumeratę miesięcznika Elektronika na 2015 r.  
przyjmuje Zakład Kolportażu pod adresem  
e-mail: kolportaz@sigma-not.pl**