



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



„Technologie komunikacji bezprzewodowej” „Wprowadzenie do przedmiotu”

Prezentacja jest współfinansowana przez
Unię Europejską w ramach
Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej -
zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do
zatrudniania osób niepełnosprawnych”*

Prezentacja dystrybuowana jest bezpłatnie



Politechnika Łódzka

Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, tel. (042) 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl

Dariusz Makowski

**Katedra Mikroelektroniki i Techniki
Informatycznych**

tel. 631 2720

dmakow@dmcs.pl

<http://neo.dmcs.p.lodz.pl/tkb>



- Informacje ogólne
- Zaliczenie
- Materiały do wykładu





- ◆ Wprowadzenie do systemów łączności bezprzewodowej
- ◆ Telefonia komórkowa GSM, UMTS
- ◆ Komunikacja bezprzewodowa w systemach wbudowanych
- ◆ Standard komunikacji bezprzewodowej krótkiego zasięgu IEEE 802.15
- ◆ Sieci komputerowe LAN
- ◆ Bezprzewodowe sieci komputerowe WLAN
- ◆ Pozostałe systemy łączności bezprzewodowe
- ◆ Przyszłość systemów komunikacji bezprzewodowej





Literatura obowiązkowa:

- M. Spartack, „Sieci komputerowe. Księga eksperta”, Helion 1999
- W. R. Stevens, „Unix. Programowanie usług sieciowych”, tom 1, tom 2, WNT, Warszawa 2001
- W. Hołubowicz, P. Płóciennik, „Cyfrowe Systemy telefonii komórkowej”, Holkom 2003
- Robert Morrow, „Bluetooth Operations and Use”, McGraw-Hill 2002

Literatura uzupełniająca:

- W.C.Y. Lee, „Mobile Communications Design Fundamentals”, Willey Communications, 1993
- T. Anttalainen, „Introduction to Telecommunications Network Engineering”, Espoo-Vantaa Institute of Technology, ArtechHouse, 2000
- ETSI GSM Standards, 3GPP Butterworth-Heinemann, 1996



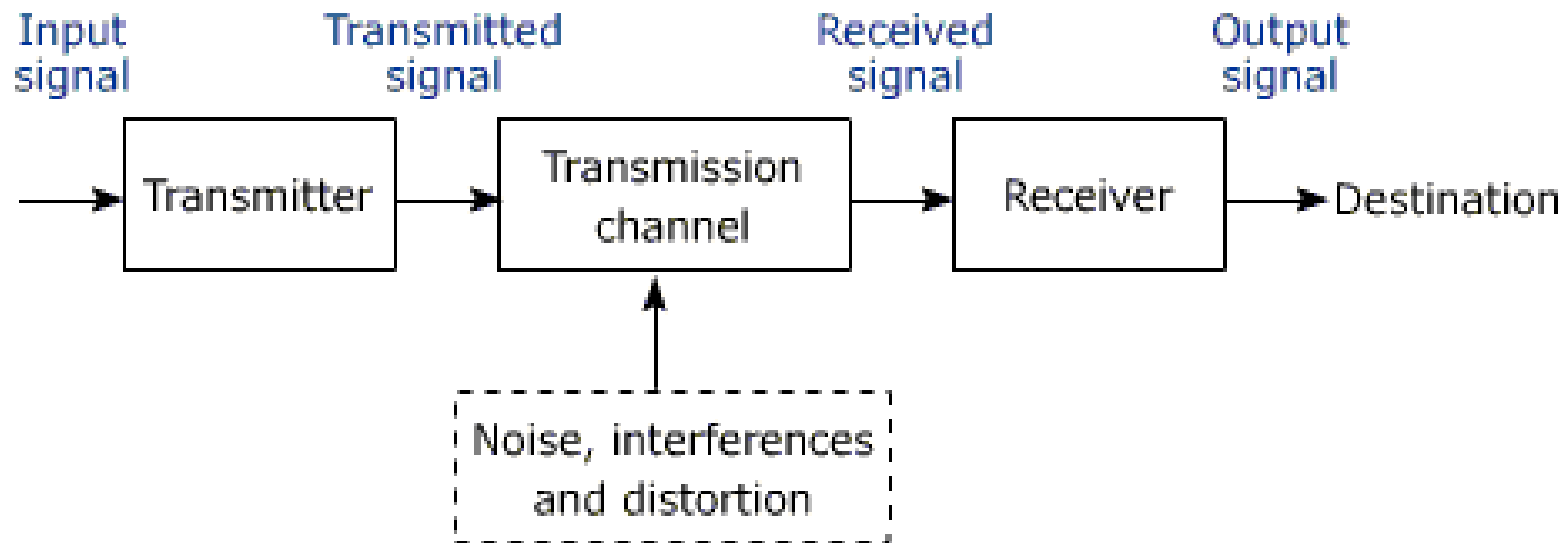
Wprowadzenie do systemów łączności bezprzewodowej

Definicje podstawowe

- **Transmisja** – proces przesyłania wiadomości (danych) pomiędzy nadawcą (nadajnikiem), a adresatem wiadomości (odbiorcą) określoną metodą, zrozumiałą dla obu (kodowanie) i po określonej drodze (tzw. medium transmisyjne).
- **Medium transmisyjne** jest nośnikiem informacji używanym do transmisji sygnałów w telekomunikacji. Możliwości transmisji zależą od parametrów użytego medium. Wyróżnia się media przewodowe i bezprzewodowe.
- **Telekomunikacja** to dziedzina techniki i nauki zajmująca się transmisją informacji na odległość. Obejmuje również sposoby przetwarzania i kodowania informacji, sprzęt telekomunikacyjny, teorie propagacji fal radiowych, sieci telekomunikacyjne i wiele innych zagadnień.

Tor nadawczo-odbiorczy

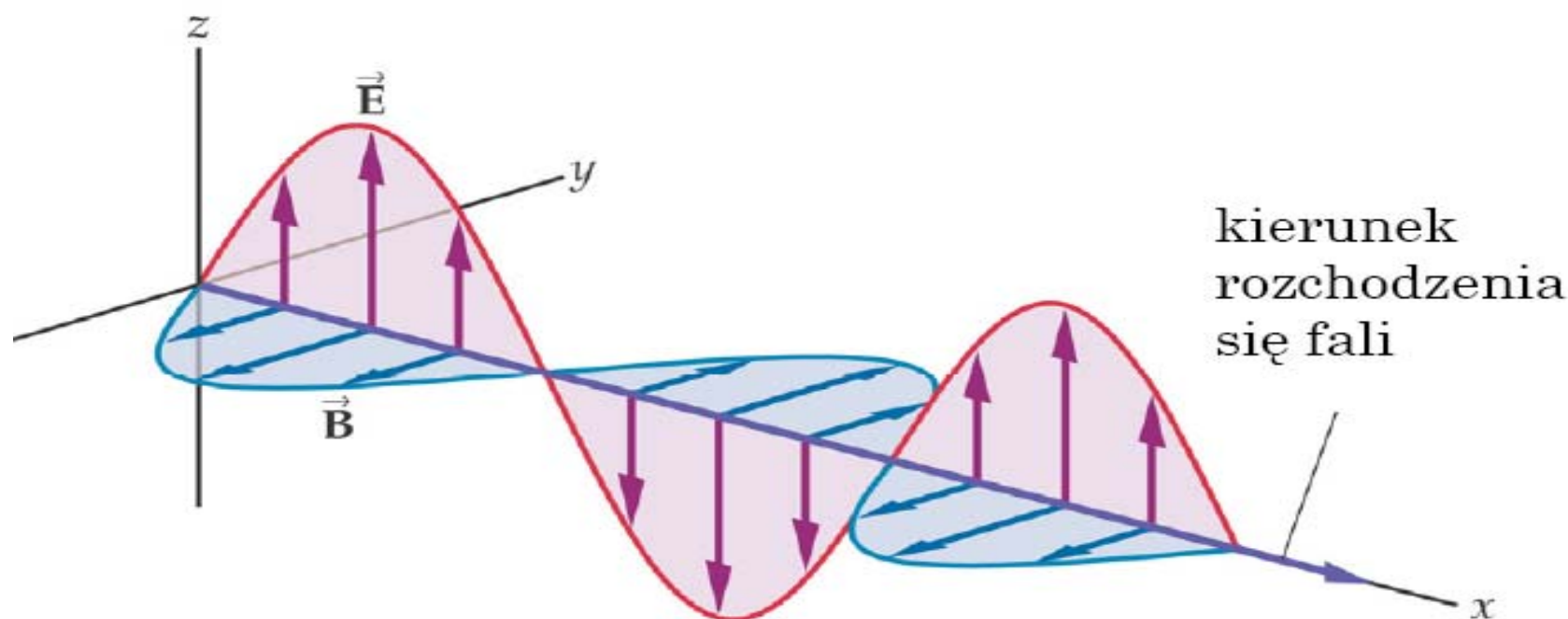
- Tor nadawczo-odbiorczy zbudowany jest z nadajnika, medium transmisyjnego oraz odbiornika.
- Sygnał nadawczy doprowadzony jest do nadajnika (kodowanie, modulacja, wzmacnienie), natomiast sygnał odbiorczy pochodzi od odbiornika, który wykonuje operacje podobne do nadajnika mające na celu odtworzenie sygnału oryginalnego (wzmocnienie, demodulacja, dekodowanie).
- Podczas analizy transmisji należy uwzględnić obecność w medium transmisyjnym sygnałów zakłócających (szum, zakłócenia, interferencje).



Transmisja danych

- Kanał komunikacyjny – medium pozwalające na transmisję danych pomiędzy dwoma uczestnikami wymieniającymi informacje (nadawca-odbiorca).
- Ze względu na rodzaj wykorzystywanego medium możemy rozróżnić transmisję:
 - Przewodową (przewód miedziany lub kabel optyczny),
 - Bezprzewodową – transmisja przy wykorzystaniu fal radiowych lub świetlnych.
- Ze względu na charakter transmisji możemy wyróżnić transmisję typu:
 - Half-duplex – dane przesyłane w jednym kierunku w danym czasie,
 - Full-duplex – dane przesyłane w obu kierunkach w danym czasie.

- **Fala elektromagnetyczna (radiowa)** – rozchodzące się zaburzenie pola elektrycznego oraz skojarzonego z nim pola magnetycznego występujące w próżni lub innym ośrodku (eterze).



Długość fali a częstotliwość

- **Częstotliwość fali f** określa liczbę pełnych zmian pola elektrycznego i magnetycznego przypadających na jednostkę czasu ($t = 1\text{s}$) wyrażona w hecach [Hz].
- **Długość fali λ** - najmniejsza odległość pomiędzy dwoma punktami pola elektrycznego lub magnetycznego o tej samej fazie drgań wyrażona w metrach.
- **Okres zmienności fali T** – czas po jakim następuje powrót do tej samej fazy fali pola elektrycznego lub magnetycznego, jednostka sekunda [s].

$$\lambda = c/f$$

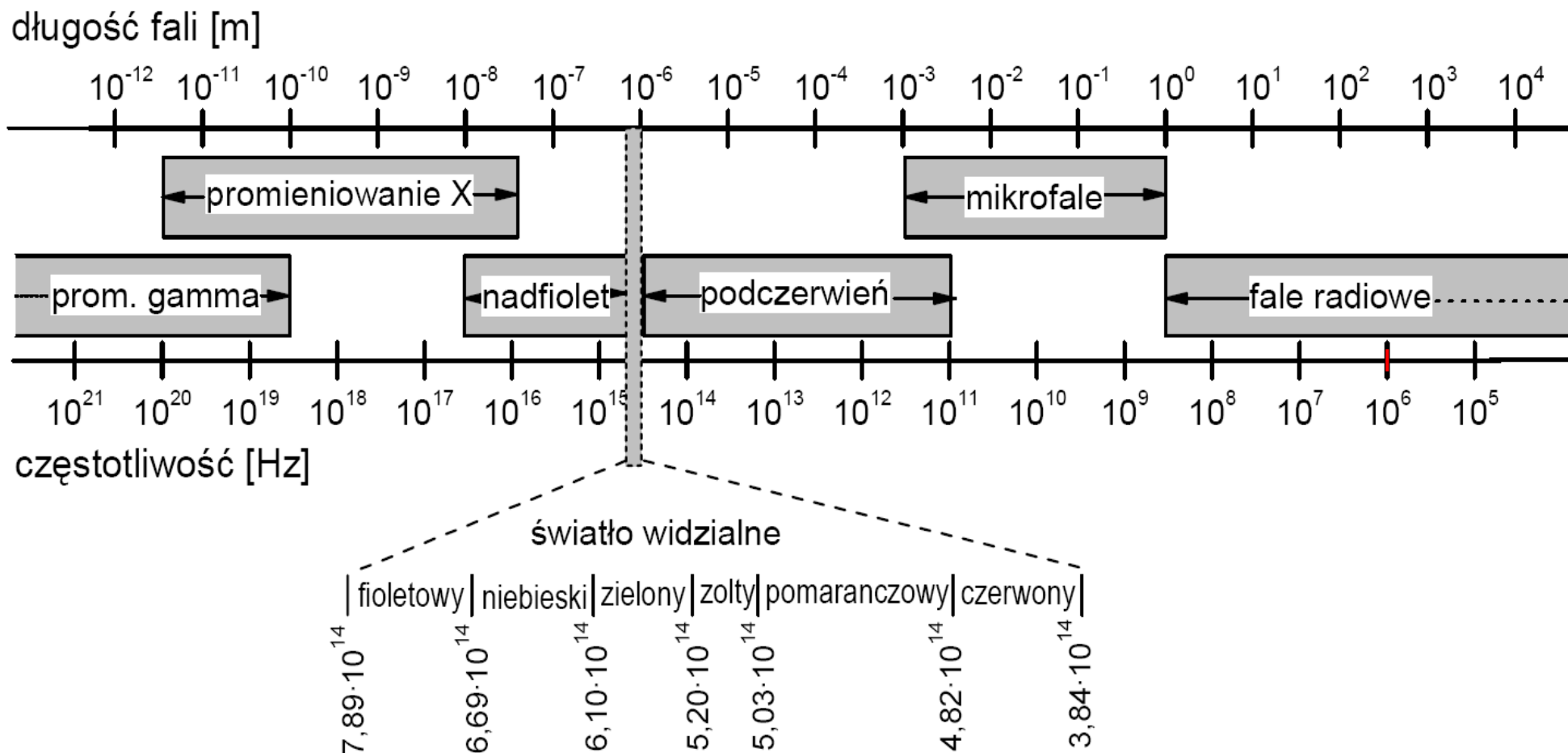
λ – długość fali,

c - prędkość światła

f – częstotliwość

$$f = 1/T$$

T – okres fali





Łączność bezprzewodowa (1)

- Możliwości wykorzystania fal:
 - ◆ Fale dźwiękowe,
 - ◆ Fale elektromagnetyczne:
 - Podczerwień (IR),
 - Światło widzialne,
 - Ultrafiolet (UV),
 - Częstotliwości radiowe (RF).



Łączność bezprzewodowa (2)

- Zalety:
 - ◆ Brak okablowania.
 - ◆ Duża mobilność.
 - ◆ Elastyczność.
- Wady:
 - Ograniczona przepustowość (szerokość pasma).
 - Występowanie zakłóceń i interferencji.
 - Zależność jakości transmisji od warunków pogodowych.
 - Często pasmo współdzielone z urządzeniami zakłócającymi (np. kuchenki mikrofalowe).
 - Bezpieczeństwo.



Częstotliwości radiowe

Ze względu na zakres częstotliwości fale radiowe możemy podzielić na:

- Bardzo długie <15 kHz,
- Długie 15 - 100 kHz,
- Średnie 100 - 1500 kHz,
- Pośrednie 1.5 - 3 MHz,
- Krótkie 3 - 30 MHz,
- Ultrakrótkie 30 - 300 MHz,
- Mikrofale >300 MHz.



Zakresy częstotliwości radiowych

- Międzynarodowa organizacja ITU (ang. International Telecommunication Union) wydzieliła następujące zakresy częstotliwości radiowych:
 - VLF 3 - 30 kHz,
 - LF 30 - 300 kHz,
 - MF 300 - 3000 kHz,
 - HF 3 - 30 MHz,
 - VHF 30 - 300 MHz,
 - UHF 300 - 3000 MHz,
 - SHF 3 - 30 GHz,
 - EHF 30 - 300 GHz,
 - 300 - 3000 GHz,

Pasma częstotliwości ISM (UE) (1)

- Pasma częstotliwości określone w ramach ISM były pierwotnie przeznaczone wyłącznie do zastosowania w przemyśle, nauce oraz medycynie (ang. Industrial, Scientific, Medical).
- W trakcie rozwoju komunikacji bezprzewodowej zdecydowano się udostępnić powyższe pasma do komunikacji publicznej (komunikacja cywilna - CB, sieci komputerowe, urządzenia zdalnego sterowania, itd...).
- Urządzenia ISM muszą tolerować zakłócenia występujące w pasmie ISM (zakłócenia generowane przez urządzenie licencjonowane i nielicencjonowane).

Pasma częstotliwości ISM (UE) (2)

Frequency range [Hz]	Center frequency [Hz]	Availability
6.765–6.795 MHz	6.780 MHz	Subject to local acceptance
13.553–13.567 MHz	13.560 MHz	
26.957–27.283 MHz	27.120 MHz	
40.66–40.70 MHz	40.68 MHz	
433.05–434.79 MHz	433.92 MHz	
856–882 MHz	869 MHz	
2.400–2.500 GHz	2.450 GHz	
5.725–5.875 GHz	5.800 GHz	
24–24.25 GHz	24.125 GHz	
61–61.5 GHz	61.25 GHz	Subject to local acceptance
122–123 GHz	122.5 GHz	Subject to local acceptance
244–246 GHz	245 GHz	Subject to local acceptance

Klasyfikacja zakresów dostępnych częstotliwości (1)

- Pasma częstotliwości 0-135 kHz.

Zakres ten jest szeroko wykorzystywany przez wielu użytkowników, ponieważ nie został zastrzeżony jako pasmo ISM. Warunki propagacji fali elektromagnetycznej w tym zakresie określanej jako fale długie pozwalają na transmisję sygnałów w obszarze o promieniu ponad 1000 km przy niskich nakładach finansowych. W zakresie tym pracują również systemy wykorzystujące oprócz przestrzeni radiowej także linie energetyczne niskiego napięcia.

- Pasma częstotliwości 6,78 MHz.

Zakres 6,765-6,795 MHz zaliczany jest do częstotliwości fal krótkich. Warunki propagacji fali elektromagnetycznej w tym zakresie pozwalają na transmisję sygnałów w obszarze o promieniu kilkuset kilometrów podczas dnia. W godzinach nocnych możliwy jest do uzyskania przekaz transkontynentalny. Zakresy częstotliwości wykorzystuje się szeroko do nadawania audycji radiowych, przekazu prognozy pogody, warunków panujących na morzu, informacji przekazywanych przez agencje informacyjne.

- Pasma częstotliwości 13,56 MHz.

Zakres 13,553-13,567 MHz znajduje się w środku przedziału określanego jako fale krótkie. Warunki propagacji dla tego zakresu pozwalają na transmisję transkontynentalną podczas dnia. Zakres przeważnie wykorzystywany do świadczenia różnego rodzaju usług radiowych, przekaz informacji pomiędzy agencjami prasowymi i w telekomunikacji. Innymi systemami pracującymi w tym zakresie to RFID, systemy zdalnego sterowania, zdalnie sterowane modele, pagery.

Klasyfikacja zakresów dostępnych częstotliwości (2)

■ Pasmo częstotliwości 27,125 MHz.

Zakres 26,565-27,405 MHz jest przydzielony dla radia CB w całej Europie, USA i Kanadzie. Niezarejestrowane i nieopłacone systemy radiowe mogą nadawać z mocą do 4 Watów i tym samym uzyskiwać połączenie na odległość ponad 30 km. Zakres ISM pomiędzy 26,957 a 27,283 MHz jest ulokowany w środku pasma CB. Zastosowanie: RFID, aplikacje medyczne, spawalnictwo wysokoczęstotliwościowe, zdalnie sterowanie modeli oraz pagery.

■ Pasmo częstotliwości 40,680 MHz.

Zakres 40,660-40,700 MHz jest ulokowany przy końcu zakresu pasma VHF. Fale w tym zakresie są propagowane po ziemi, więc ich tłumienie przez budynki i inne obiekty nie odgrywa istotnego znaczenia. Zastosowanie: RFID, systemy radiowe, np. w leśnictwie, utrzymaniu dróg i autostrad, telewizji, systemy telemetryczne oraz systemy zdalnego sterowania.

■ Pasmo częstotliwości 433,920 MHz.

Zakres 430,000-440,000 MHz przeznaczony jest do usług radia amatorskiego. Amatorzy radiowi wykorzystują ten zakres do transmisji głosu i danych oraz do przekazywania audycji przez stacje przekaźnikowe. W zależności od stosowanej mocy, możliwy jest przekaz na odległość od 30 do 300 kilometrów. Zastosowanie: RFID, nadajniki telemetryczne (np. bezprzewodowe termometry), interkomy głosowe, słuchawki bezprzewodowe, walkie-talkie krótkiego zasięgu, systemy zdalnego dostępu (np. centralne blokowanie zamków i zapłonu w pojazdach) i wiele innych aplikacji zostało wtłoczonych w przedstawiane pasmo.

Klasyfikacja zakresów dostępnych częstotliwości (3)

- Pasma częstotliwości 869,9 MHz

Zakres 868-870 MHz został przekazany w Europie w roku 1997. Zastosowanie: urządzenia SRD (Short Range Devices), urządzenie podobne do stosowanych dla częst. 433,920 MHz.

- Pasma częstotliwości 2,45 GHz

Zakres 2,400-2,4835 GHz częściowo pokrywa się z zakresami radia amatorskiego oraz systemów radiolokacyjnych. Warunki propagacji tego zakresu powodują, że jakiegokolwiek przeszkody, np. budynki powodują silne odbicia i tłumienia propagowanych fal. Zakres tych częstotliwości jest również wykorzystywany w telemetrii oraz bezprzewodowych sieciach komputerowych, systemach wbudowanych.

- Pasma częstotliwości 5,8 GHz

Zakres 5,725-5,875 GHz częściowo pokrywa się z zakresami radia amatorskiego oraz systemów radiolokacyjnych. Zastosowanie: czujniki ruchu, stosowane przed drzwiami (w sklepach i marketach), lub automatyczne sterownie.

- Pasma częstotliwości 24,125 GHz

Zakres 24,00-24,25 GHz częściowo pokrywa się z zakresami radia amatorskiego oraz systemów radiolokacyjnych, jak również z naziemnymi usługami dostarczania danych poprzez satelitę. Typowymi aplikacjami wykorzystującymi te częstotliwości są czujniki ruchu, ale także kierunkowe systemy radiowej transmisji danych.

Uwarunkowania prawne

- Możliwość użytkowania medium w postaci fal radiowych kontrolowana jest przez regulacje prawne.
- Ze względu na charakter dostępu do medium możemy wyróżnić:
 - ◆ Pasma częstotliwości wymagające uzyskania licencji,
 - ◆ Pasma częstotliwości o dostępie swobodnym ISM (ang. Industrial, Scientific, Medical).
- Korzystanie z pasma ISM nie wymaga posiadania licencji (brak opłat) jednak podczas transmisji danych należy spełnić wymagania określone w odpowiednich regulacjach prawnych (UE):
 - ◆ Międzynarodowe akty prawne:
 - Konstytucja i Konwencja Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (Genewa 1992),
 - Regulamin Radiokomunikacyjny z 1992 roku
 - ◆ Krajowe akty prawne:
 - Prawo Telekomunikacyjne z 2000 roku,
 - Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 2002 roku,
 - Rozporządzenie Rady Ministrów z 2003 roku.

Pasmo częstotliwości 2,4 GHz

- Pasmo częstotliwości wykorzystywane jest przez następujące urządzenia:
 - Telefony bezprzewodowe (DECT),
 - Sieci komputerowe WiFi,
 - Standard Bluetooth,
 - Standard ZigBee,
 - Detektory ruchu stosowane w alarmach samochodowych,
 - Kuchenki mikrofalowe,
 - Urządzenia monitorujące, kamery wideo,
 - itd....

Efektywna moc izotropowa

- **EIRP (ang. Effective Isotropical Radiated Power)** – efektywna moc wypromieniowywana z teoretycznej anteny izotropowej uwzględniająca zysk anteny oraz straty w torze nadawczym (tłumienie kabla, złącz). Moc EIRP jest zwykle podawana w odniesieniu do mocy 1 mW (jednostka dbm) lub 1 W (jednostka dbW).

$$\text{EIRP dbm} = 10 * \log_{10} (\text{Pnad} / 1\text{mW})$$

$$\text{EIRP dbW} = 10 * \log_{10} (\text{Pnad} / 1\text{W})$$



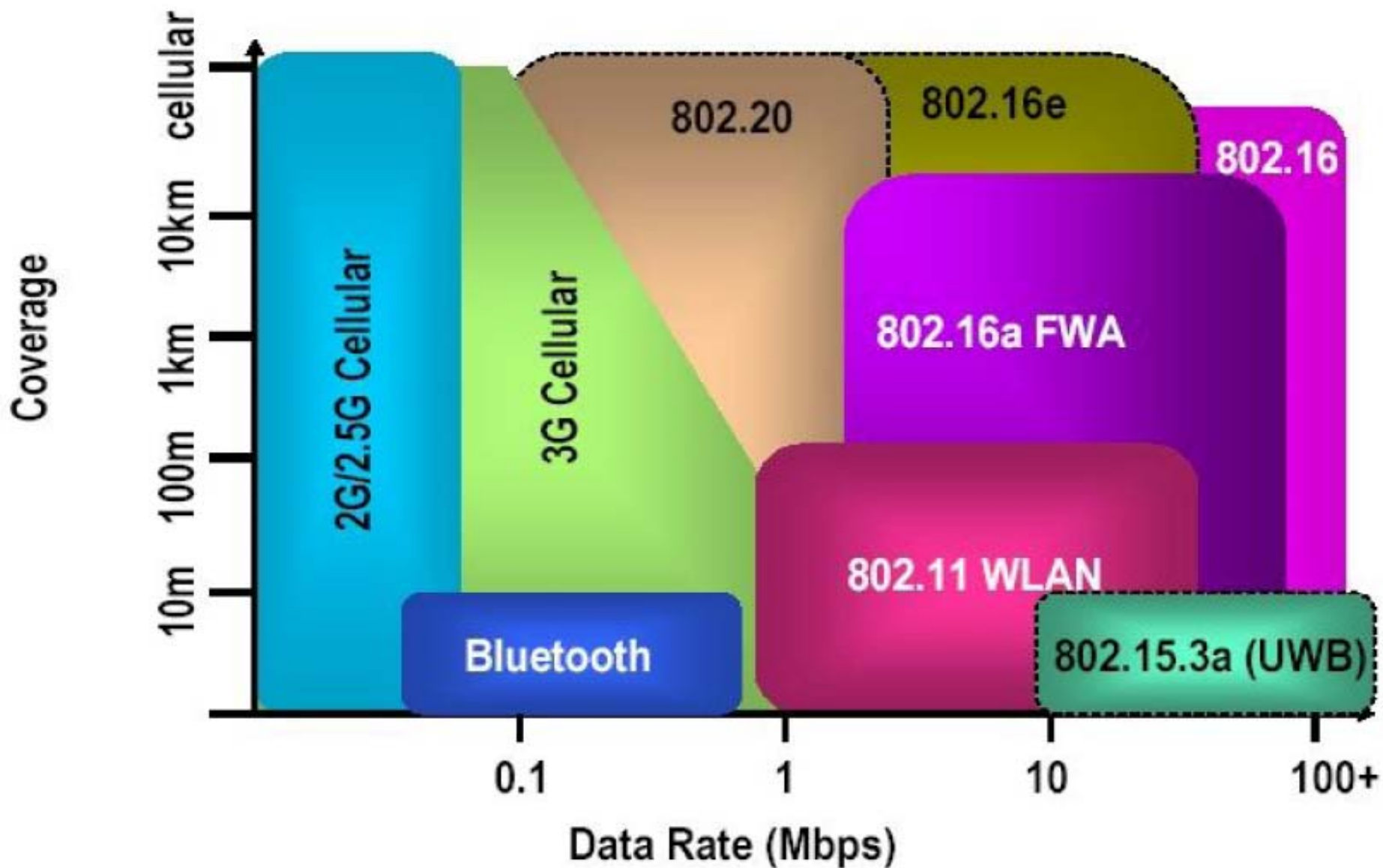
Uwarunkowania prawne (2)

- W paśmie 2,4 GHz można bez zezwolenia użytkować urządzenia o zastępczej mocy izotropowej EIRP mniejszej niż 100 mW (20 dBm).
- W paśmie 5 GHz (5,15-5,35 GHz) można bez zezwolenia użytkować urządzenia o zastępczej mocy izotropowej EIRP mniejszej niż 200 mW (23 dBm) w pomieszczeniach.
- W paśmie 5 GHz (5,47-5,72 GHz) można bez zezwolenia użytkować urządzenia o zastępczej mocy izotropowej EIRP mniejszej niż 1 W (30 dBm).

Komunikacja bezprzewodowa

- Transmisja w paśmie promieniowania podczerwonego IrDA (Infrared Data Association),
- Transmisja z wykorzystaniem fal radiowych:
 - Bezprzewodowe sieci LAN (WLAN – Wireless Local Area Network), standardy z rodziny IEEE 802.11x,
 - Standard komunikacji bezprzewodowej krótkiego zasięgu IEEE 802.15,
 - Sieci WWAN (Wireless Wide Area Network) – transmisja danych na odległości od 100 m do kilkunastu km.
 - Telefonia komórkowa (GSM, UMTS),
 - Systemy wbudowane,
 - ◆ Systemy zdalnego sterowania,
 - ◆ Rozproszone systemy pomiarowe.

Porównanie wybranych standardów transmisji bezprzewodowej



Porównanie parametrów transmisji dla przykładowych usług

Porównanie parametrów transmisji mających bezpośredni wpływ na jakość usługi

klasa QoS	usługa	przepływność	opóźnienie	zmiana opóźnień	ramkowa stopa błędów
konwersacyjna (<i>conversational</i>)	transmisja mowy	4-25 kbit/s	<150 ms	<1ms	< 3% FER
	wideofonia	32-384 kbit/s	<150 ms		<1 % FER
	telemetria	<28,8 kbit/s	<250 ms		~0 % FER
	gry	<1 kbit/s	<250 ms	<1s	<3 % FER
interaktywna (<i>interactive</i>)	dostęp do WWW		4s/stronę		
	e-handel		4s		<0 % FER
strumieniowa (<i>streaming</i>)	audio	32-384 kbit/s	<10s	<1ms	<1 % FER
	wideo	32-384 kbit/s	<10s		<1 % FER
transmisja „w tle” (<i>background</i>)	monitoring	<28,8 kbit/s	<10s		~0 % FER
	e-mail				

Techniki umożliwiające realizację wielodostępu

- Techniki wielodostępu umożliwiają wykorzystanie tego samego pasma transmisyjnego (zakresu częstotliwości) przez wielu użytkowników.
- Wyróżniamy następujące metody realizacji wielodostępu:
 - ◆ Wielodostęp z podziałem czasowym TDMA (ang. Time Division Multiple Access).
 - ◆ Wielodostęp z podziałem częstotliwościowym FDMA (Frequency Division Multiple Access).
 - ◆ Wielodostęp wykorzystujący bezpośrednio rozpraszanie widma CDMA (ang. Code Division Multiple Access).

Wielodostęp z podziałem częstotliwościowym FDMA (1)

- FDMA (ang. Frequency-Division Multiple Access) - wielodostęp z podziałem częstotliwości.
- Dostępne pasmo częstotliwości podzielone jest na kanały o określonej szerokości.
- System współdzieli medium poprzez przydział odpowiednich kanałów.
- Ten rodzaj wielodostępu stosowany był w pierwszych generacjach analogowych telefonów komórkowych. Znajduje zastosowanie wśród systemów szerokopasmowych.
- Umożliwia łatwą realizację transmisji full-duplex.

Wielodostęp z podziałem częstotliwościowym FDMA (2)

Zalety:

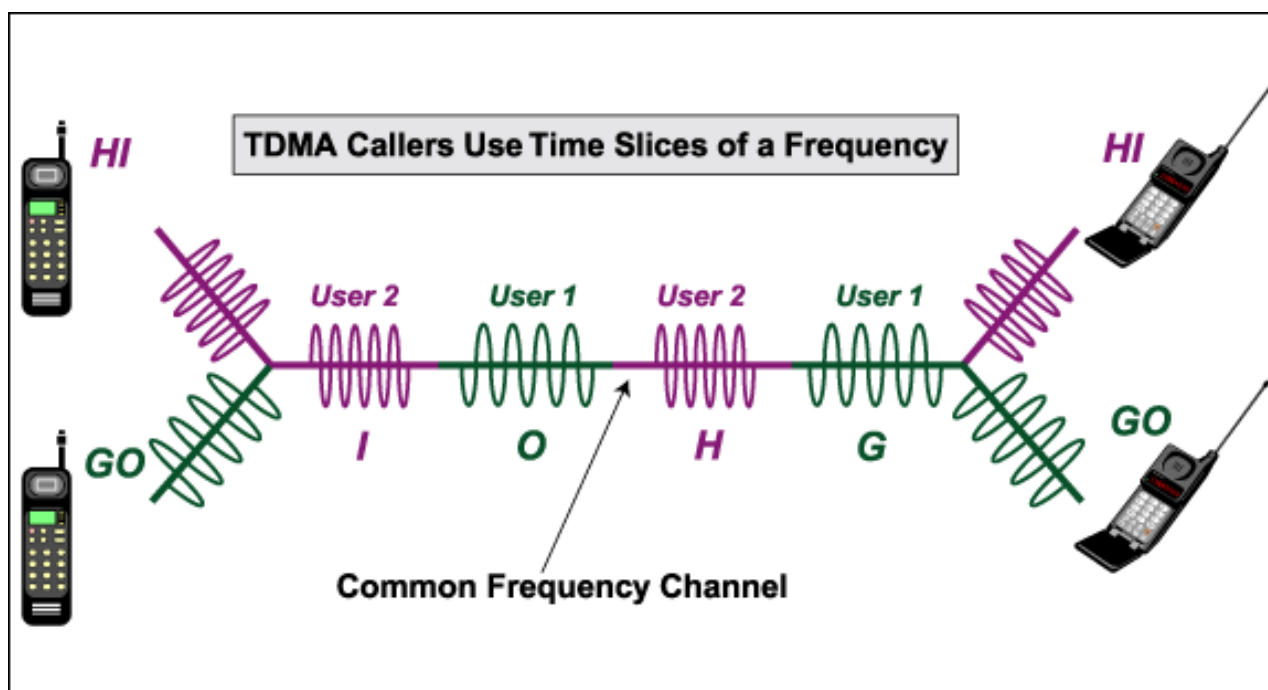
- Możliwość realizacji transmisji full-duplex.
- Możliwość realizacji ciągłej transmisji – uproszczona budowa toru radiowego.
- Brak zakłóceń pomiędzy sygnałami nadawania i odbioru.
- Prostsze oprogramowanie wspierające warstwę MAC (nie jest konieczna synchronizacja czasowa).
- Zaprojektowane dla symetrycznego ruchu.

Wady:

- Konieczna separacja częstotliwościowa nadawania i odbioru (strome kosztowne filtry).
- Występowanie okresów ochronnych pomiędzy wydzielonymi kanałami (spadek współczynnika wykorzystania pasma).
- Kanały wąskopasmowe, które sprzyjają występowaniu zaników wielodrogowych.

Wielodostęp z podziałem czasowym TDMA (1)

- Technologia wielodostępu z podziałem czasowym umożliwia realizację transmisji half-duplex (transmisja danych w jedną stronę w danym momencie czasowym).
- Transmisja danych następuje w momencie przydzielenia użytkownikowi kanału transmisyjnego na określony czas – tzw. szczelinach czasowych.



Wielodostęp z podziałem czasowym TDMA (2)

- Do transmisji pojedynczego pakietu danych może okazać się potrzebne przydzielenie kilku szczelin czasowych.
- Szczelina czasowa jest zwykle przydzielana użytkownikowi cyklicznie. Istnieje również możliwość implementacji dodatkowych szczelin czasowych przypisanych do różnych kanałów transmisyjnych.
- TDMA jest podstawowym trybem transmisji w pasmach nielicencjonowanych (2.4 GHz, 5.7 GHz).
- TDMA wykorzystywana jest przez następujące standardy: GSM, UMTS, Wimax, DECT, Bluetooth, itd...

Wielodostęp z podziałem czasowym TDMA (3)

Zalety:

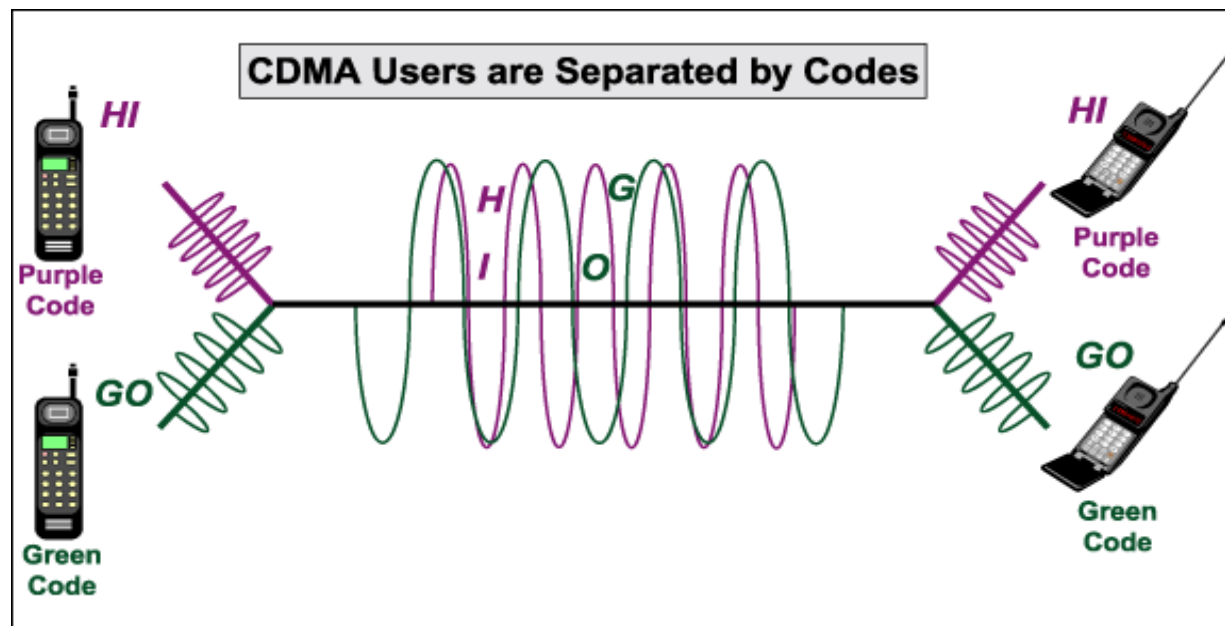
- Pozwala na dynamiczny podział pojedynczego pasma częstotliwości.
- Odbiornik znając czas wystąpienia swojej szczeliny czasowej może przechodzić w stan uśpienia (oszczędność energii).
- W przypadku sieci komórkowych łatwiej przeprowadzić przełączenie stacji ruchomej między stacjami bazowymi.

Wady:

- Brak możliwości nadawania odbioru w tym samym czasie.
- Redukcja przepustowości.
- Bardziej złożona konstrukcja warstwy MAC (konieczna synchronizacja szczelin poszczególnych użytkowników w każdym kierunku transmisji)
- Mniejsza możliwa liczba użytkowników na danym obszarze niż w FDMA
- Obecnie wykorzystuje się połączenie obu technologii (FDMA, TDMA).

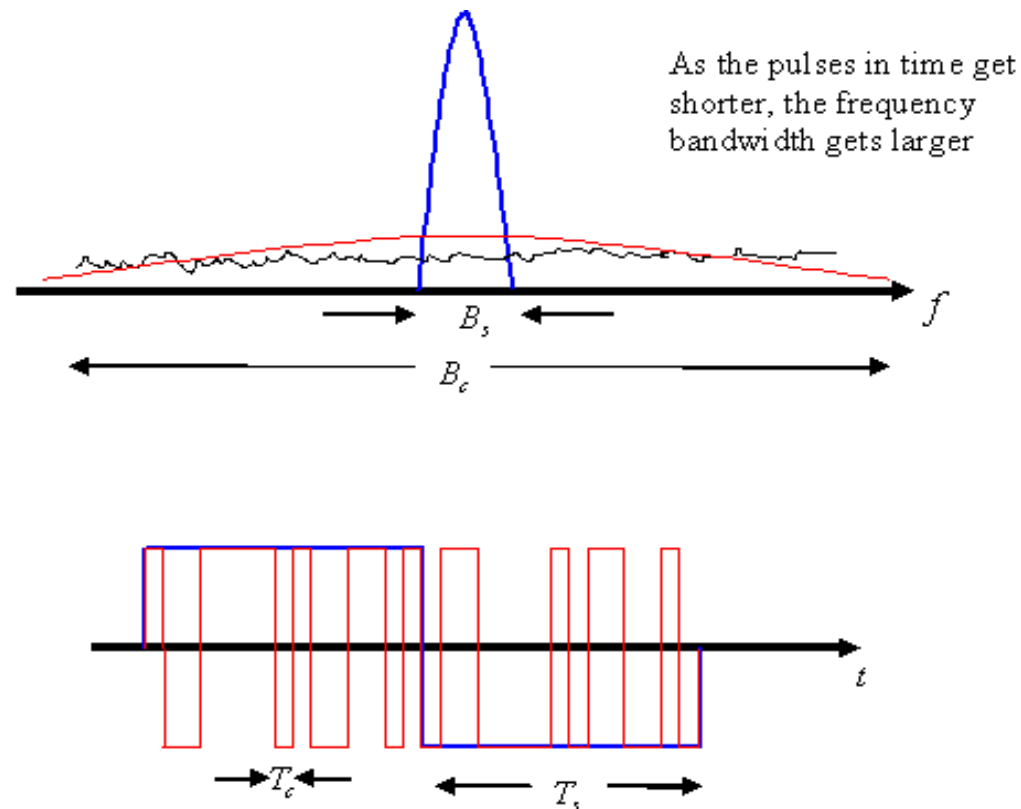
Bezpośrednie rozpraszanie widma CDMA

- CDMA (ang. Code Division Multiple Access) – metoda dostępu do medium transmisyjnego polegająca na przypisaniu poszczególnym użytkownikom korzystającym z tego samego kanału do przesyłania danych, sekwencji rozpraszających
- Odbiornik jednoznacznie identyfikuje przeznaczoną dla niego transmisję na podstawie użytej sekwencji rozpraszającej (sygnał użyteczny wraca do oryginalnego pasma, szумы i zakłócenia zostają rozproszone).



Bezpośrednie rozpraszanie widma CDMA

- Transmisja z rozpraszaniem ma charakterystykę podobną do sygnałów szumowych (właściwości statystyczne powinny być zbliżone do szumu białego).
- CDMA wykorzystywana jest w telefonii komórkowej, niektóre standardy drugiej i trzeciej generacji wykorzystują ją jako metodę dostępu do sieci.



Łączność w zakresie promieniowania świetlnego

■ Zalety:

- ◆ Brak konieczności uzyskania licencji.
- ◆ Możliwość uzyskania łączności do 2 km.
- ◆ Możliwość transmisji przy wykorzystaniu promieniowania:
 - Podczerwonego (IR).
 - Widzialnego.
 - Ultrafioletowego.

■ Wady:

- ◆ Podatność na zakłócenia atmosferyczne.
- ◆ Łączność kierunkowa.
- ◆ Niewielki zasięg.

Łączność w paśmie podczerwieni

- Standard bezprzewodowej transmisji danych na odległość mniejszą niż 1 m,
- Standard rozróżnia trzy rodzaje transmisji:
 - ◆ IrDA-D – standard służący do transmisji danych. Zaprojektowany z myślą o eliminacji przewodów. Dostępne szybkości transmisji danych od 115 kbps do 4 Mbps (16 Mbps).
 - ◆ IrDA-C – dwukierunkowy standard służący do sterownia (przesyłanie komend sterujących i sygnałów). Wykorzystywany przez urządzenia peryferyjne komputerów (mysz, klawiatura, piloty zdalnego sterowania, PDA, komputery przenośne).
 - ◆ AIR – standard umożliwiający uzyskanie połączenia wielodostępowego (standardy IrDA-D/C umożliwiają uzyskanie połączenia punkt-punkt). Szybkość transmisji zależy od odległości na jaką przesyłane są dane, np. 250 kbps ($l < 8$ m) oraz 4 Mbit ($l < 4$ m). Zastosowanie: współdzielenie dostępu do różnych urządzeń peryferyjnych.
 - ◆ Standard transmisji danych IEEE 802.11 (WiFi) również umożliwia transmisję danych w paśmie podczerwieni.



- Technologia bezprzewodowej komunikacji krótkiego. Zaprojektowany jako tani interfejs pozwalający na bezprzewodowe podłączenie urządzeń peryferyjnych do telefonów komórkowych i komputerów, np. klawiatura, komputer, laptop, palmtop.
- Jest to darmowy standard opisany w specyfikacji IEEE 802.15.1. Jego specyfikacja 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.
- Maksymalna szybkość transmisji danych 1 Mbps. W kanale można utworzyć 3 połączenia o przepustowości 64 kbps (transmisja asynchroniczna) i jeden kanał do transmisji danych (transmisja masowa) z maksymalną szybkością 721 kbps.

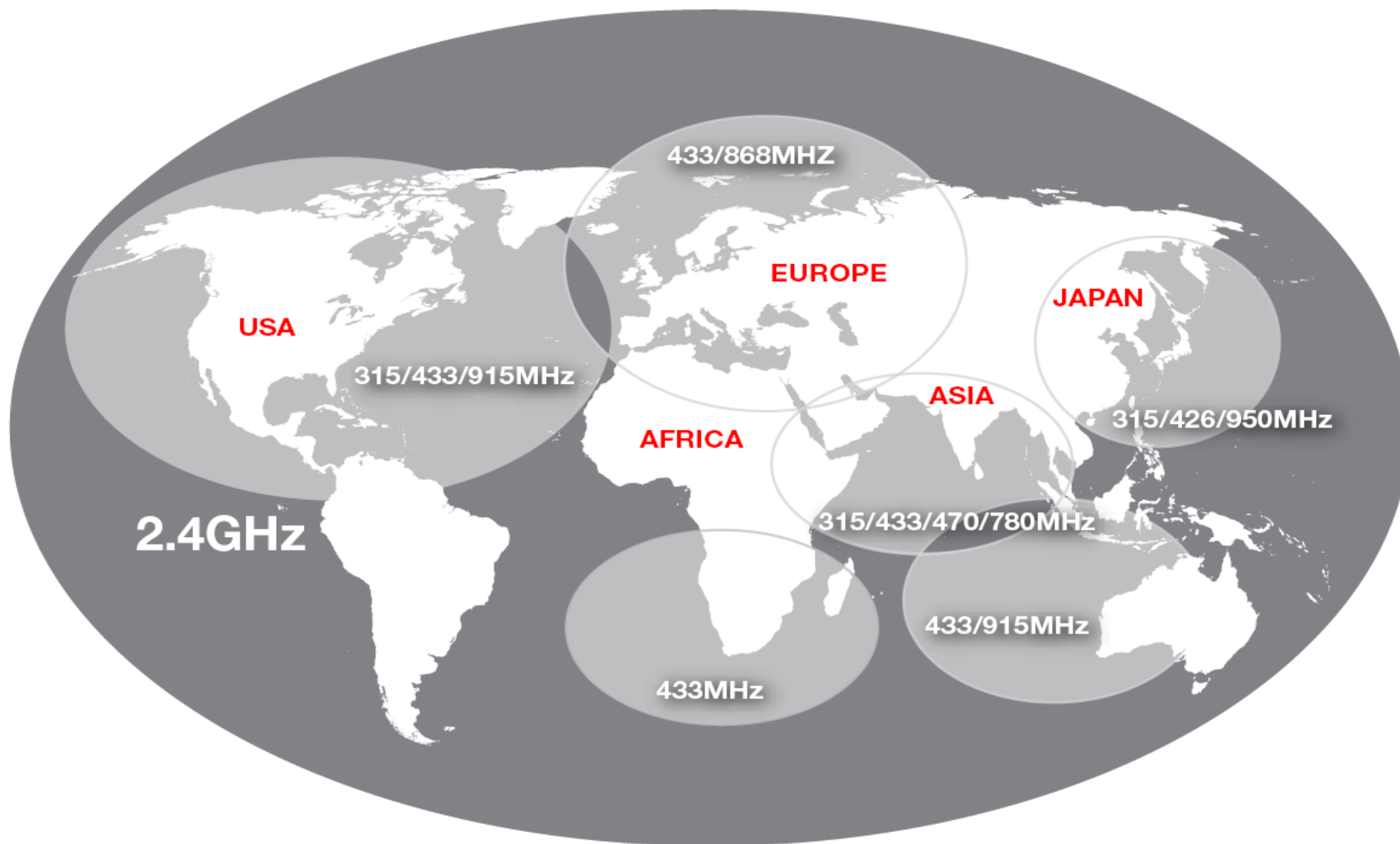


Komunikacja bezprzewodowa w systemach wbudowanych

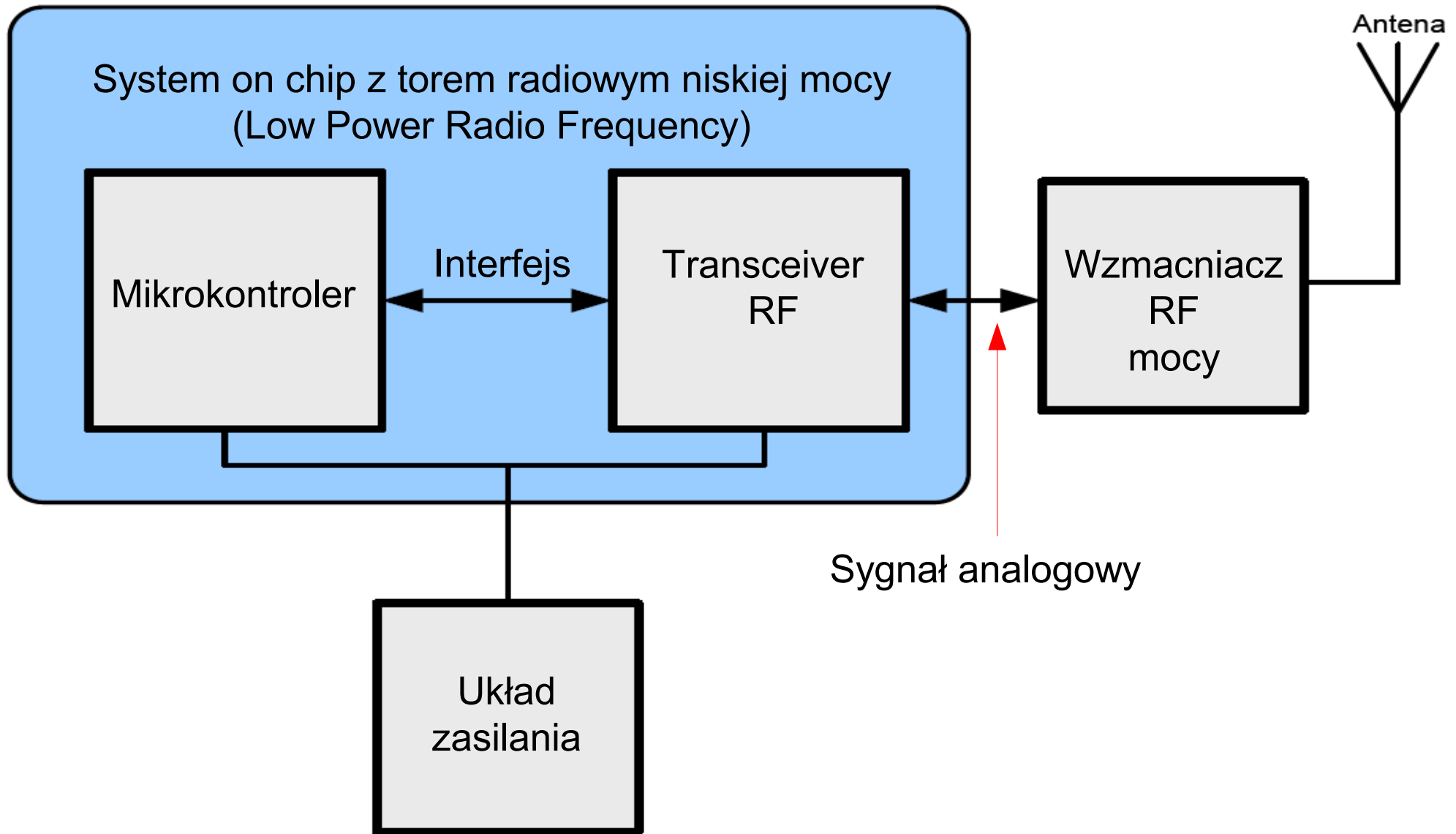
Systemy wbudowane – bezprzewodowa transmisja danych

- Bezprzewodowa transmisja danych w systemach wbudowanych (mobilnych),
- Transmisji danych cyfrowych:
 - Low speed (1 – 1000 kbit),
 - High speed >1 Mbit,
- Cyfrowo-analogowy tor nadawczo-odbiorczy,
- Cyfrowy syntezer częstotliwości (zmiana kanału),
- Rozbudowany system zarządzania energią.

Nielicencjonowane pasma częstotliwości (ISI)

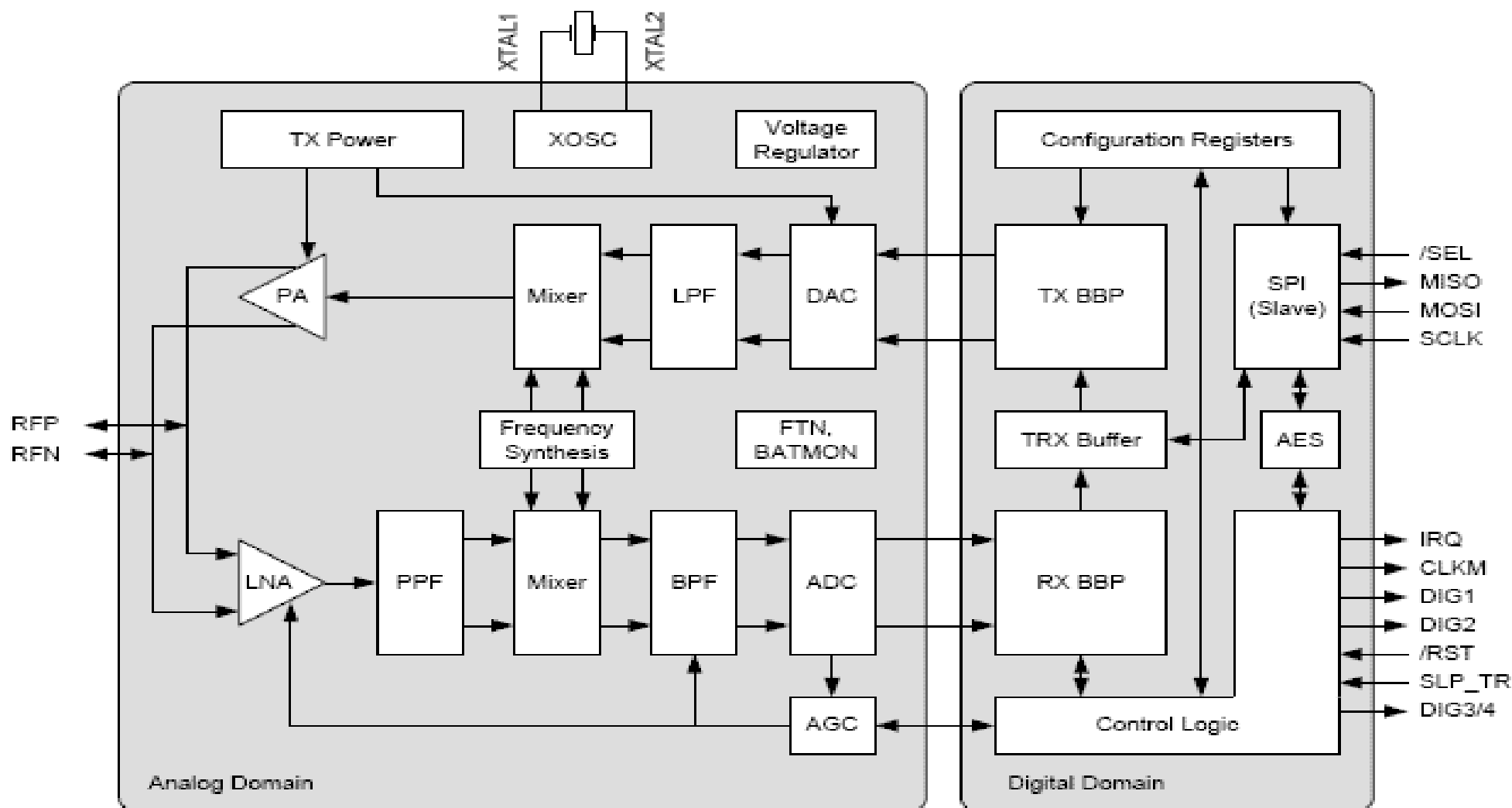


System wbudowany z torem radiowym



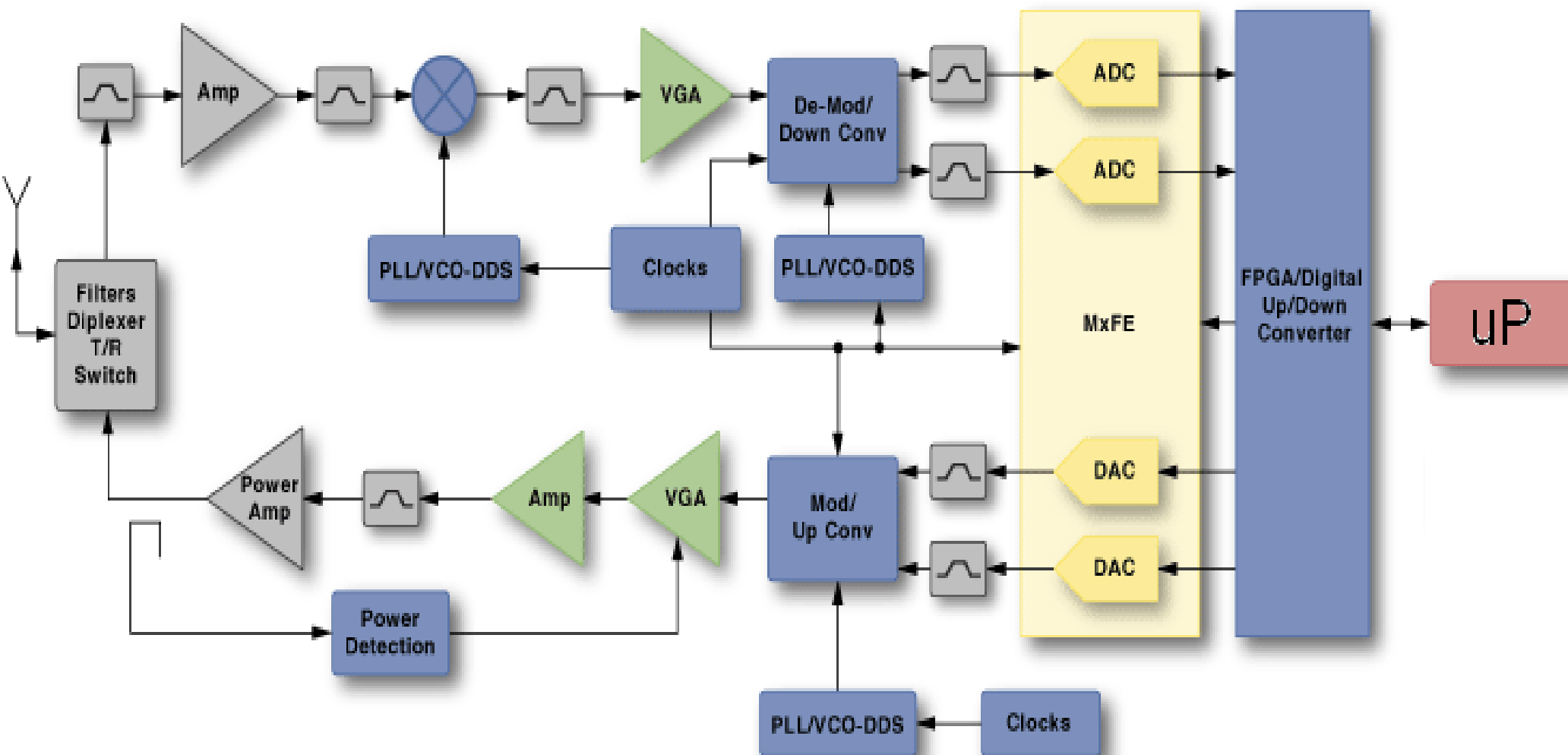
- Urządzenie elektroniczne przeznaczone do transmisji danych wyposażone w nadajnik i odbiornik. Układy odbiornika i nadajnika posiadają wspólne obwody, np. źródło częstotliwości, antena, system sterowania, itp...
- Wykorzystywane w systemach wbudowanych transceivery można podzielić na dwa podsystemy:
 - ◆ **System analogowy:**
 - Mikser analogowy (down oraz up-converter),
 - Syntezer częstotliwości,
 - Filtry dolnoprzepustowe i pasmowe,
 - Wyjściowy wzmacniacz mocy (nadajnik),
 - Przedwzmacniacz (odbiornik),
 - ◆ **System cyfrowy:**
 - Przetworniki analogowo-cyfrowy ADC (odbiornik) i cyfrowo-analogowy DAC (nadajnik),
 - Bufory nadawczo-odbiorcze,
 - Cyfrowy układ sterowania,
 - Cyfrowy interfejs do transmisji danych.

Schemat blokowy transceivera (1)

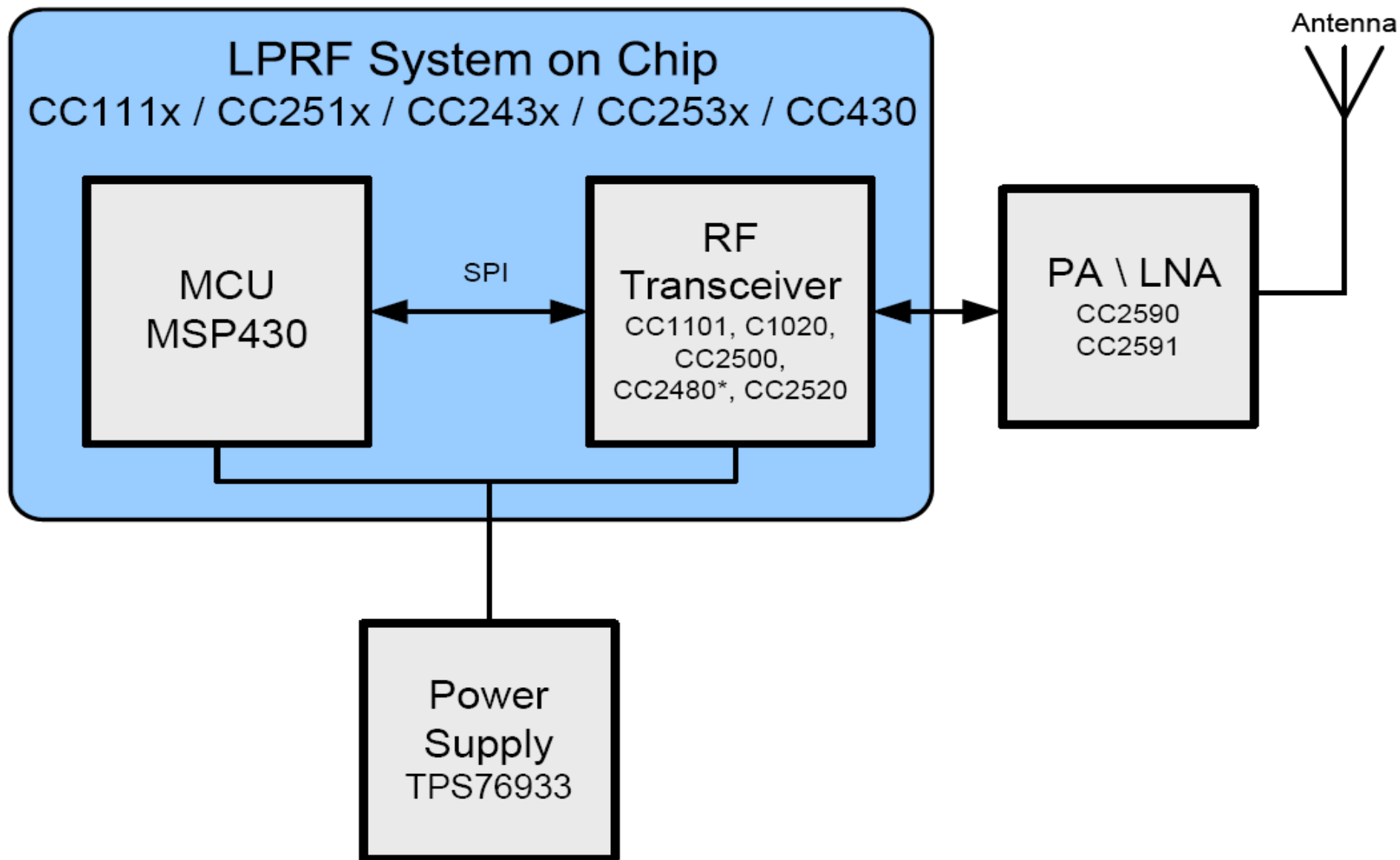


Atmel AT86RF212 Zigbee, IEEE 802.15.4 RF transceiver

Schemat blokowy transceivera (2)



Układy firmy Texas Instruments





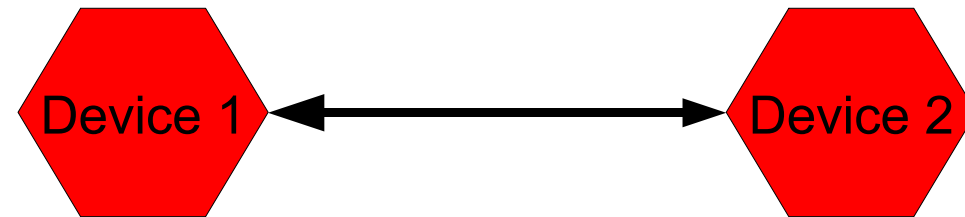
Topologia sieci

- Topologia sieci określa sposób połączenia urządzeń uczestniczących w transmisji oraz przepływ danych. Można wyróżnić topologię fizyczną (fizyczne połączenie urządzeń) oraz logiczną (logiczny przepływ danych).
- Wyróżniamy następujące topologie sieci:
 - Peer-to-Peer – transmisja pomiędzy dwoma węzłami,
 - Magistrala,
 - Topologia gwiazdy,
 - Topologia pierścieniowa,
 - Topologia typu Mesh (każdy z każdym, siatka).



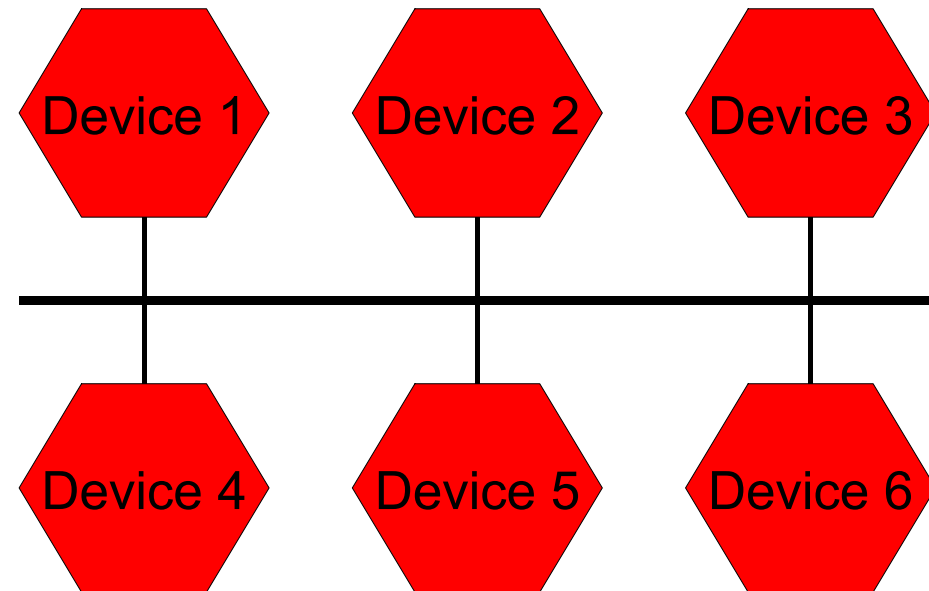
Topologia Peer-to-Peer

- Transmisja pomiędzy dwoma urządzeniami (P2P),
- Identyczne urządzenia uczestniczące w transmisji,
- Prosty protokół transmisji,
- Transmisja w jedną lub obie strony (half, full-duplex).



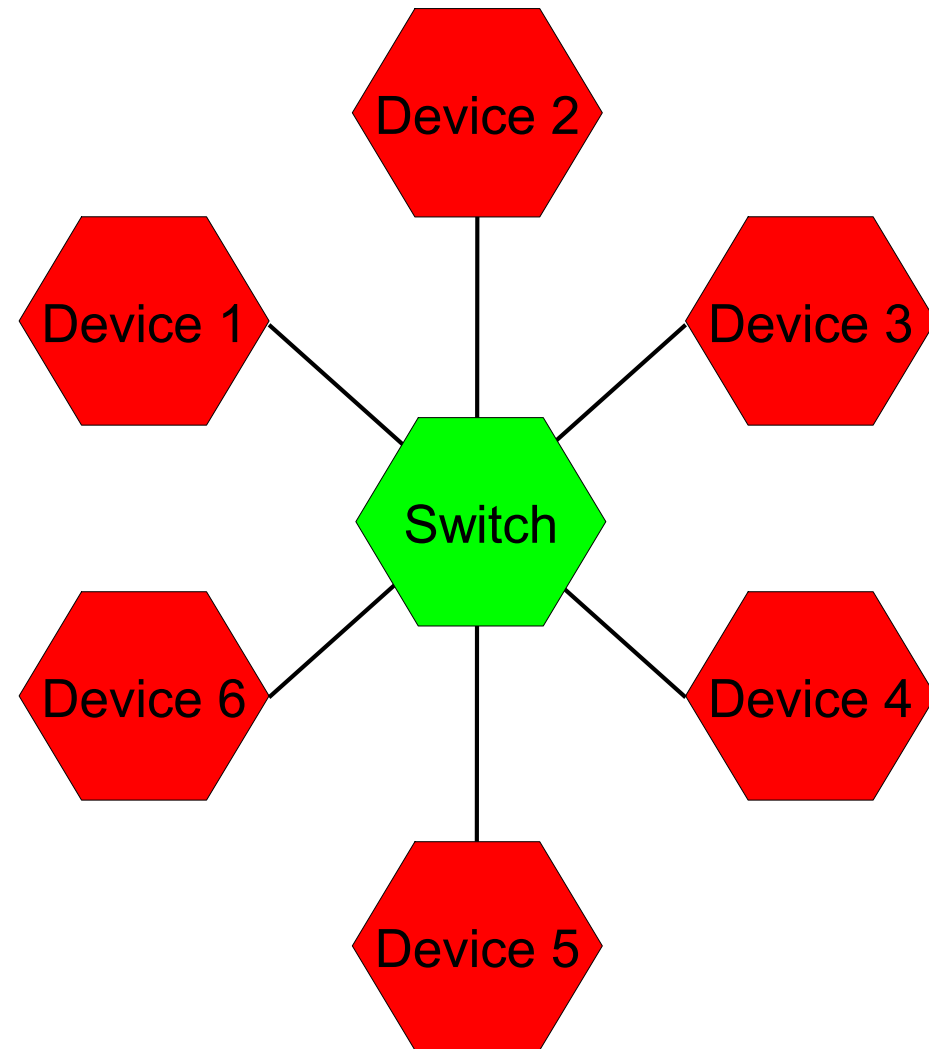
Topologia typu magistrala

- Transmisja pomiędzy kilkoma urządzeniami dołączonymi do wspólnej magistrali,
- Możliwość użycia identycznych urządzeń uczestniczących w transmisji,
- Złożony protokół transmisji (potrzeba adresowania, rozwiązywanie konfliktów),
- Możliwość użycia regeneratorów (repeater) i układów sprzęgających sieci (gateway, bridge)
- Transmisja w jedną lub obie strony (half, full-duplex)
- Awaria jednego węzła może zablokować całą sieć.



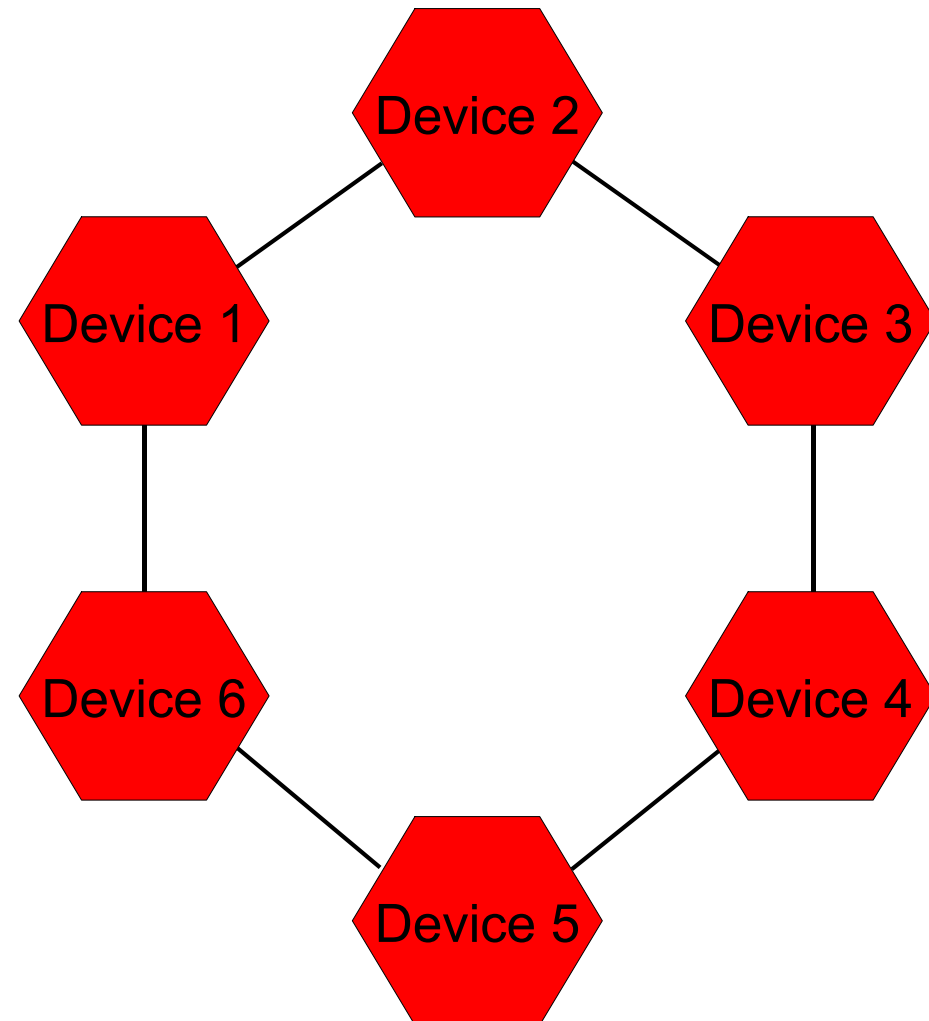
Topologia typu gwiazda

- Transmisja pomiędzy kilkoma urządzeniami dołączonymi do koncentratora lub przełącznika,
- Możliwość użycia identycznych urządzeń uczestniczących w transmisji,
- Złożony protokół transmisji (potrzeba adresowania, buforowanie komunikatów),
- Możliwość użycia regeneratorów (repeater) i układów sprzęgających sieci (gateway, bridge)
- Transmisja w jedną lub obie strony (half, full-duplex),
- Uszkodzenie węzła nie powoduje blokady całej sieci.

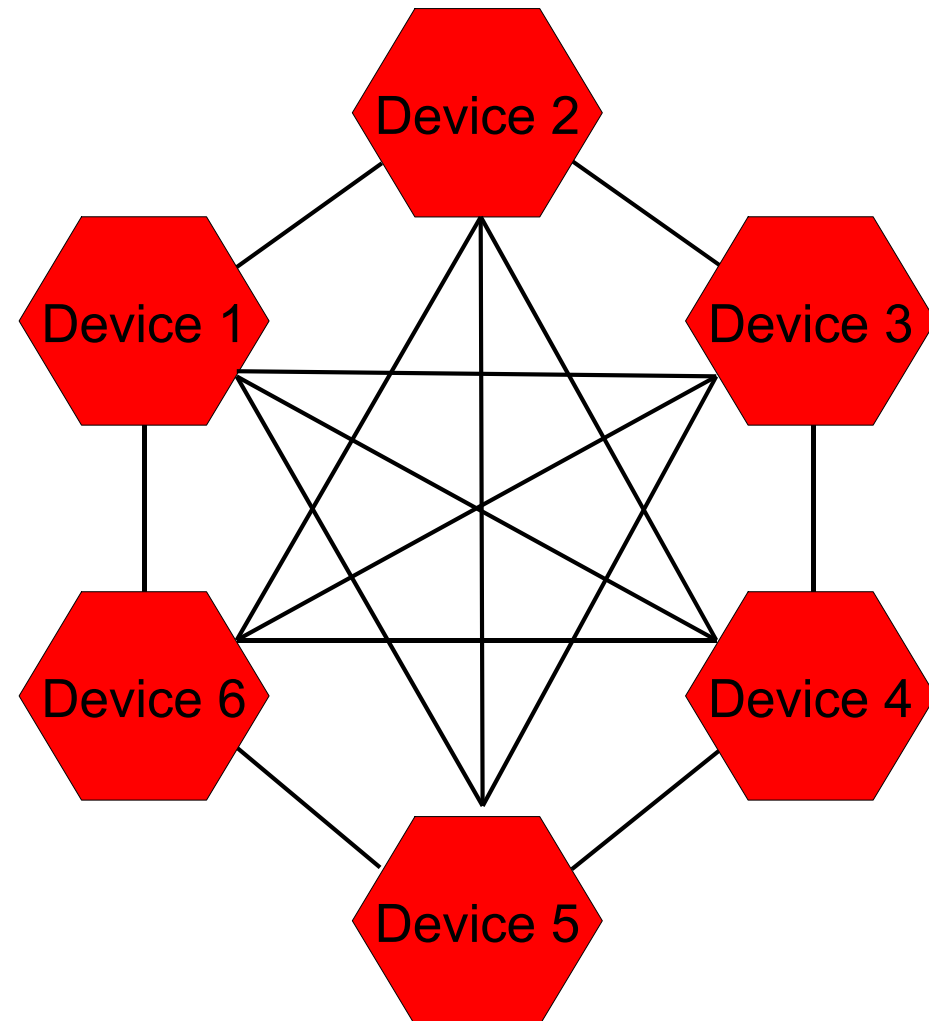


Topologia typu pierścieni

- Transmisja pomiędzy kilkoma urządzeniami połączonymi między sobą,
- Możliwość użycia identycznych urządzeń uczestniczących w transmisji,
- Złożony protokół transmisji (potrzeba adresowania),
- Możliwość użycia regeneratorów (repeater) i układów sprzęgających sieci (gateway, bridge)
- Transmisja w jedną lub obie strony (half, full-duplex),
- Uszkodzenie pojedynczego węzła nie powoduje blokady całej sieci.

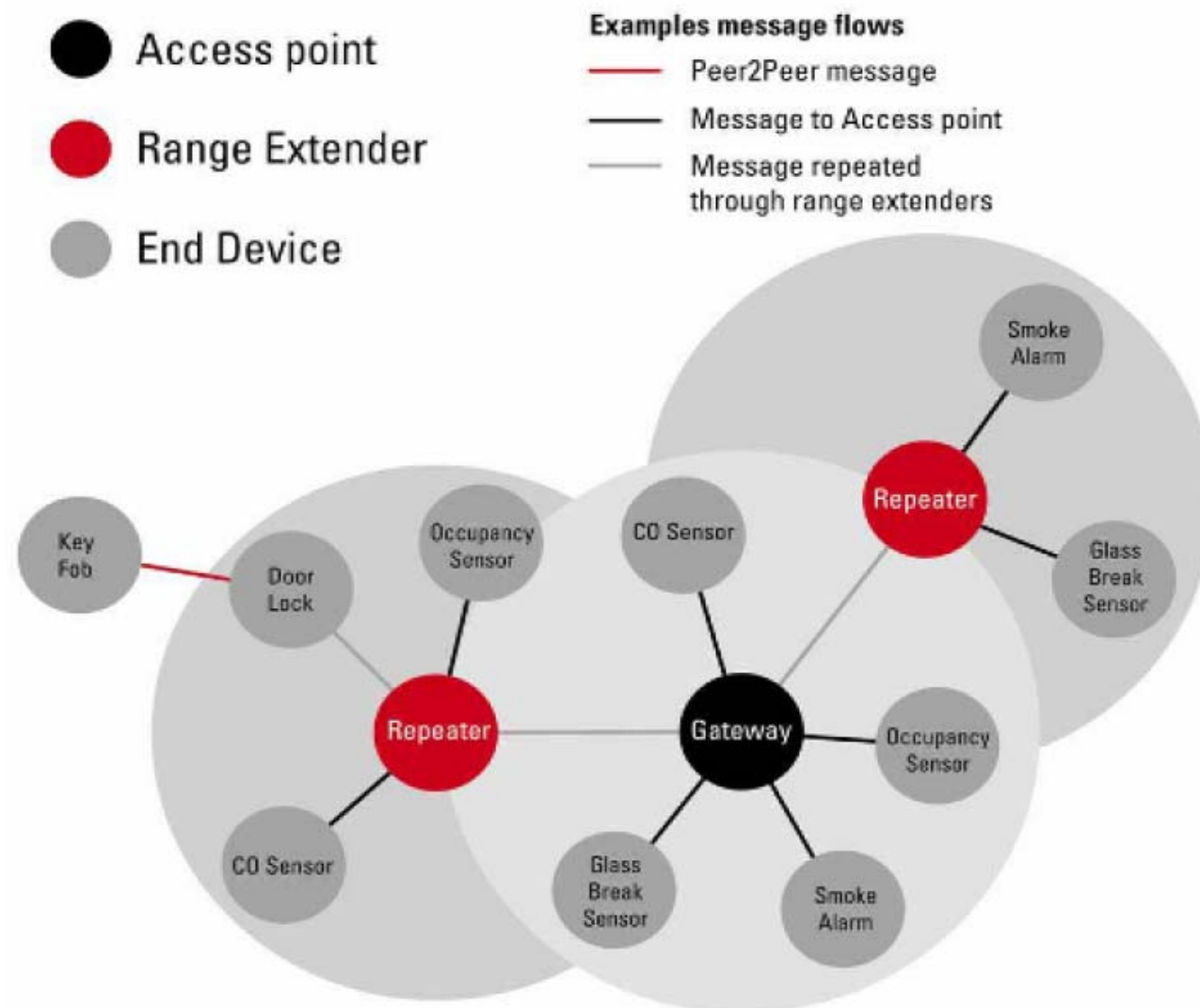


- Transmisja pomiędzy kilkoma urządzeniami połączonymi między sobą-urządzenia posiadają bezpośrednie połączenie, każdy z każdym,
- Możliwość użycia identycznych urządzeń uczestniczących w transmisji,
- Prosty protokół transmisji (potrzeba adresowania),
- Możliwość użycia regeneratorów (repeater) i układów sprzęgających sieci (gateway, bridge)
- Transmisja w jedną lub obie strony (half, full-duplex),
- Uszkodzenie nawet kilku węzłów nie powoduje blokady całej sieci,
- Pozwala na uzyskanie dużej przepływności danych.



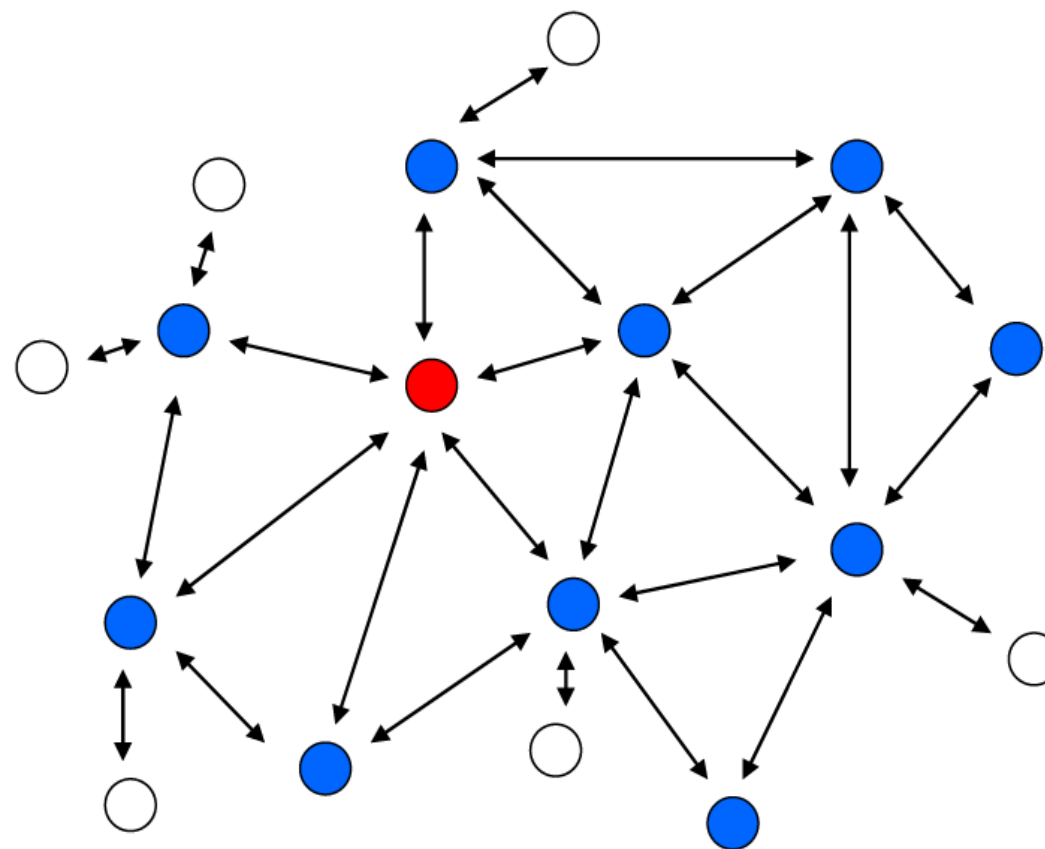
Przykład sieci typu gwiazda

- Magistrała typu gwiazda złożona z kilku węzłów,
- Układy rozszerzające zasięg sieci (repeater),
- Układy sprzęgające dwie podsieci (gateway),
- Węzły końcowe (end points) – prosta budowa,
- Możliwość użycia połączenia peer-to-peer,
- Architektura skalowalna.

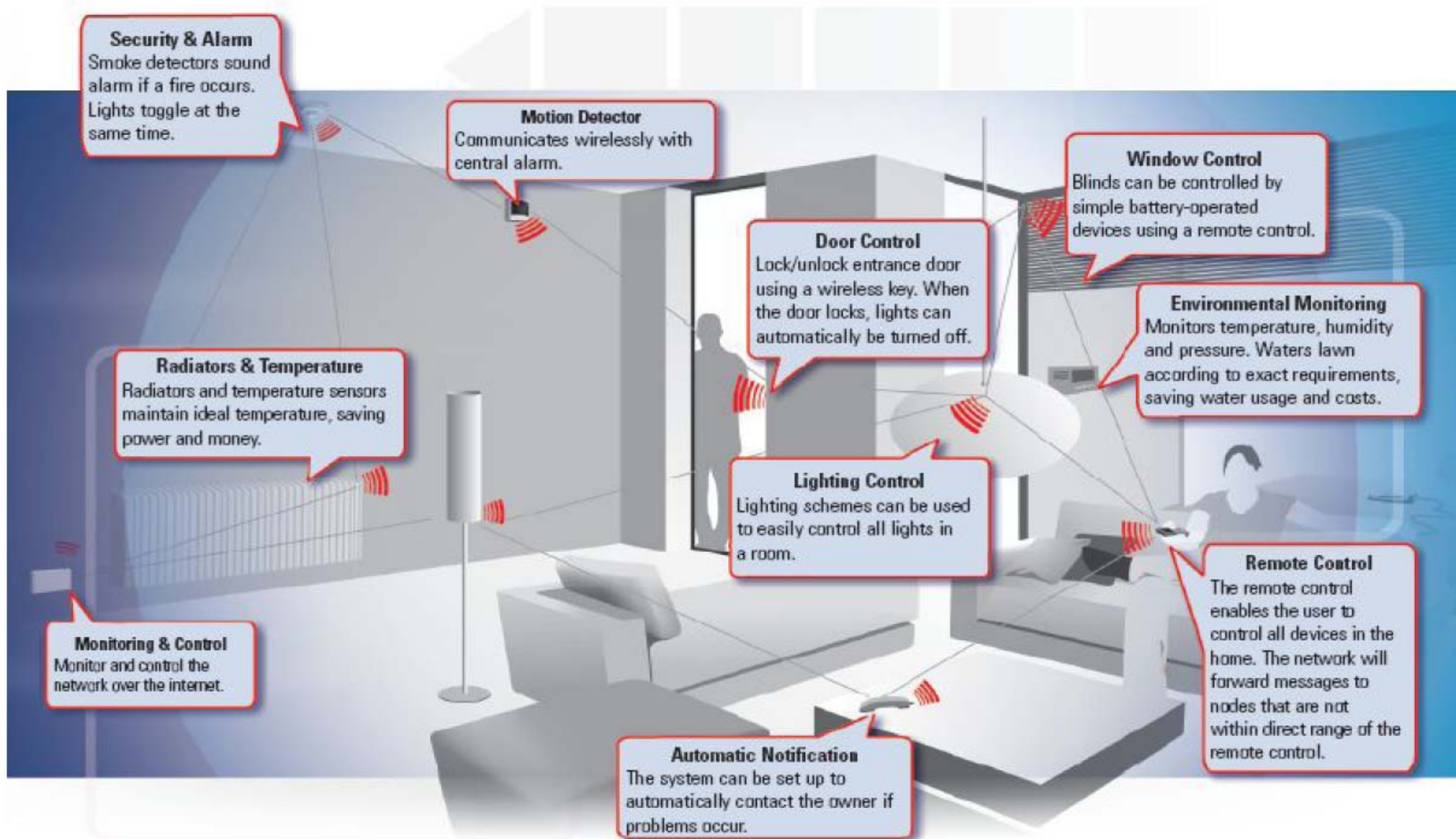


ZigBee - przykład topologii Mesh

- - układ zarządzający siecią ZigBee **Coordinator** (konfiguracja sieci, routowanie pakietów, zarządzanie bezpieczeństwem sieci, obsługuje urządzenia typu router i end point),
- - węzeł routujący ZigBee **Router** (przekierowuje pakiety od innych węzłów typu router, umożliwia dołączenie węzłów końcowych, umożliwia obsługę urządzeń, np. sterowanie oświetleniem),
- - Węzeł końcowy sieci ZigBee **End Device** (znajdujący się w stanie uśpienia przez większość czasu, zasilany z baterii, brak możliwości przekierowania pakietów, np. przełącznik oświetlenia).



ZigBee – przykładowa aplikacja



Czynniki mające wpływ na zasięg

- Rodzaj użytej anteny (wzmocnienie anteny w odniesieniu do anteny izotopowej, wykonanie anteny, dopasowanie anteny do toru RF),
- Czułość toru wejściowego,
- Selektywność kanału (jak dobrze układ pracuje w zakłóconym środowisku),
- Moc wyjściowa nadajnika,
- Otoczenia, środowisko pracy (widoczność anten (line of sight), potencjalne przeszkody, odbicia fal, punkty martwe).

Zasięg vs pobór energii

- How far can TX and RX be apart from each other?
- **Friis' transmission equation** for free space propagation:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) - 20 \log d \quad \text{or} \quad P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}$$

- P_t is the transmitted power, P_r is the received power
- G_t is the transmitter, G_r is the receiver antenna gain
- d is the distance between transmitter and receiver, or the range
- Lambda is the wavelength $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\text{Speed of light}}{\text{Frequency}}$

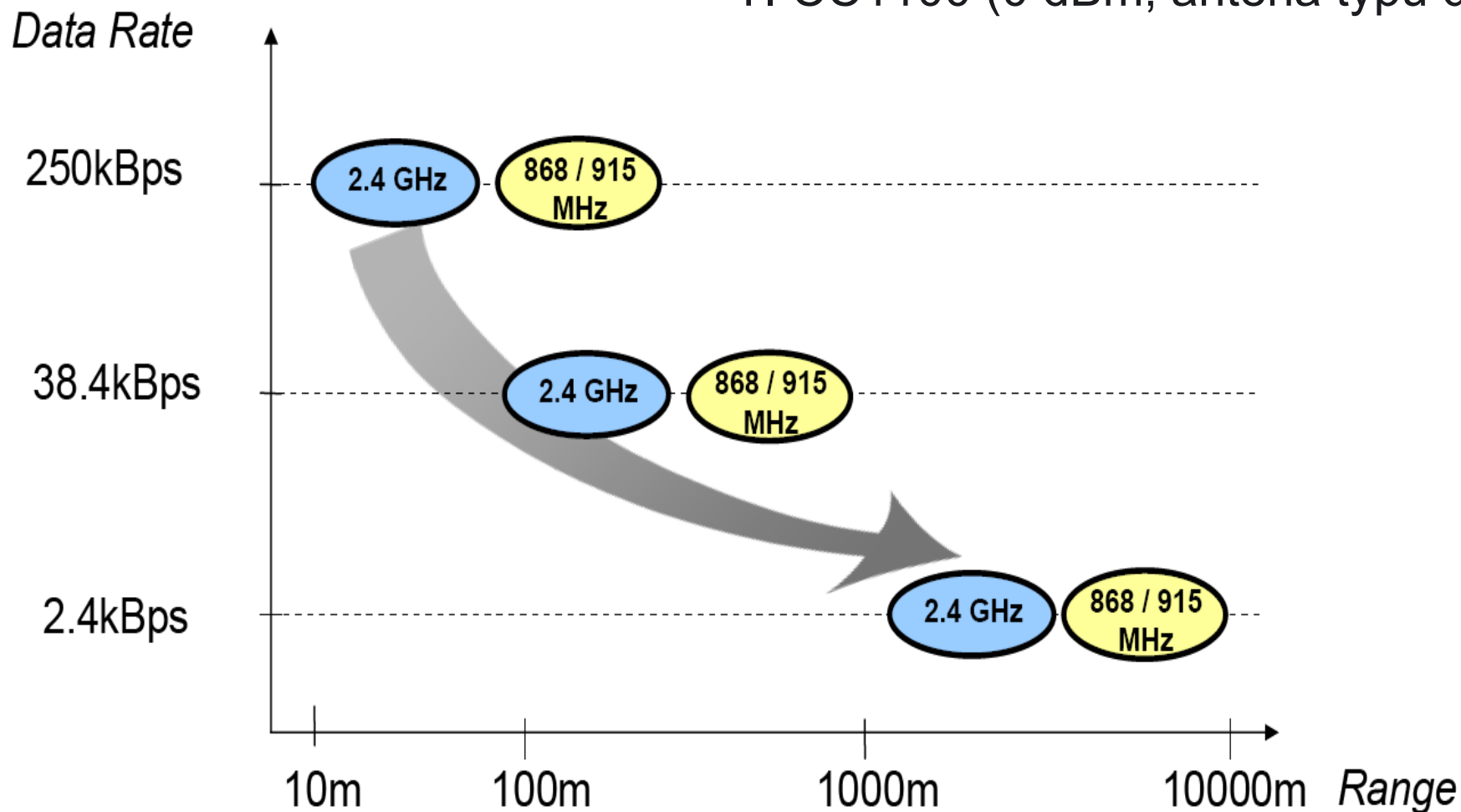
Zasięg vs szybkość transmisji

- Całkowity poziom energetyczny toru RF rzędu 120 dB umożliwia uzyskanie zasięgu 2000 m dla $f=433$ Mhz,
 - Zwiększenie poziomu energetycznego:
 - ➔ Zastosowanie anteny kierunkowej o większym zysku energetycznym , np. dipol półfalowy, antena Yagi,
 - ➔ Zwiększenie mocy nadajnika (100mW, 200 mW, 1, 2, 4 W),
 - ➔ Zmniejszenie strat energii w torze nadawczo-odbiorczym (użycie lepszego kabla, lepszych złącz, dopasowanie falowe nadajnik-przewód, przewód-antena).
- Reguły umożliwiające oszacowanie zasięgu:
 - Wzrost wzmocnienia toru o 6 dB ~ dwukrotne zwiększenie zasięgu,
 - Zwiększenie częstotliwości nośnej dwa razy powoduje zmniejszenie zasięgu o połowę, np. $F=433$ Mhz \rightarrow $f=868$ Mhz.

Porównanie zasięgu w zależności od szybkości transmisji

Układ testowy:

TI CC1100 (0 dBm, antena typu dipol)





Pobór prądu systemu wbudowanego z torem RF:

- ◆ Pobór mocy w trybie uśpienia procesora,
- ◆ Średni czas pracy procesora,
- ◆ Pobór prądu w czasie nadawania/odbioru,
- ◆ Pobór energii toru RF w trybie bezczynności,
- ◆ Wzmacniacz wyjściowy (praca ze zmienną mocą)
- ◆ Czas kalibracji syntezeru częstotliwości (PLL),
- ◆ Czas stabilizacji oscylatora wzorcowego,
- ◆ Detekcja częstotliwości nośnej,
- ◆ Współczynnik wypełnienia pracy toru radiowego,
- ◆ Obsługa przerw (Wake on radio).



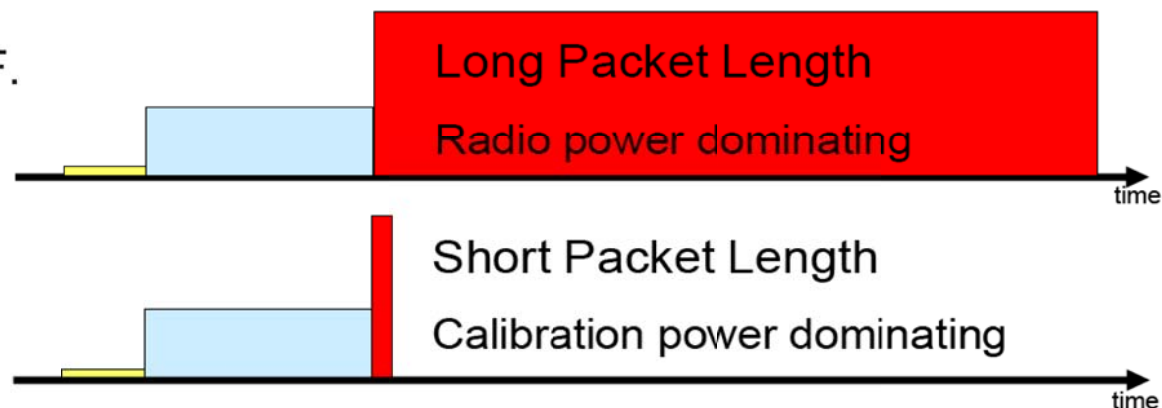
Pobór mocy – przykładowe aplikacje

■ Urządzenia z dużym współczynnikiem wypełnienia:

- Pobór prądu przez aktywny tor radiowy,
- Nadajnik/odbiornik, kalibracja syntezy częstotliwości toru RF.



- Crystal Oscillator
- Start-up Calibration
- RX/TX mode

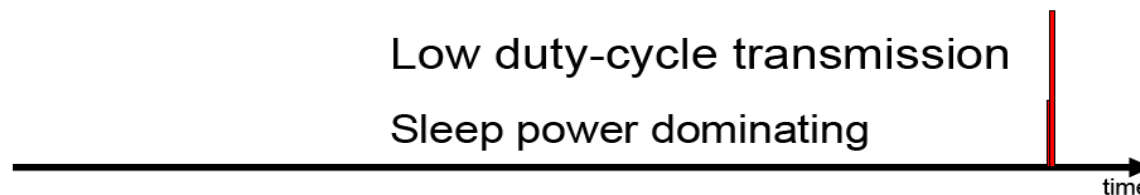


■ Urządzenia pracujące z małym współczynnikiem wypełnienia:

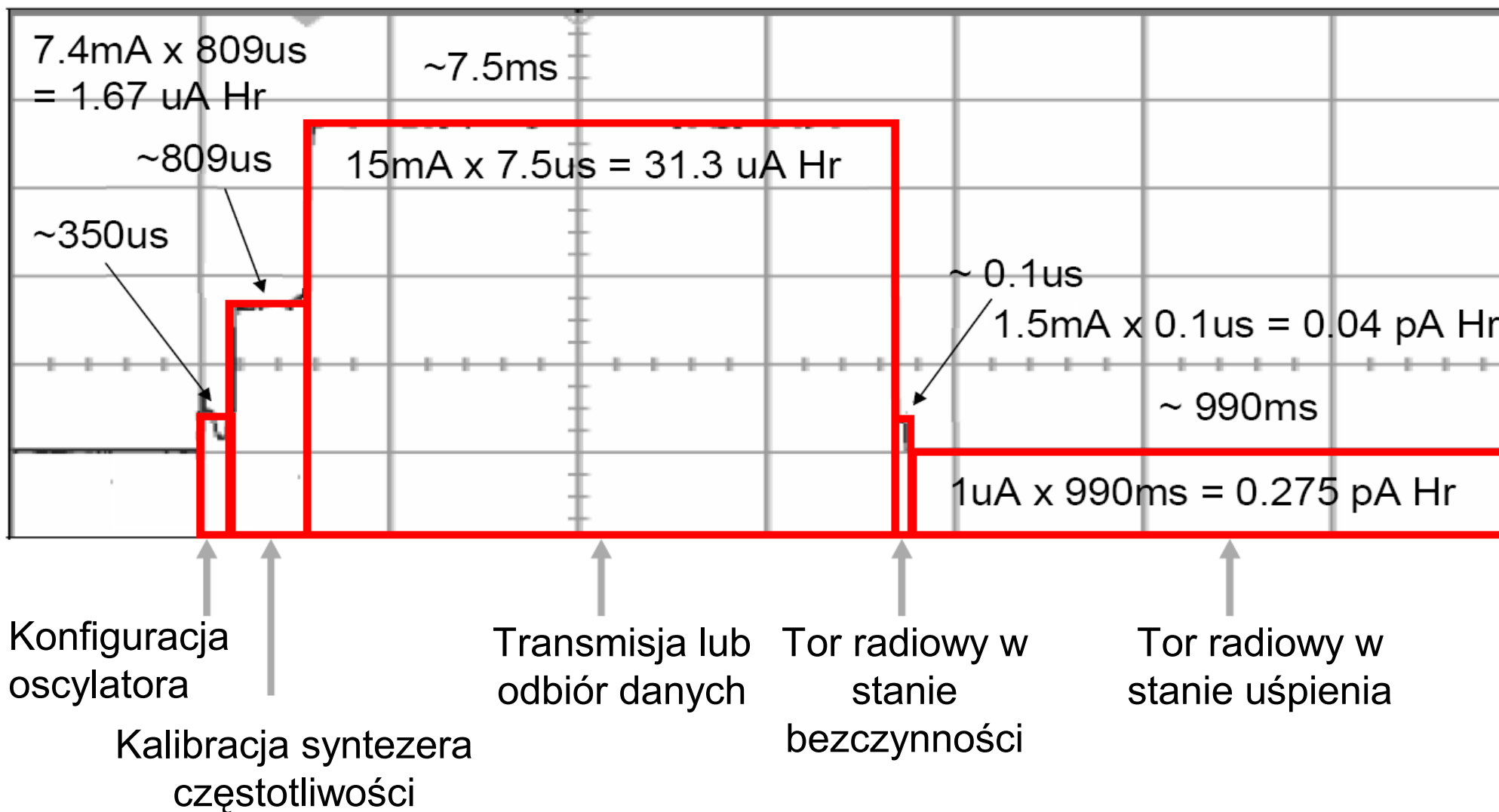
- Pobór prądu mikrokontrolera w trybie uśpienia,
- Uśredniony pobór prądu toru radiowego,
- Pobór prądu detektora, regulatora.



Low duty-cycle transmission
Sleep power dominating



Przykładowy profil poboru energii



Pobór energii przykładowego czujnika z torem RF

- Mikrokontroler firmy Texas Instruments MPS430 + transceiver Chipcon CC2420,
- Czas “budzenia procesora”: 0,006 ms,
- Pobór mocy w trybie uśpienia procesora: 2 μ W,
- Pobór mocy w trybie normalnej pracy procesora: 0.5 mW,
- Pobór mocy podczas transmisji: 45 mW,
- Maksymalna szybkość transmisji: 250 kbps,
- Napięcie zasilania: min. 1.6 V.
- Dwie baterie AA podczas pracy z 1 % wypełnienie transmisji (modulacja TMDA) pozwalają na pracę w ciągu 584 dni.



Projektowanie systemów mobilnych o niskim poborze energii

- Użycie niskiego współczynnika wypełnianie podczas transmisji:
 - Buforowanie danych, transmisja danych tylko wtedy kiedy są naprawdę potrzebne,
 - Użycie największej z dostępnych szybkości transmisji (o ile zasięg na to pozwala),
 - Unikanie skomplikowanych protokołów.
- Wykorzystanie układów zasilanych niskim napięciem,
 - Układy RF pobierają mniej mocy przy niższym napięciu zasilania,
 - Niskie napięcie niekorzystnie wpływa na wydajności toru RF,
 - Użycie przetwornicy DC/DC w celu konwersji napięcia.

Projektowanie systemu wbudowanego z torem bezprzewodowym

Oczekiwania użytkownika

- Bezproblemowa praca toru radiowego w różnych warunkach środowiskowych:
 - Odporność na zakłócenia zewnętrzne (wilgotność powietrza, urządzenia pracujące na tej samej lub podobnej częstotliwości, zakłócenia),
- Specyfikacja toru radiowego obejmuje:
 - Zasięg toru radiowego (częstotliwość, użyta antena, moc nadajnika),
 - Szybkość transmisji danych,
 - Zużycie energii (system mobilny/stacjonarny),
 - Liczba urządzeń uczestniczących w transmisji danych,
 - Topologia sieci.
- Możliwość użycia dostępnego standardu lub opracowanie własnego protokołu transmisji danych.

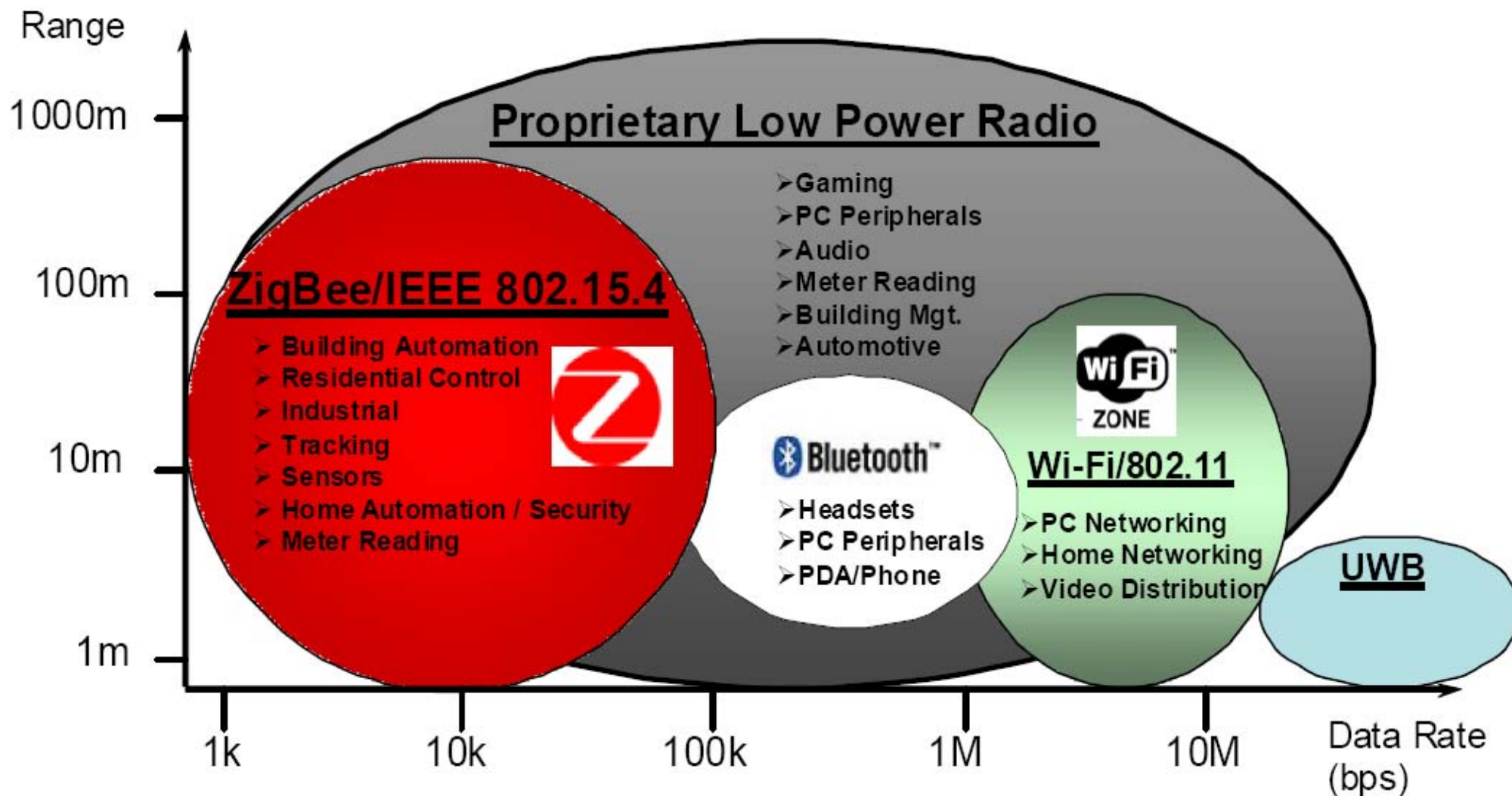


IEEE 802.15.4 (1)

- Opracowane standardy transmisji bezprzewodowej głównie skupiały się na osiągnięciu jak największej szybkości transmisji,
- Standard bezprzewodowej transmisji danych określający warstwę fizyczną (physical layer) oraz MAC (medium access control) opracowany na potrzeby systemów wbudowanych i mobilnych nie wymagających dużych szybkości transmisji (~10-250 kbps),
- Niskie zużycie energii (długi czas pracy na zasilaniu bateryjnym),
- Niewielki współczynnik wypełnienia podczas transmisji (urządzenia mogą przebywać do 99,9 % czasu w stanie uśpienia),
- Niski koszt produkcji układów,
- Niewielki zasięg transmisji (10-20 m),
- Latencja (mniejsza niż 15 ms),
- Dynamiczne przydzielanie adresów,
- Jest to specyfikacja bazowa dla standardów opisujących wyższe warstwy, np. ZigBee, RF4CE, MiWi, WirelessHart,
- Dostępne specyfikacje: IEEE802.15.4a-e.

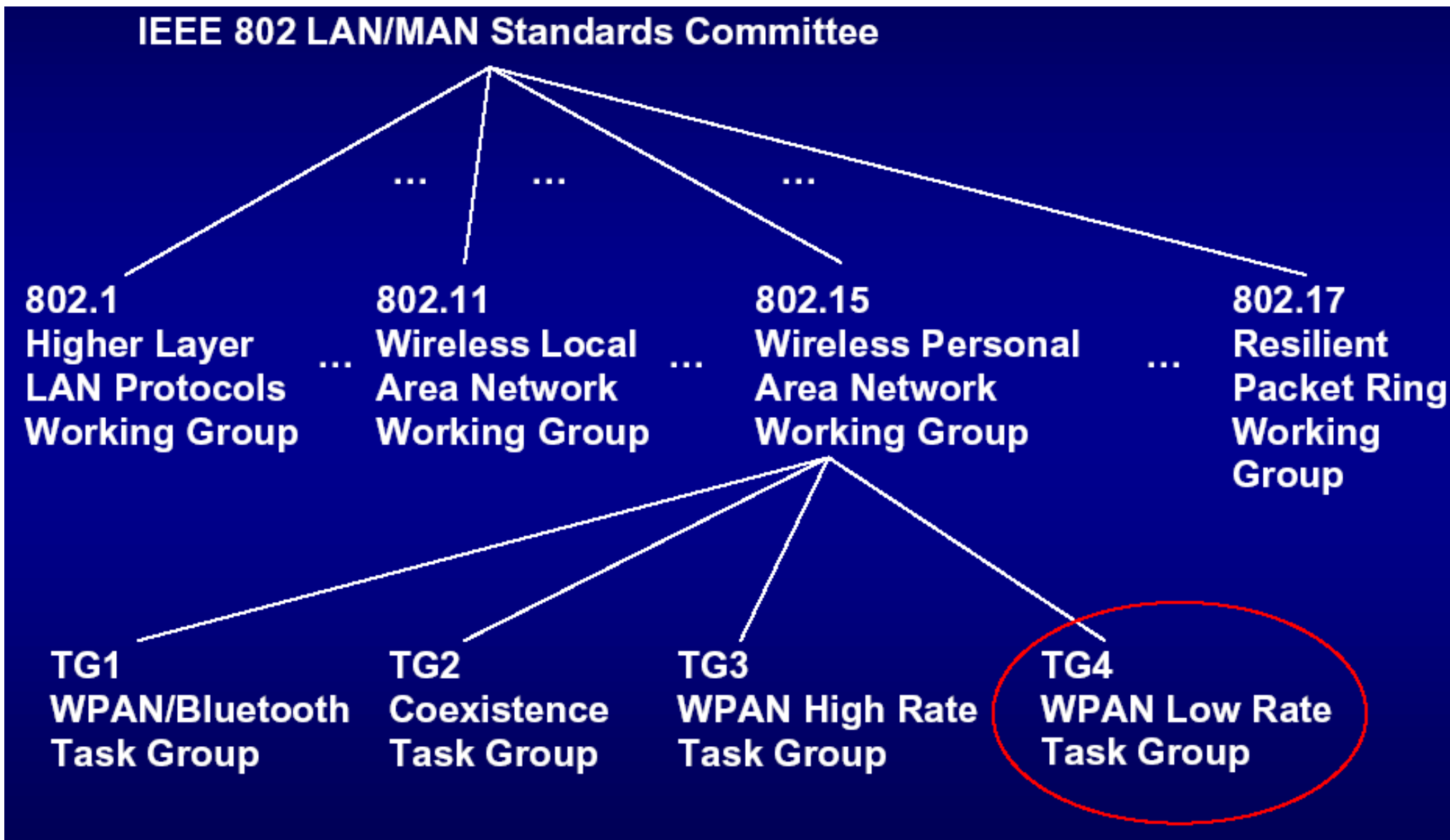


IEEE802.3.14 a inne standardy





IEEE802.15 working group

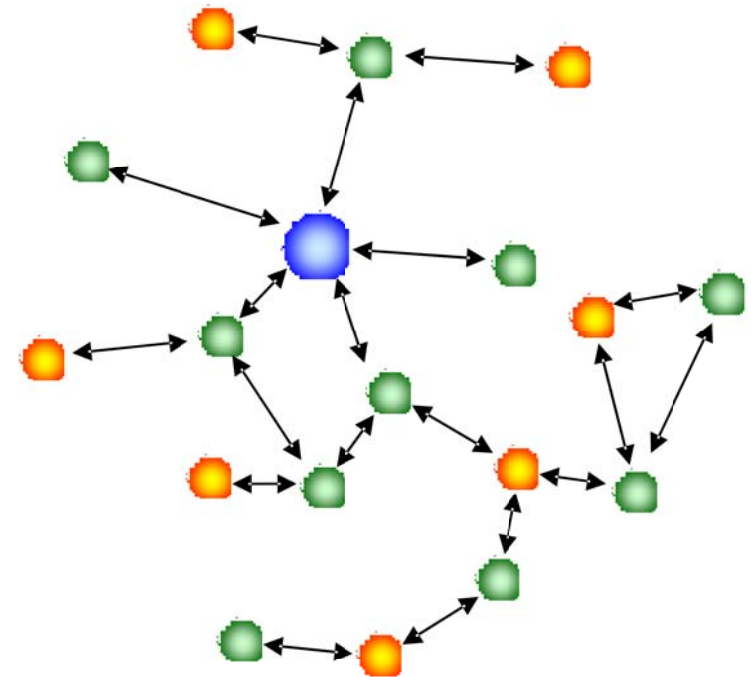
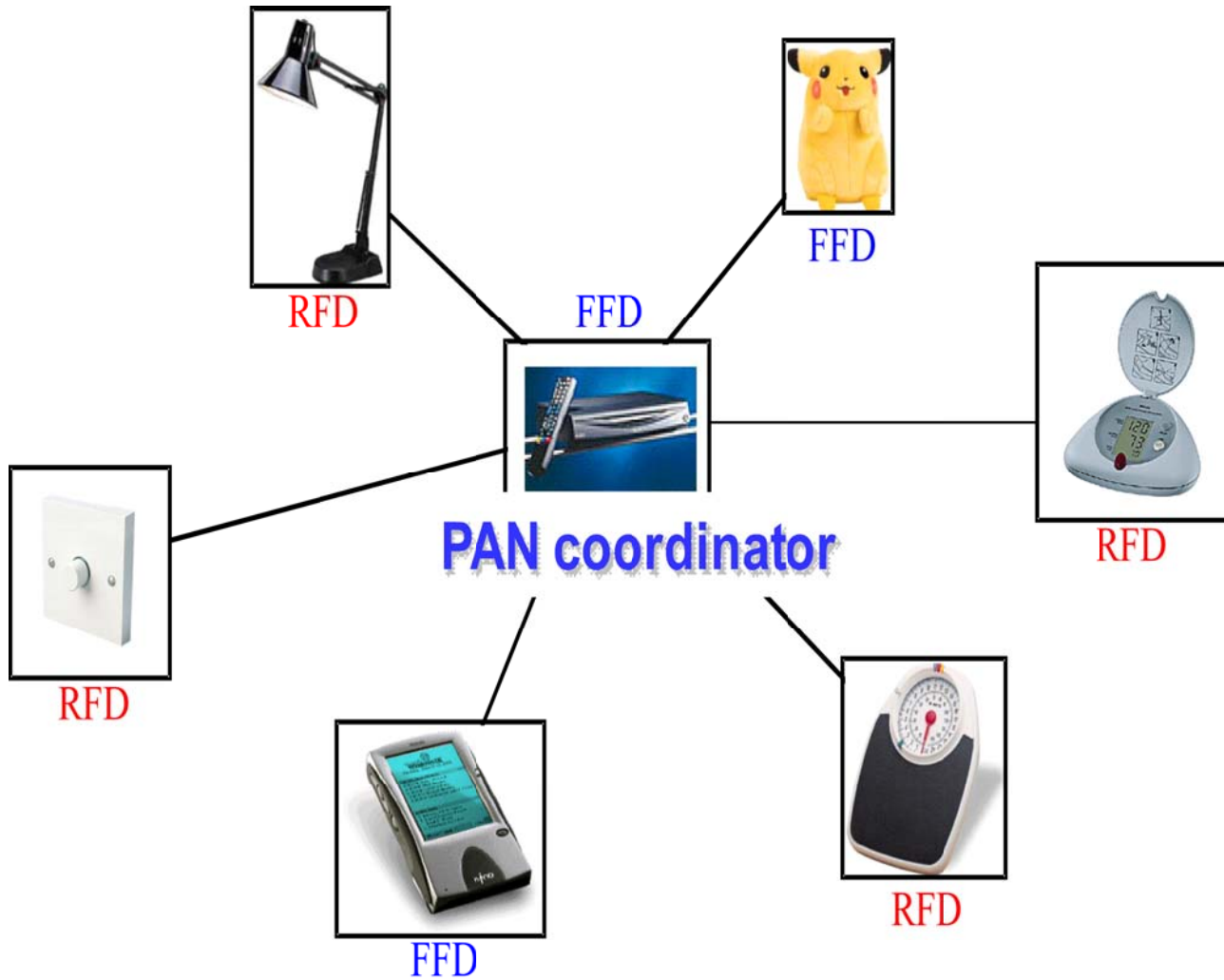


Porównanie sieci WPAN

- WPAN – A Wireless Personal Network

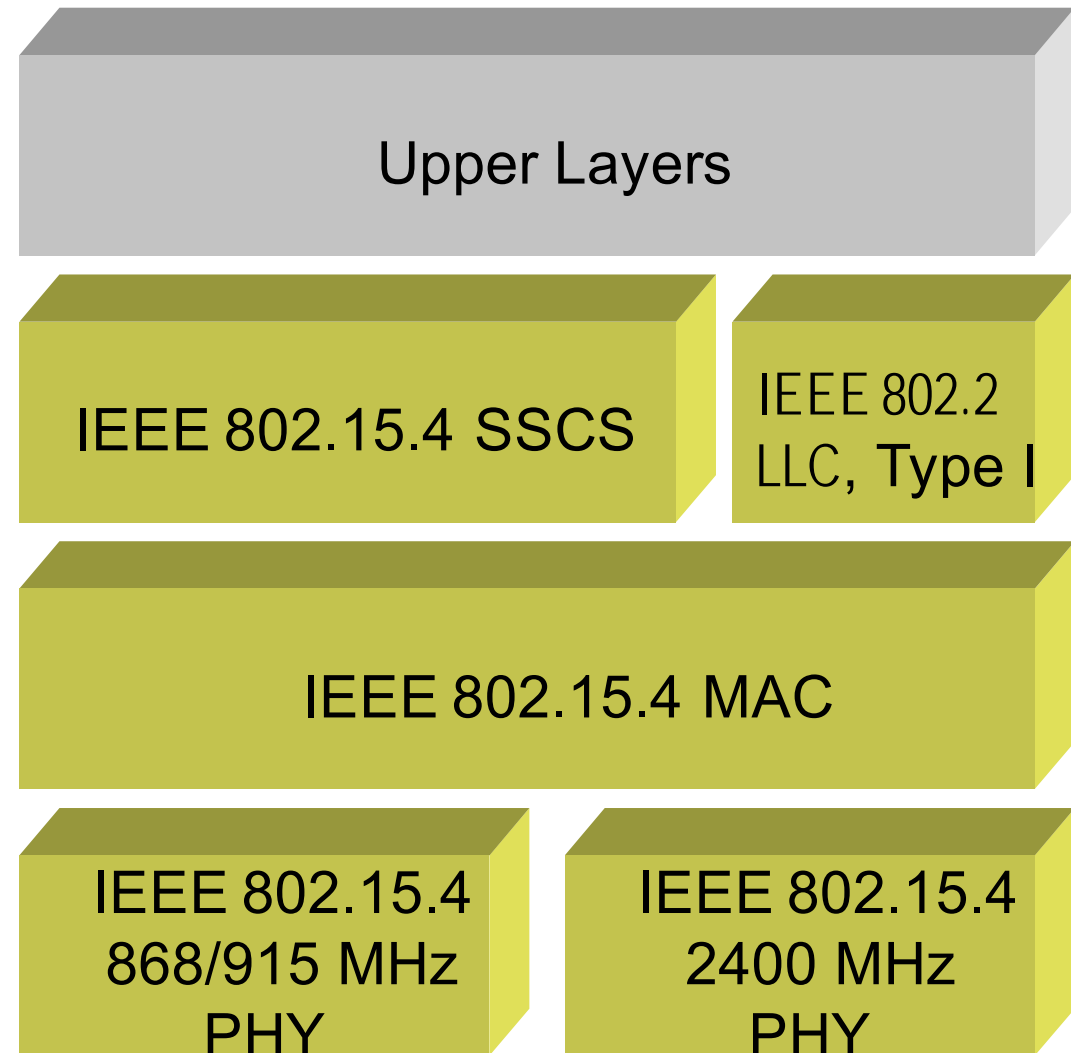
Project	Data Rate	Range	Configuration	Other Features
802.15.1 (Bluetooth)	1 Mbps	10M (class 3) 100M (class 1)	8 active device Piconet/ Scatternet	Authentication, Encryption, Voice
802.15.3 High Rate	22, 33, 44, 55 Mbps	10M	256 active device Piconet/ Scatternet	FCC part 15.249 QoS, Fast Join Multi-Media
802.15.4 Low Rate	up to 250Kbps	10M nominal 1M-100M based on settings	Master/Slave (256 Devices or more) Peer to Peer	Battery Life: multi-month to infinite
802.15.2 Coexistence	Develop a Coexistence Model and Mechanisms Document as a Recommended Practice			

IEEE 802.15.4 (2)



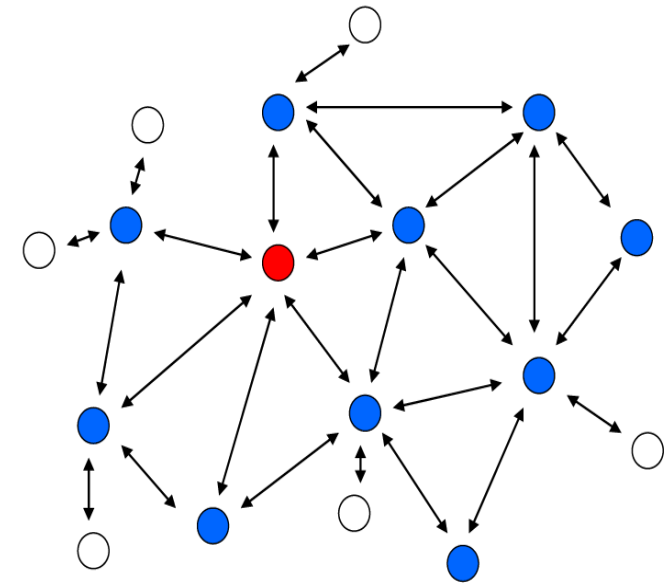
Architektura IEEE802.15.4

- Warstwa danych składa się z podwarstwy MAC oraz LLC,
- Warstwa LLC zgodna ze standardami 802.3, 802.11, 802.15.1.



IEEE 802.15.4 – warstwa fizyczna

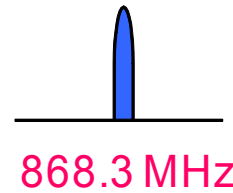
- Warstwa fizyczna odpowiedzialna jest za zarządzanie transceiverem, selekcję kanału do transmisji danych, kontrolę energii oraz zarządzanie sygnałem (modulacja, częstotliwość).
- Podstawowe częstotliwości pracy:
 - 868.0-868.6 MHz – Europa, pojedynczy kanał transmisyjny,
 - 902-928 MHz – Ameryka, 10 kanałów transmisyjnych,
 - 2400-2483.5 MHz – pasmo międzynarodowe (16 kanałów),
- MAC odpowiedzialny jest za transmisję ramek z wykorzystaniem warstwy PHY. Zapewnia dzielenie ramek na pakiety (beacons), weryfikuje poprawność przesyłanych ramek, zapewnia podział na sloty czasowe,
- Struktura sieci: mesh, gwiazda lub P2P.



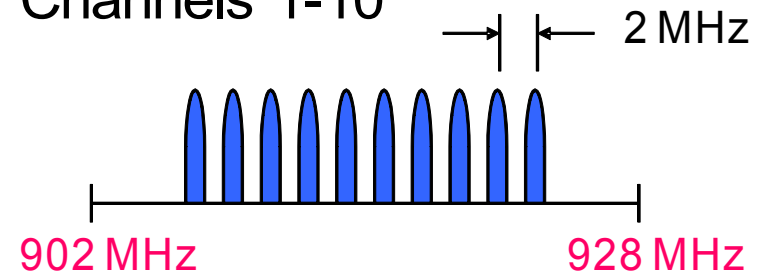
IEEE802.15.4 – częstotliwości pracy

868MHz / 915MHz PHY

Channel 0

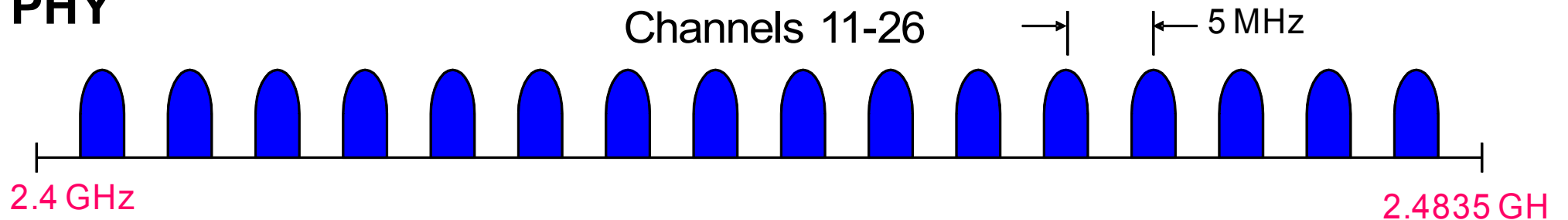


Channels 1-10



2.4 GHz PHY

Channels 11-26





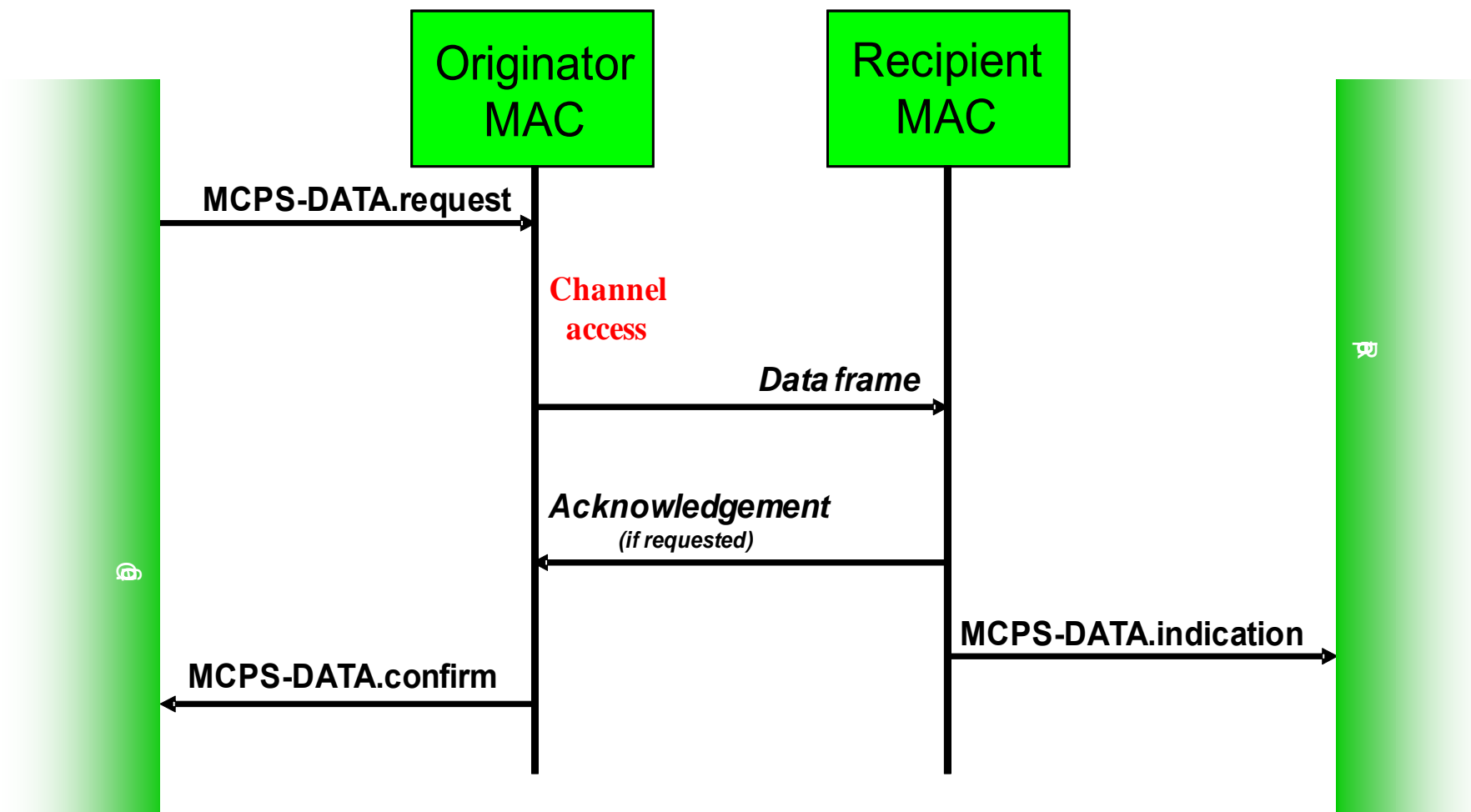
- Topologia gwiazdy lub P2P,
- Możliwość „kojarzenia” urządzeń,
- Walidacja pakietów,
- Opcjonalny slot czasowy dla zastosowań czasu rzeczywistego,
- Gwarantuje dostarczenie pakietów (retransmisja, sumy kontrolne)
- Wbudowane mechanizmy bezpieczeństwa.



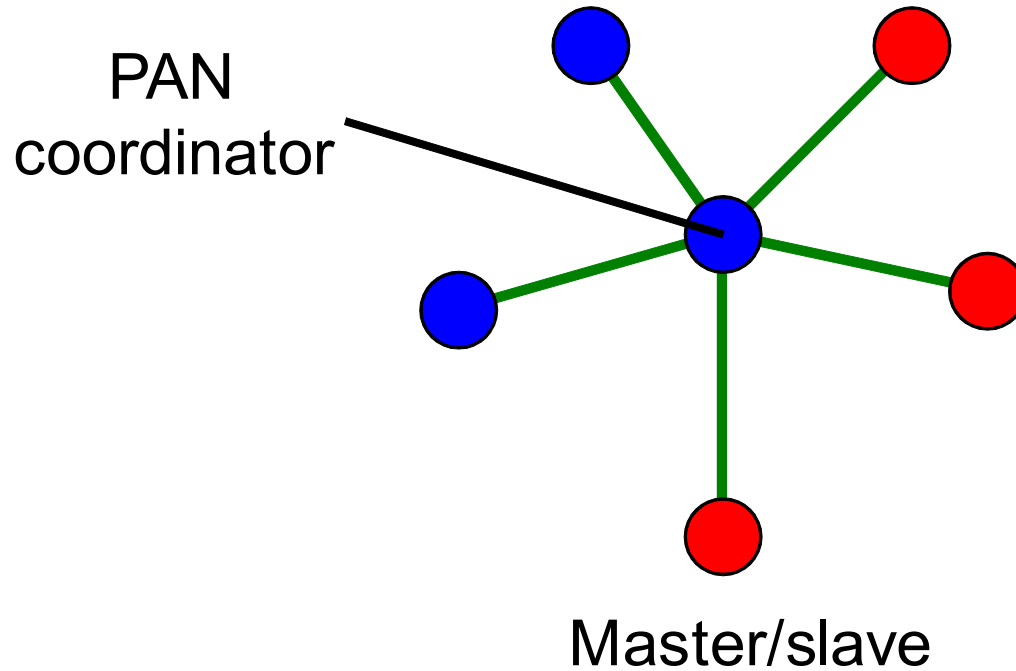
Klasy urządzeń określonych przez standard IEEE802.15.4

- FFD (Full Function Device)
 - dowolna topologia pacy określona przez standard,
 - możliwość zarządzania siecią (PAN coordinator),
 - możliwość komunikacji z dowolnym urządzeniem,
 - Wymaga zaimplementowania pełnego protokołu (złożony układ),
- RDF (Reduced Function Device)
 - Topologia sieci ograniczona do gwiazdy lub P2P (end-device),
 - Nie może pełnić funkcji układu zarządzającego siecią PAN,
 - Komunikuje się tylko z koordynatorem sieci,
 - Posta implementacja,
 - Uproszczony protokół.

Przykładowa transmisja



Topologia sieci typu gwiazda

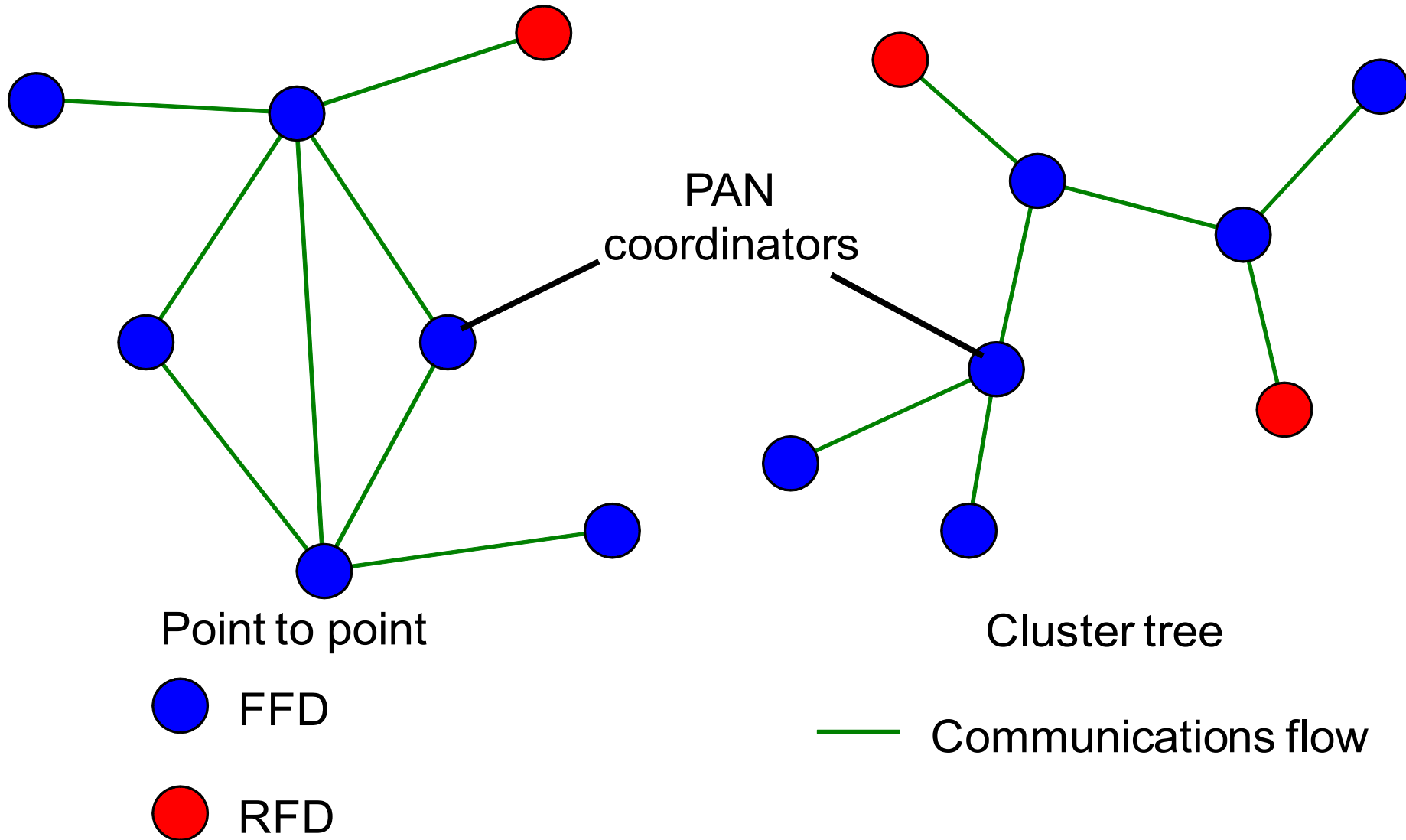


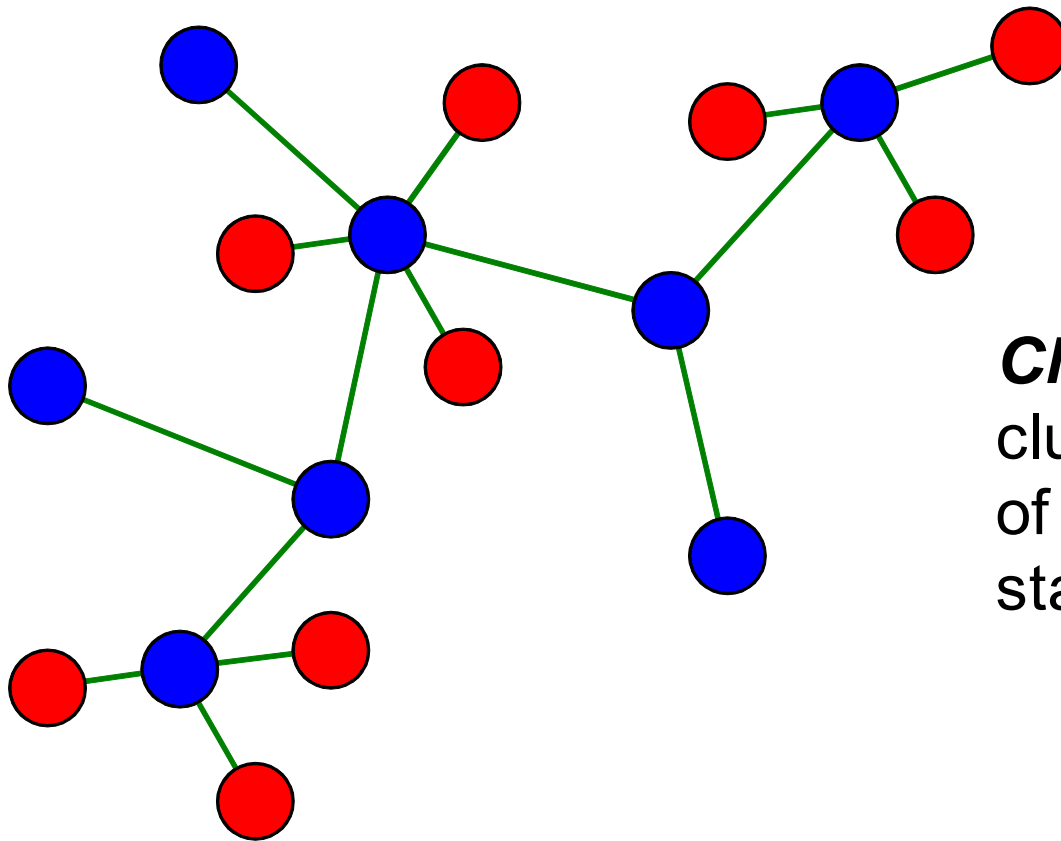
 FFD

 RFD

 Communications flow

Topologia sieci P2P



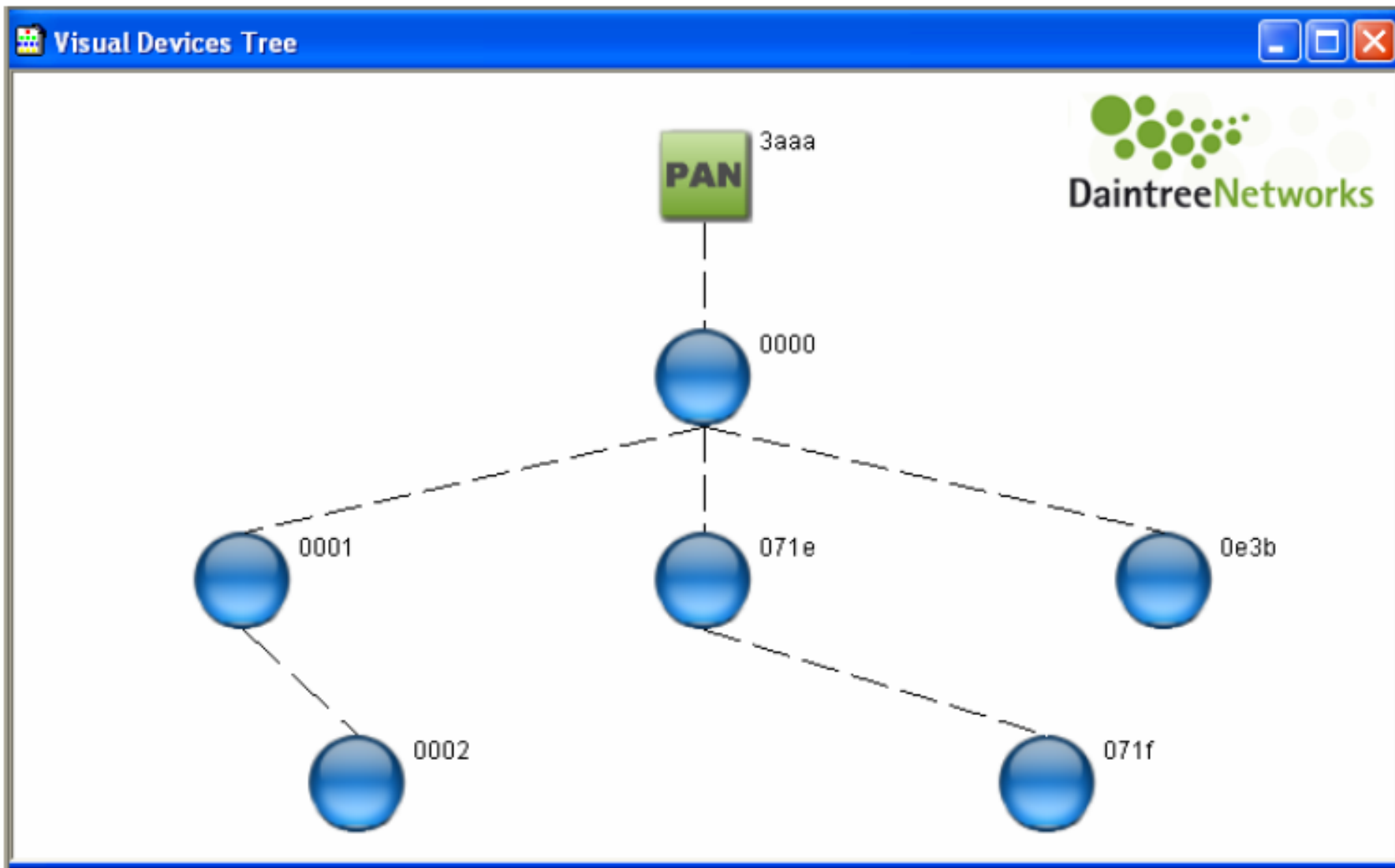


Clustered stars - for example, cluster nodes exist between rooms of a hotel and each room has a star network for control.

— Communications flow



IEEE 802.15.4 – adresowanie

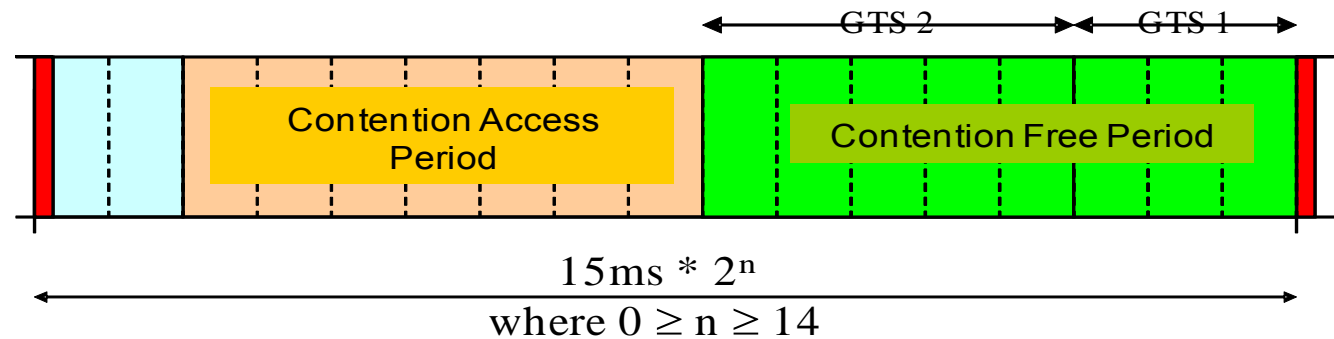




Protokół wielodostępu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) protokół dostępu do medium oparty o mechanizm unikania kolizji. Przed wysłaniem danej każde z urządzeń wysyła sygnał testowy sprawdzający stan medium transmisyjnego, jeżeli kanał transmisyjny nie jest zajęty następuje właściwa transmisja. Protokół CSMA/CA ma zastosowanie w bezprzewodowych sieciach lokalnych.



Ramki wykorzystywane podczas transmisji



Network beacon



Transmitted by network coordinator. Contains network information, frame structure and notification of pending node messages.

Beacon extension period



Space reserved for beacon growth due to pending node messages

Contention period



Access by any node using CSMA-CA

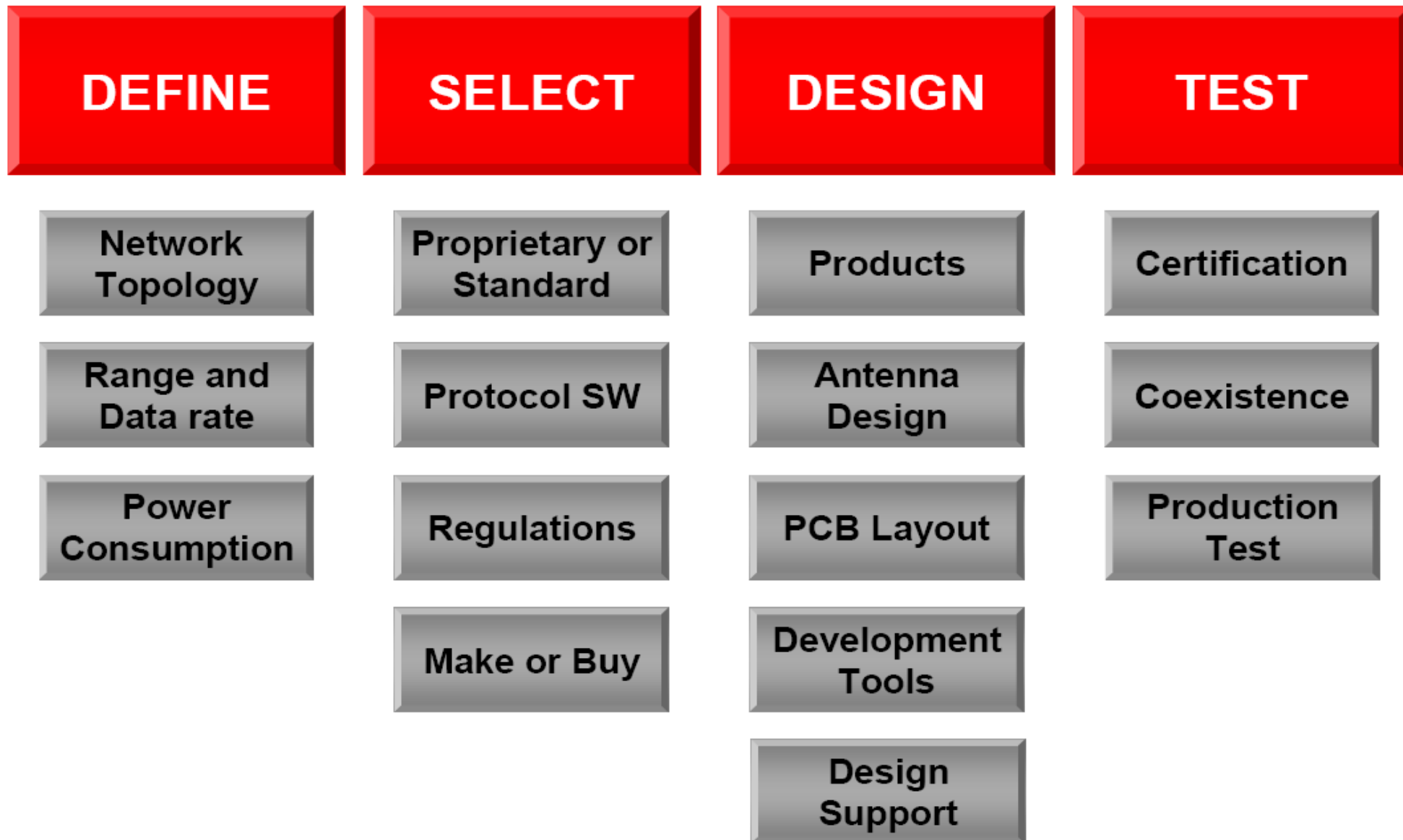
Guaranteed Time Slot



Reserved for nodes requiring guaranteed bandwidth [$n = 0$].

- Koordynator PAN generuje, co jakiś czas ramki ustalające kolejność transmisji,
- możliwość przydzielenie slotów czasowych z gwarantowanym dostępem.

Projektowanie torów transmisyjnych RF



Protokoły wykorzystujące standard IEEE82.15.4

	SimpliciTI™	RF4CE	TI-MAC	ZigBee	Z-Accel
Frequency	1GHz & 2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Standards Based?	No	Yes (802.15.4)	Yes (802.15.4)	Yes (802.15.4)	Yes (802.15.4)
# of nodes	2 - ~30	2-10's	2 - ~100	2 – 100's	2 – 100's
Interop with 3rd parties	No	Yes (if desired)	No	Yes (if desired)	Yes (if desired)
Cost/ Complexity	lowest	lower	lower	highest	higher
Code Size	<8K	<64K	~25K	75K+	~4K on host MCU



Układy RF firmy TI

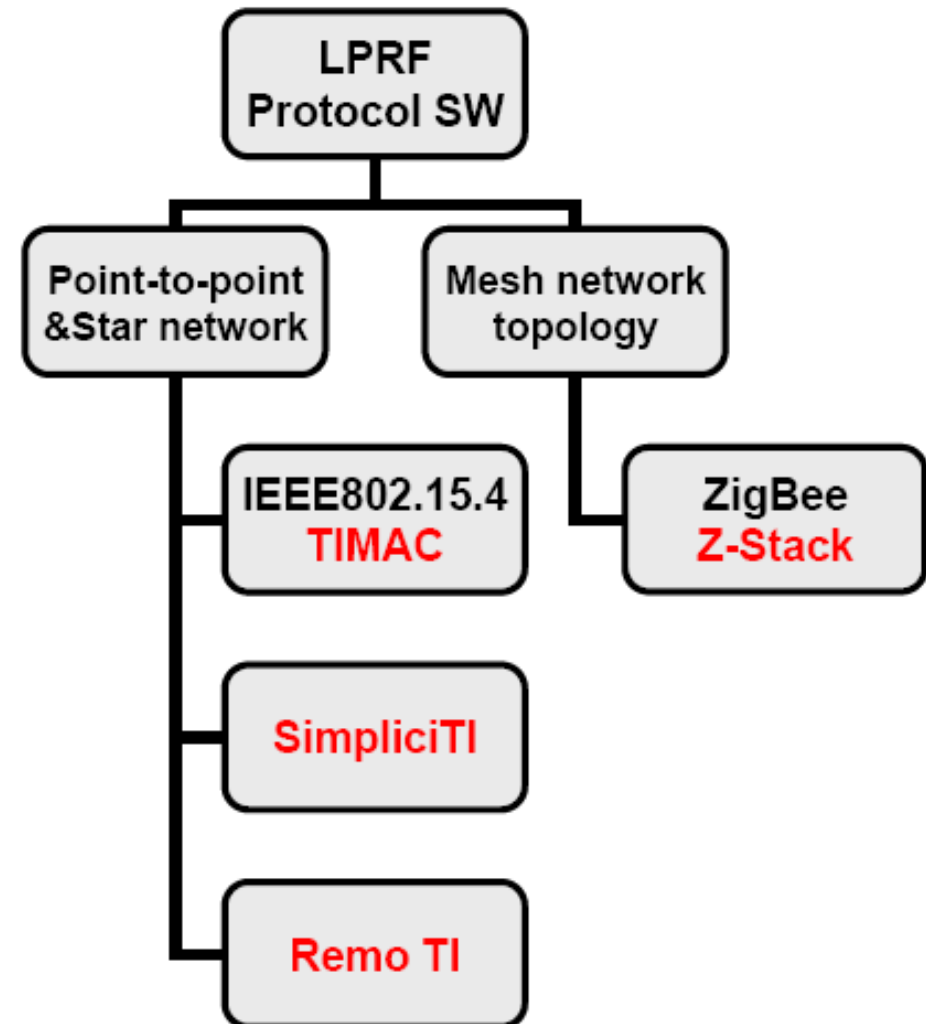
	Any Radio HW + Proprietary SW	SimpliciTI	802.15.4 TIMAC	RF4CE	ZigBee
Topology	Any Topology	Point to Point Star Network	Star Network	Star Network	Mesh
Code Size	variable	< 8 KByte <1 KByte	<32 KByte	<64 KByte	>64 KByte
Complexity	variable	Low	Low	Low	Medium

<8 Kbyte ROM, <1 Kbyte RAM



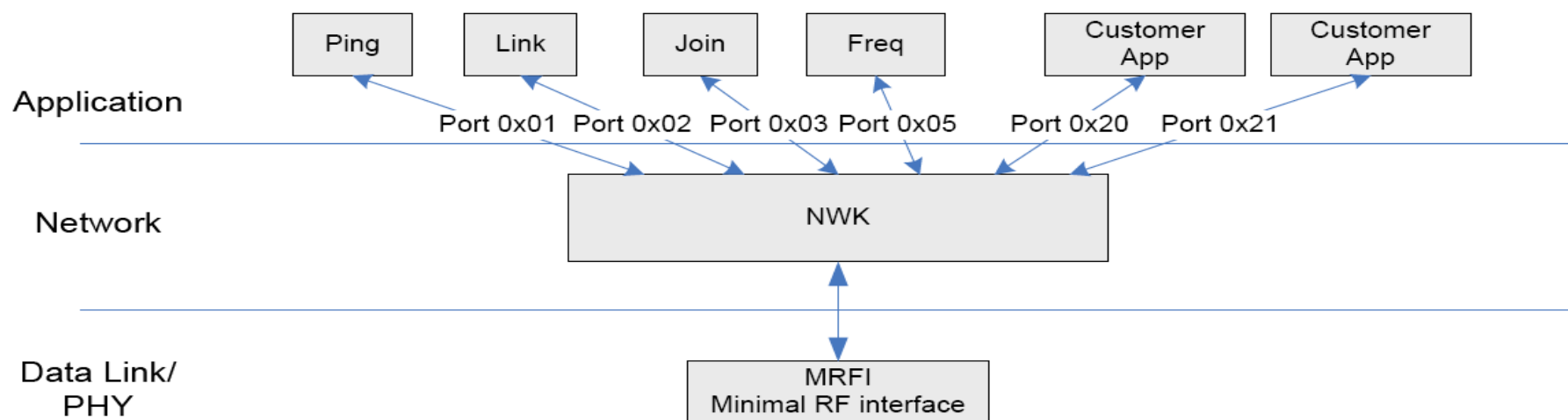
Protokoły transmisji danych

- Z-Stack – Protokół stosu ZigBee (TI)
- TIMAC – Protokół dla urządzeń mobilnych (low data-rate),
- SimpliciTI – prosty protokół dla urządzeń przenośnych, zasilanych bateryjnie, (low data-rate, niski współczynnik wypełnienia, niewielkie sieci, możliwość „usypiania” urządzeń),
- RemoTI – Protokół dla urządzeń zdalnego sterowania (bazujący na IEEE 802.15.4 MAC/PHY).



Protokół SimpliciTI

- Protokół o niskim zużyciu energii opracowany przez firmę TI,
- Szybkość transmisji ~100 kbps,
- Niski koszt implementacji, CPU < 8kB Flash, 1kB RAM,
- Konfiguracja sieci: gwiazda z możliwości komunikacji P2P,
- Wsparcie dla obsługi trybu uśpienia,
- Proste interfejs API (6 podstawowych instrukcji),
- Obsługiwane układy: MSP430+CC1101/CC2500, /CC2520, CC1110/CC1111, CC2510/CC2511, CC2430, CC2530.



SimpliciTI - aplikacje

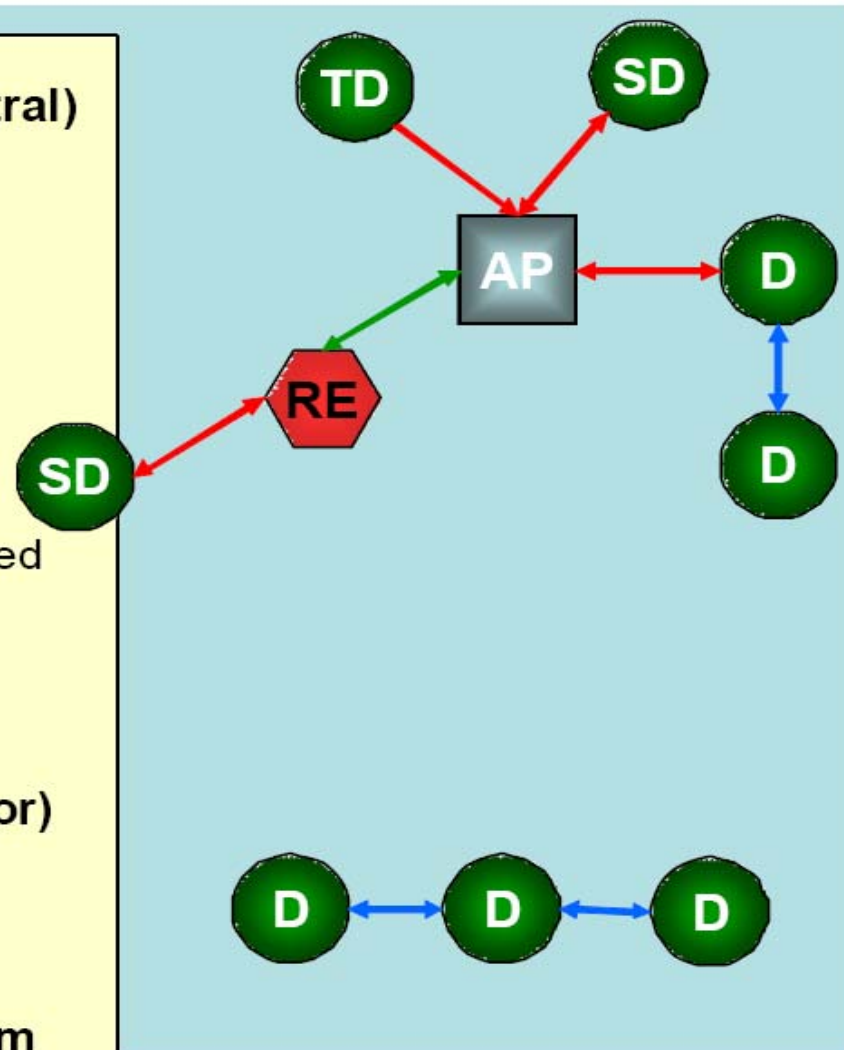
- Alarm and Security – detektory ruchu, oświetlenia, czujniki dymu, CO, detektory zbitcia szyby,
- Automatic Meter Reading (AMR) – automatyczny odczyt liczników gazu, wody, energii, itd...
- Home Automation: sterowanie urządzeniami domowymi (piloty zdalnego sterowania P2P, itd...)



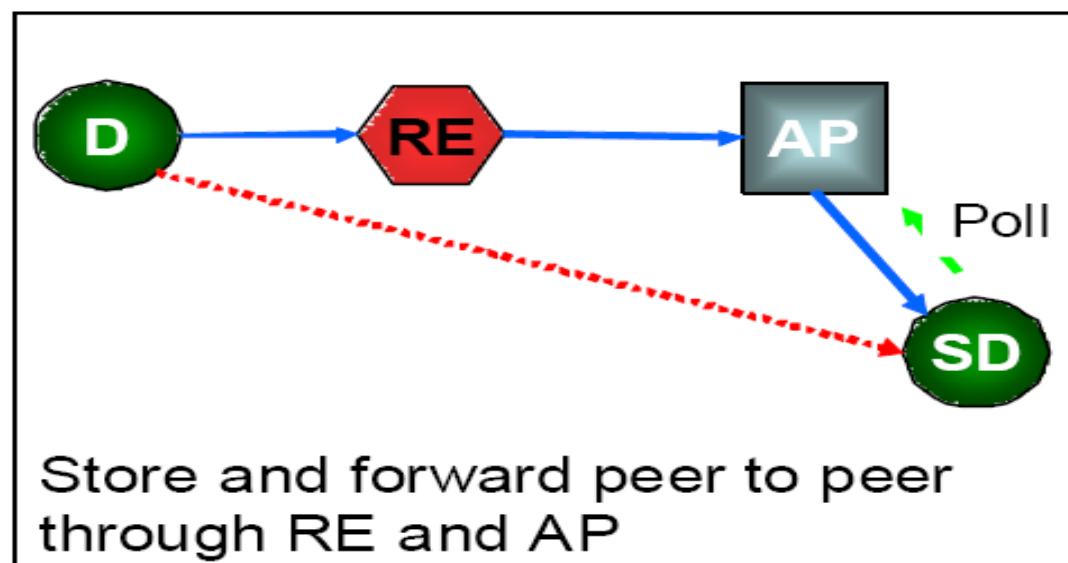
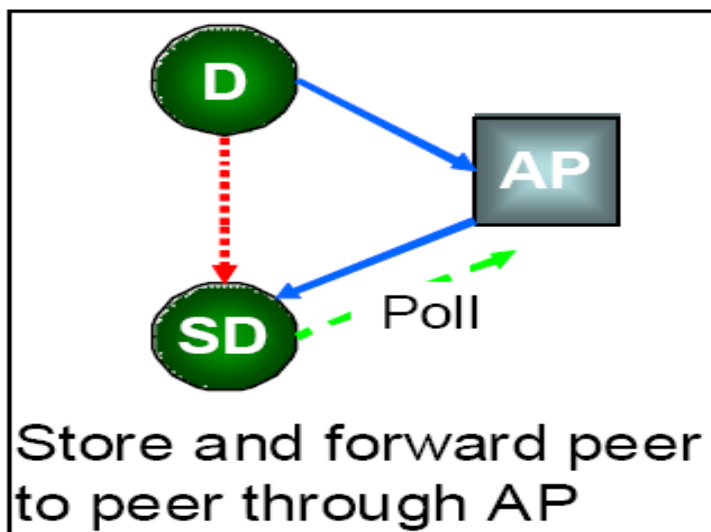
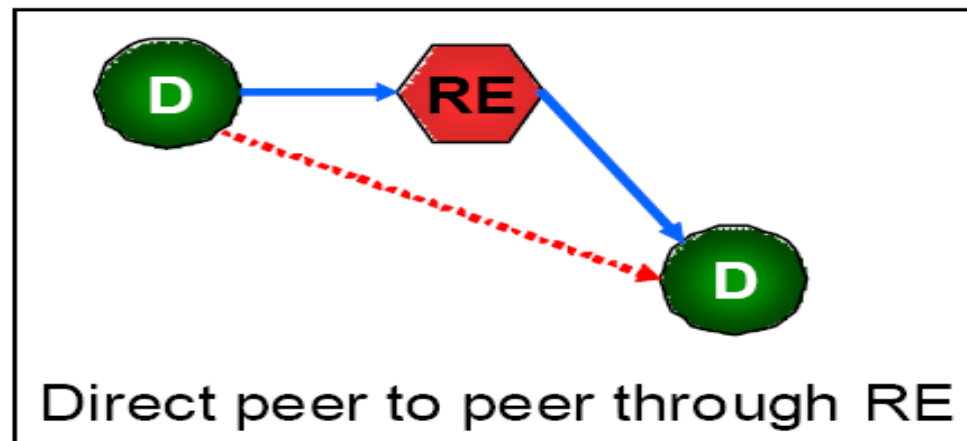
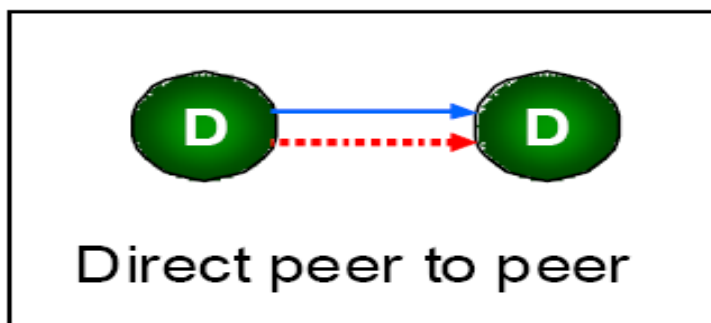
Objects ...

Elementy sieci SimpliciTI

- ◆ **Access Point (AP) (ex. HVAC central)**
 - Acts as Star hub
 - One AP per network allowed
 - Promiscuous mode
 - Always on
- ◆ **Repeater (RE) (ex. Lamp)**
 - Range Extender
 - =4 RE per network recommended
 - Always on
 - Can not talk to other RE's
 - Promiscuous mode
- ◆ **Device (D) (ex. Temperature sensor)**
 - Can sleep (SD)
 - Can transmit only (TD)
- ◆ **Multiple peer to peer links can exist on a single hardware platform**

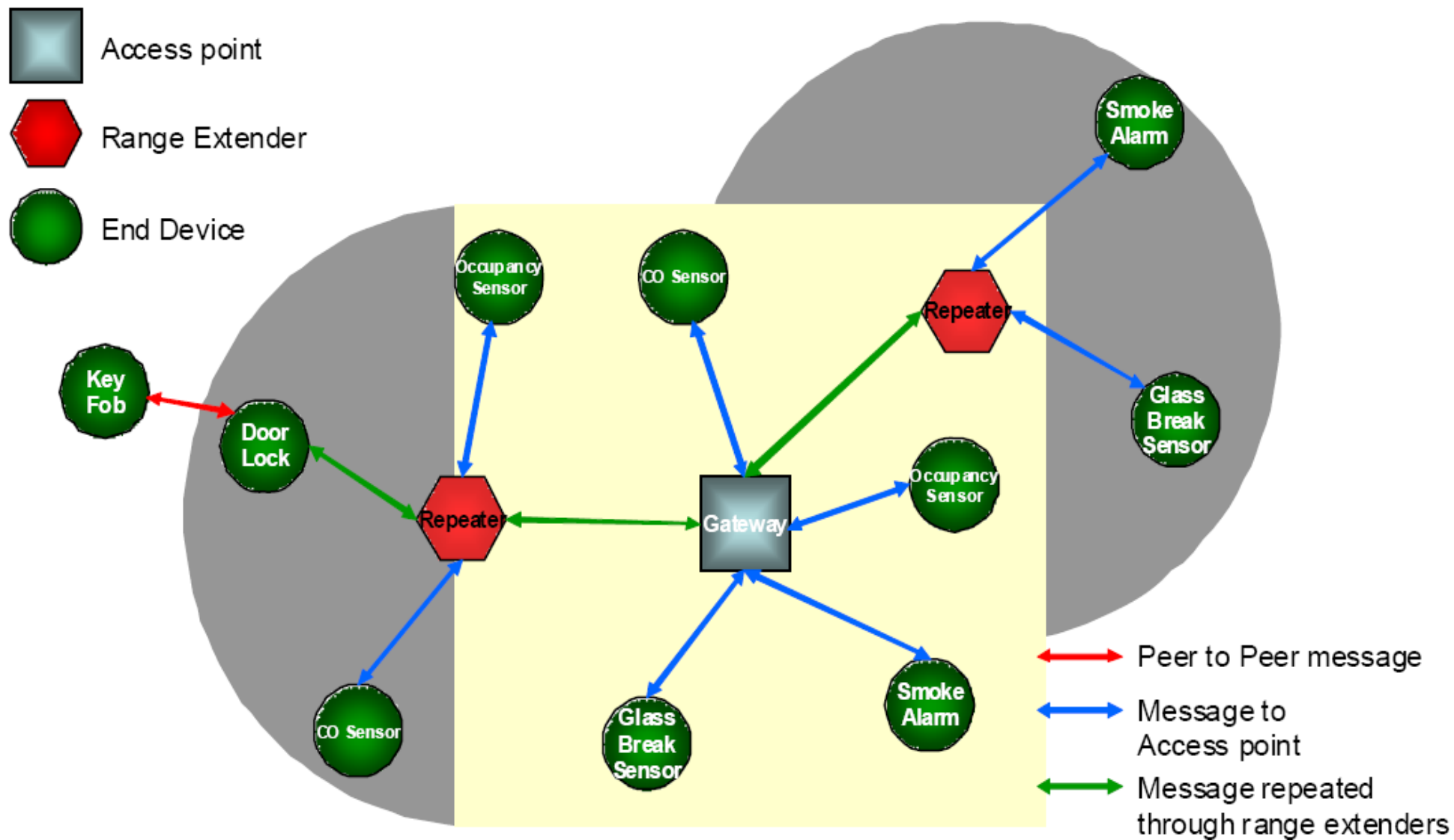


Topologie sieci



Logical path 
Data path 
Network Mgmt 

Przykład zastosowania

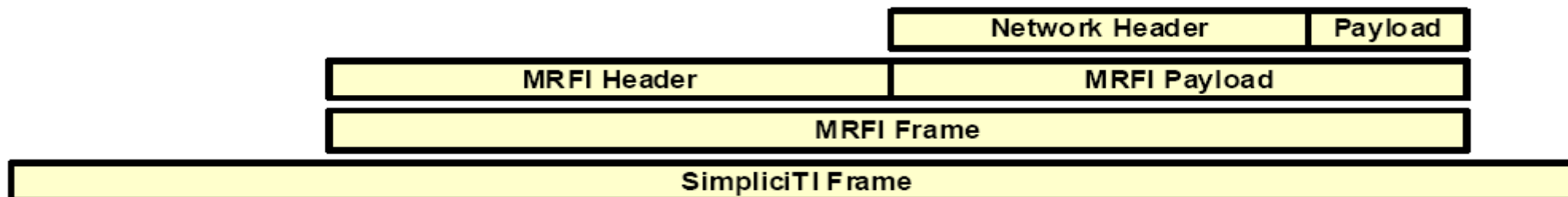


SimpliciTI - szczegóły

- ◆ Utilizes a single MCU timer in software. SPI and I/O pins talk to radio (non SoC targets)
- ◆ Operates on 802.15.4 target (CC2430) or non-802.15.4 capable targets (CC251x/CC2500/CC111x/CC1100)
- ◆ Minimal HW abstraction ... no driver support (UART, SPI, LCD, Timers)
- ◆ No heap utilization (runtime allocation of memory)
- ◆ No runtime (nwk) context storage
- ◆ Single thread (app), no tasks or scheduling
- ◆ Network callback – app can provide callback
- ◆ Retries and acknowledges must be managed by the application
- ◆ Utilizes CCA (Clear Channel Assessment) “listen-before-talk” methodology for transmit

SimpliciTI – ramka danych

PREAMBLE	SYNC	LENGTH	Misc	DST ADDR	SRC ADDR	PORT	DEVICE INFO	TRACT ID	App Payload	FCS
RD*	RD*	1	RD*	4	4	1	1	1	n	RD*



Field	Definition	Comments
PREAMBLE	Radio synchronization	Inserted by Radio HW
SYNC	Radio synchronization	Inserted by Radio HW
LENGTH	Length of remaining frame in bytes	Inserted by FW on Tx, Partially filterable on Rx.
MISC	Radio dependent (needed for future IEEE radio support)	Currently set to 0.
DSTADDR	Destination address	Inserted by FW. LSB filterable. 0x00 and 0xFF LSB values reserved for broadcast. LSB:MSB formatted.
SRCADDR	Source address	Inserted by FW
PORT	Application port number (bits 5-0)	Inserted by FW. Port 0x20-0x3D for customer applications, Port 0x00-0x1F for NWK applications
DEVICE INFO	Receiver type (bit 7-6), Sender Type (5-4) & Hop count (2-0)	Inserted by FW.
TRACTID	Transaction ID	Inserted by FW. Discipline depends on context.
APP PAYLOAD	Application data	$0 \leq n \leq 52$ (50 if FCS)
FCS	Radio append bytes	CRC checksum (Tx), RSSI, LQI and CRC status (Rx)

Proste API

◆ Initialization

- ◆ `smplStatus_t SMPL_Init(uint8 (*pCB)(linkID));`

◆ Linking (bi-directional by default)

- ◆ `smplStatus_t SMPL_Link(linkID_t *linkID);`
- ◆ `smplStatus_t SMPL_LinkListen(linkID_t *linkID);`

◆ Peer-to-peer messaging

- ◆ `smplStatus_t SMPL_Send(linkID_t lid, *msg, uint8 len);`
- ◆ `smplStatus_t SMPL_Receive(linkID_t lid, *msg, *uint8 len);`

◆ Run time configuration

- ◆ `smplStatus_t SMPL_ioctl(Object_t object, ioctlAction_t action, void *val);`



ZigBee i SimpliTI - porównanie

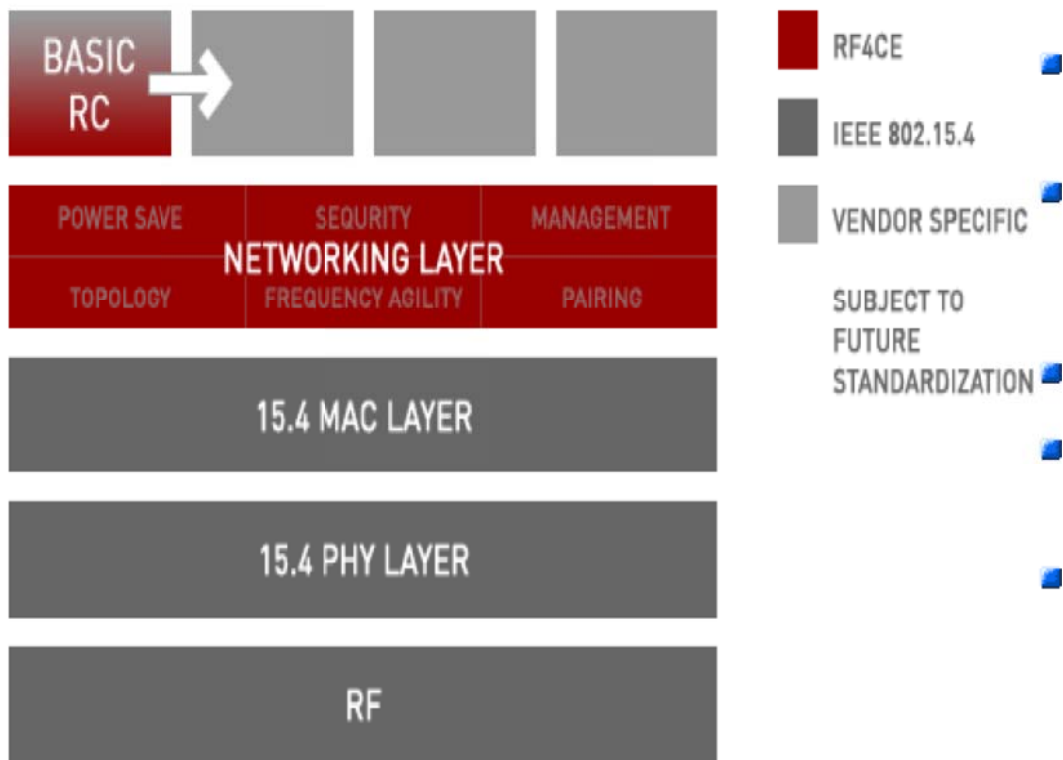
	SimpliciTI	ZigBee
Network properties:		
Mesh network	No	Yes
Typical number of nodes	from 2 to ~30	from 2 to hundreds
Peer to Peer and Star network	Yes	Yes
Hardware and software:		
Hardware	Any MSP430 + ChipCon TRX or 8051 SoC	MSP430F2418 + CC2420, CC2430
Frequency & modulation	Any TI radio: <1GHz, 2.4GHz, standard or proprietary	IEEE 802.15.4 DSSS, 2.4GHz
S/W object distribution	Free download	Free download
S/W source code	Free download	Not required for development.
Compiled code size on MSP430	~4k depending on configuration	50-60k depending on configuration
Interoperability between vendors:	No	Optional
Encryption	Yes, 128bit AES on enabled HW devices, other in software.	Yes, 128bit AES

Standard RF4CE (RemoTI)

- RF4CE (Radio Frequency for Control Equipment) – standard przeznaczony do globalnego, zdalnego sterowania urządzeń powszechnego użytku.



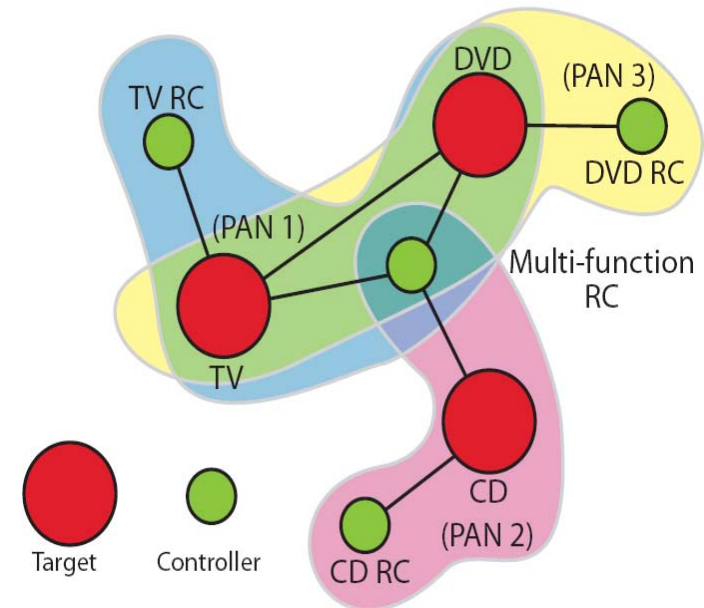
Standard RF4CE (RemoTI)



- RF4CE - Radio Frequency for Consumer Electronics,
- Bazuje na specyfikacji 2.4 GHz PHY/MAC IEEE 802.15.4, kanały 15, 20, 25,
- Przeznaczony do bezprzewodowego sterowania urządzeniami (RF),
- Komunikacja dwustronna (np. Internet dostępny z poziomu pilota TV),
- Możliwość zmiany częstotliwości pracy w celu uniknięcia interferencji (frequency hopping),
- Tryb oszczędzania energii,
- Mechanizmy wykrywania urządzeń RF4CE,
- Architektura typu wielokrotna-gwiazda z możliwością komunikacji wewnątrz sieci (PAN),

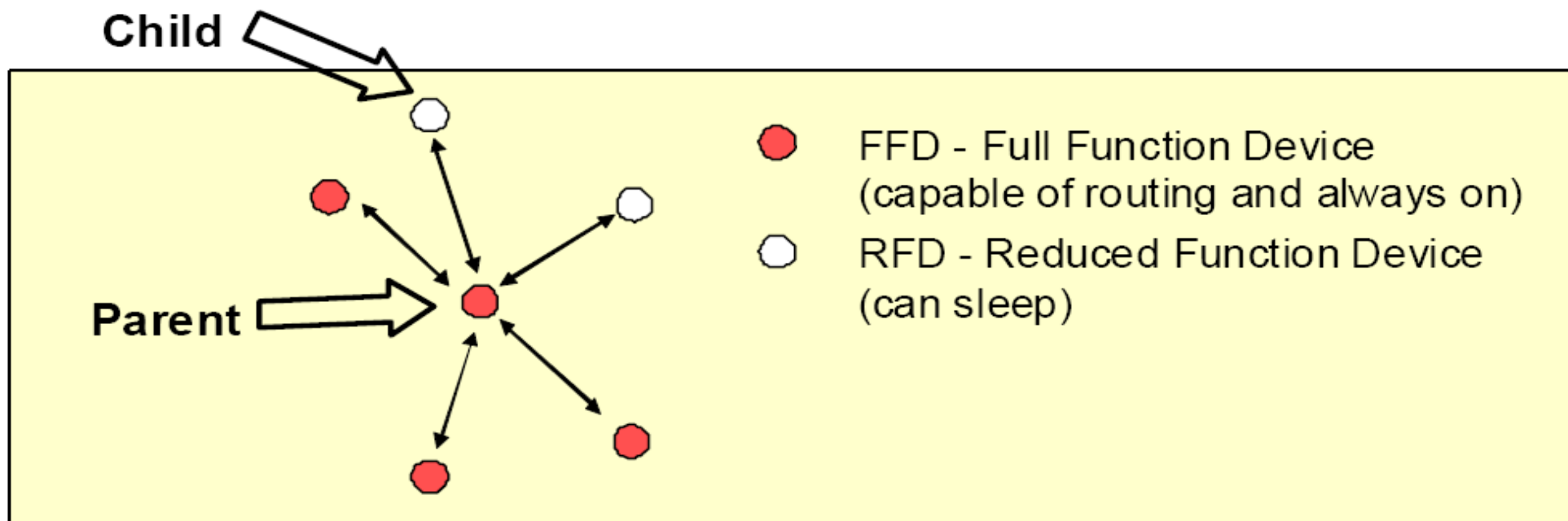
Standard RF4CE

- Do pracy niezbędne jest utworzenie sieci pomiędzy:
 - Urządzeniem sterującym (controller node, RF remote controls),
 - Urządzeniem docelowym (target node), np. TV, STB, itd...,
- Wbudowane procedury parowania urządzeń,
 - Przed użyciem urządzenia należy przeprowadzić procedurę parowania urządzeń,
- Szyfrowanie połączenia AES-128.
 - Możliwość nawiązania bezpiecznego połączenia, generowanie kluczy szyfrujących,
- Możliwość tworzenia niewielkich sieci (tworzenie „skryptów” sterujących), np. PC, TV, STB, system stereo, itd...



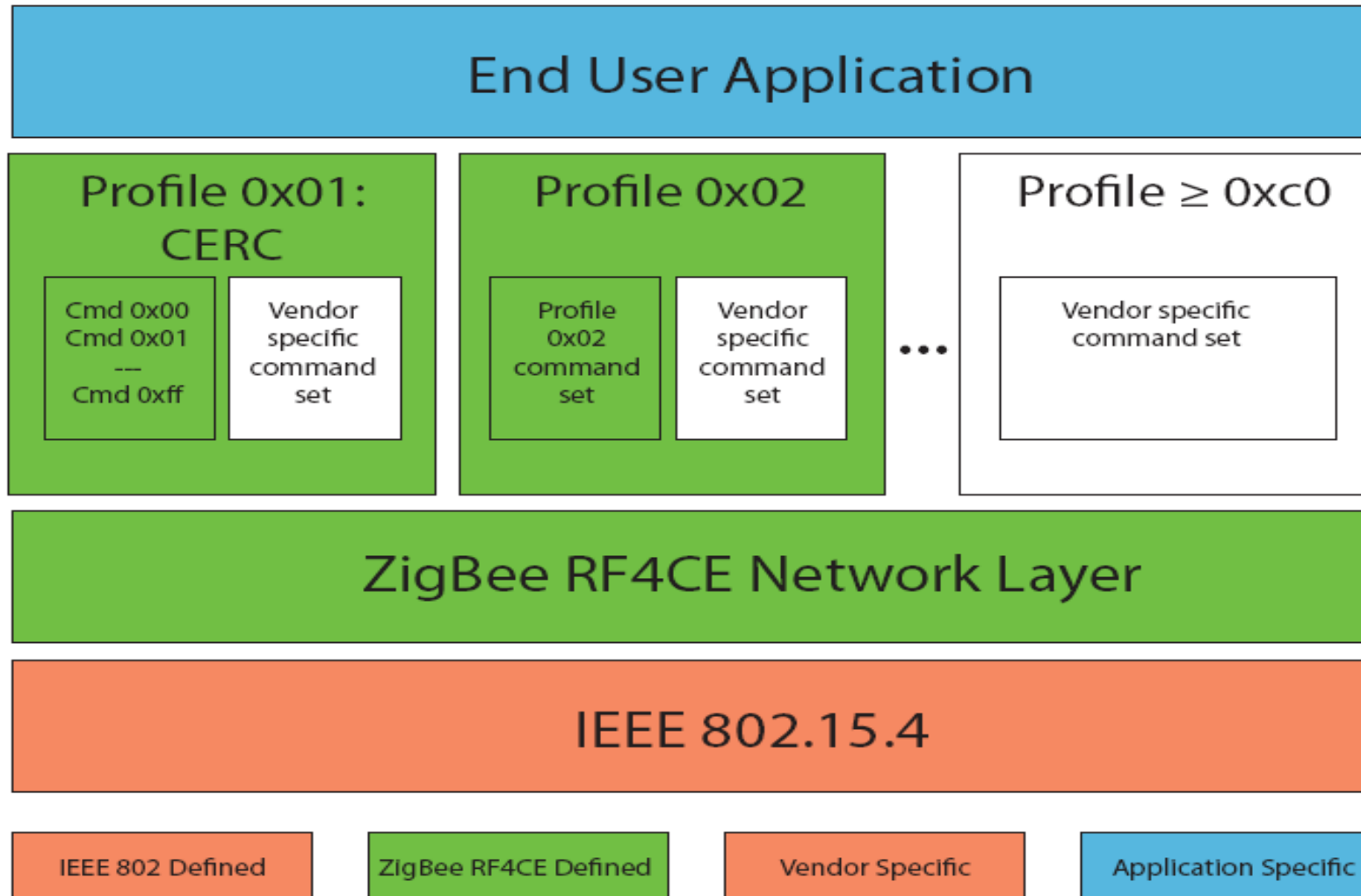
Topologia sieci

- Standard udostępnia topologię typu gwiazda, nazywaną czasami: rodzice-dzieci.



- ◆ Children communicate indirectly via Parent
- ◆ Parent buffers message data
- ◆ If Child sleeps, it polls Parent for messages on wakeup

Architektura standardu RF4CE



Transmisja z wykorzystaniem pakietów „beacon” (1)

Beacon



- Parent provides a periodic beacon
- Networked devices synchronize with beacon and only communicate during the active communication period

Non-Beacon



- Networked device requests Parent beacon
- Networked devices are free to communicate (using CSMA/CA rules) at any time

Transmisja z wykorzystaniem pakietów „beacon” (2)

◆ Beacon Configuration



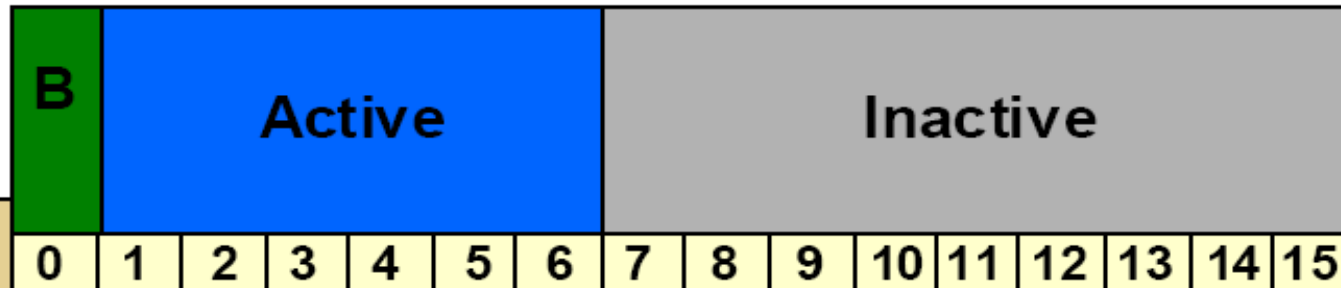
- ◆ Parent may sleep during the inactive portion of the frame
- ◆ Children don't have to poll for data, beacon notifies them
- ◆ Reduced polling optimizes channel bandwidth
- ◆ Children get a quick response time when data is available

◆ Non-Beacon Configuration



- ◆ no overhead of periodic beacons
- ◆ parent on at all times to receive communication
- ◆ data can be polled at any time
- ◆ allows for Peer to Peer communication to eventually build full “mesh”

802.15.4 MAC Superframe



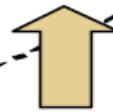
- ◆ Parent defines Superframe
- ◆ Beacons ...
 - synchronize attached children
 - identify the PAN
 - describe the Superframe structure
- ◆ Superframe is divided into 16 equally size slots
- ◆ Optional active/inactive periods
- ◆ Parent may sleep during inactive period

Struktura ramki RF4CE

PHY Header



Payload length



- ◆ 802.15.4 PHY supports 128 byte packets preceded by a preamble and SFD for synchronizing on the packet
- ◆ Chipcon parts provide automatic filtering and buffering

MAC Header



2 bytes

1 byte

4 to 10 bytes

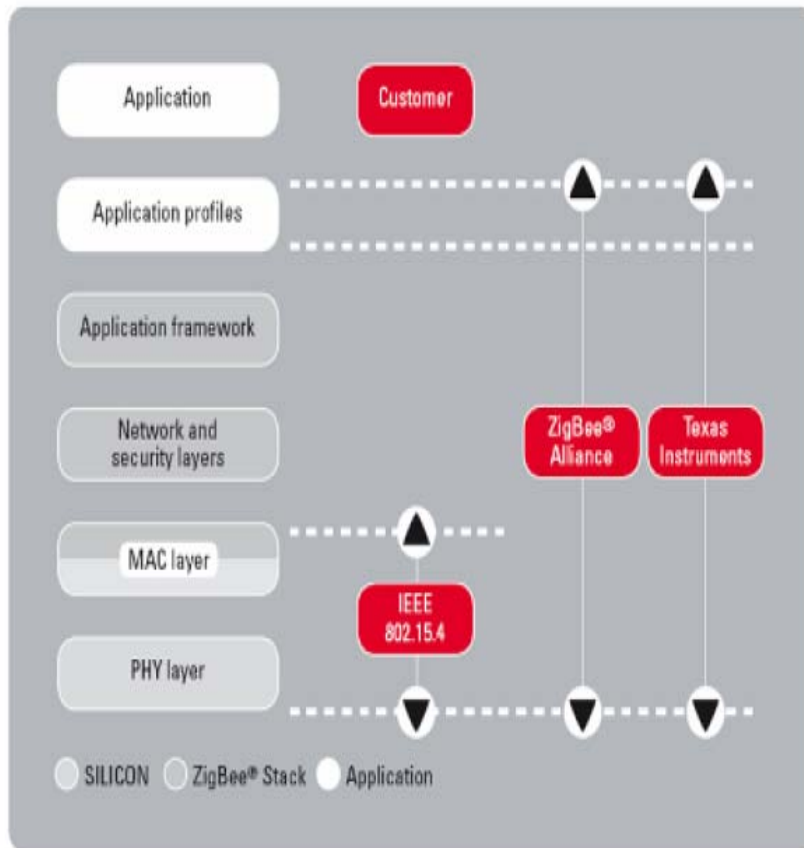
variable



- Available frame types:
- ◆ Beacon Frame
 - ◆ Command Frame
 - ◆ Data Frame
 - ◆ Ack Frame

PIB

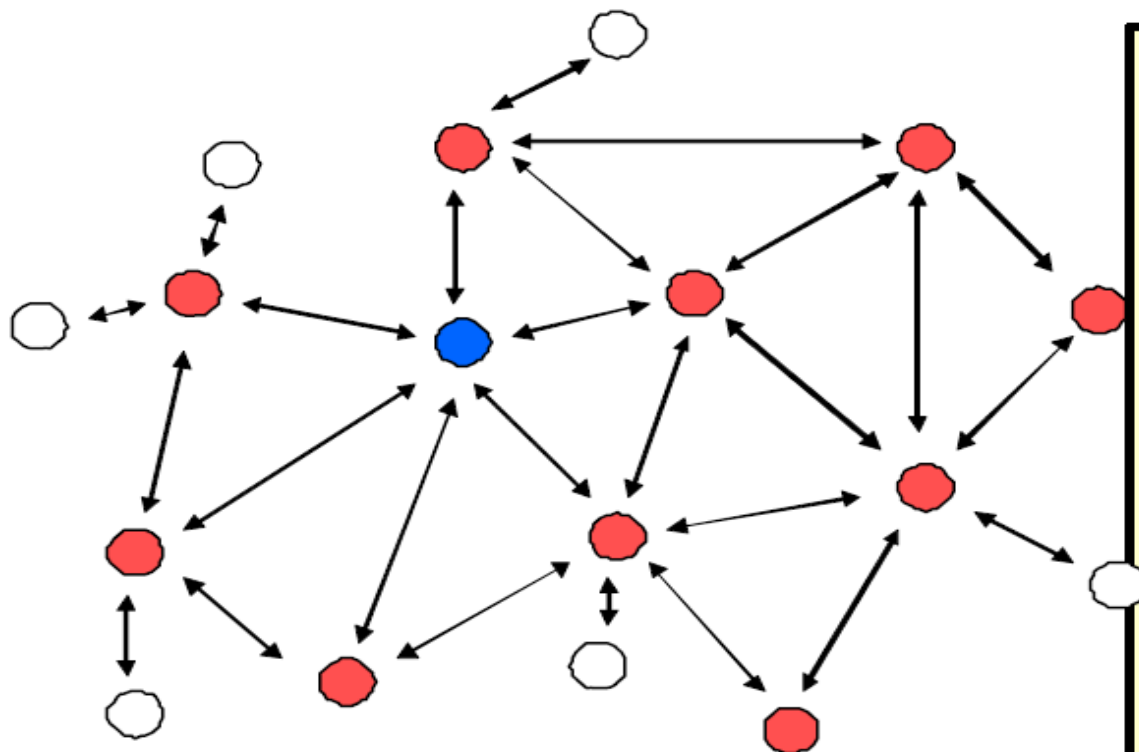
Standard ZigBee






- Topologia sieci: gwiazda, drzewo (tree) lub siatka (mesh),
- Sieci złożone z setek węzłów,
- Ustandarysowany protokół (ZigBee stack),
- Warstwa fizyczna oraz MAC zgodne z IEEE802.15.4



Struktura sieci ZigBee

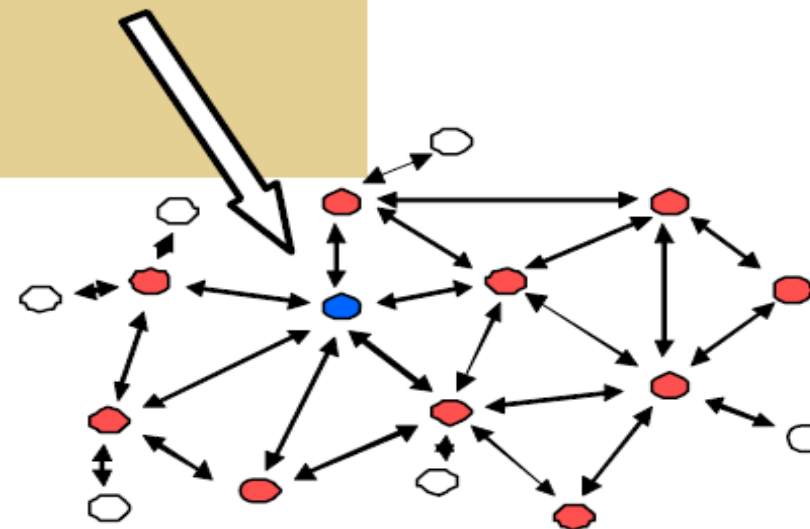


- ◆ Devices are pre-programmed for their network function

-  ZigBee **Coordinator**
Starts the Network
Routes packets
Manages security
Associates Routers and End Devices
Example: Heating Central
-  ZigBee **Router**
Routes packets
Associates Routers and End Devices
Example: Light
-  ZigBee **End Device**
Sleeps most of the time
Can be battery powered
Does not route
Example: Light switch

Koordynator sieci ZigBee

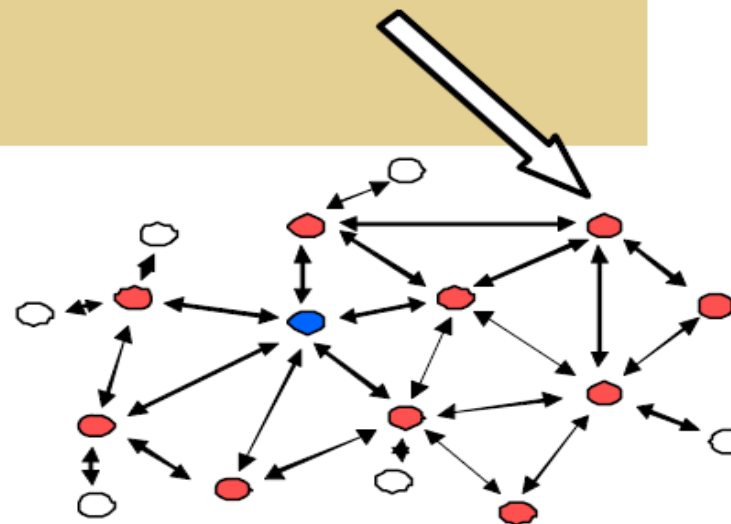
- ◆ Starts a non-beaconed PAN
- ◆ Allows other devices to join it
- ◆ Buffers messages for sleeping End Devices
- ◆ Provides binding and address-table services
- ◆ Routes messages
- ◆ Dynamically repairs routing
- ◆ Can have I/O capability
- ◆ Manages security
- ◆ Radio always on



Router ZigBee

Router

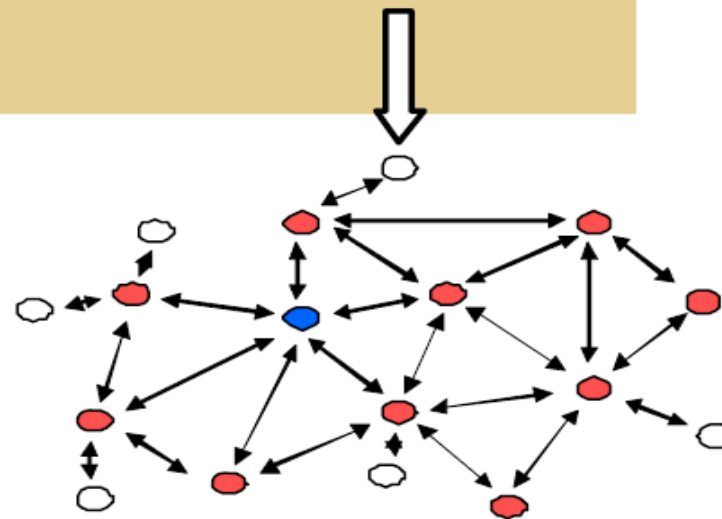
- ◆ Does not own or start PAN (Scans to find a network to join)
- ◆ Allows other devices to join it after PAN has been started
- ◆ Routes messages
- ◆ Dynamically repairs routing
- ◆ Buffers messages for sleeping End Devices
- ◆ Support secure messaging
- ◆ Can have I/O capability
- ◆ Radio always on



Urządzenie końcowe ZigBee

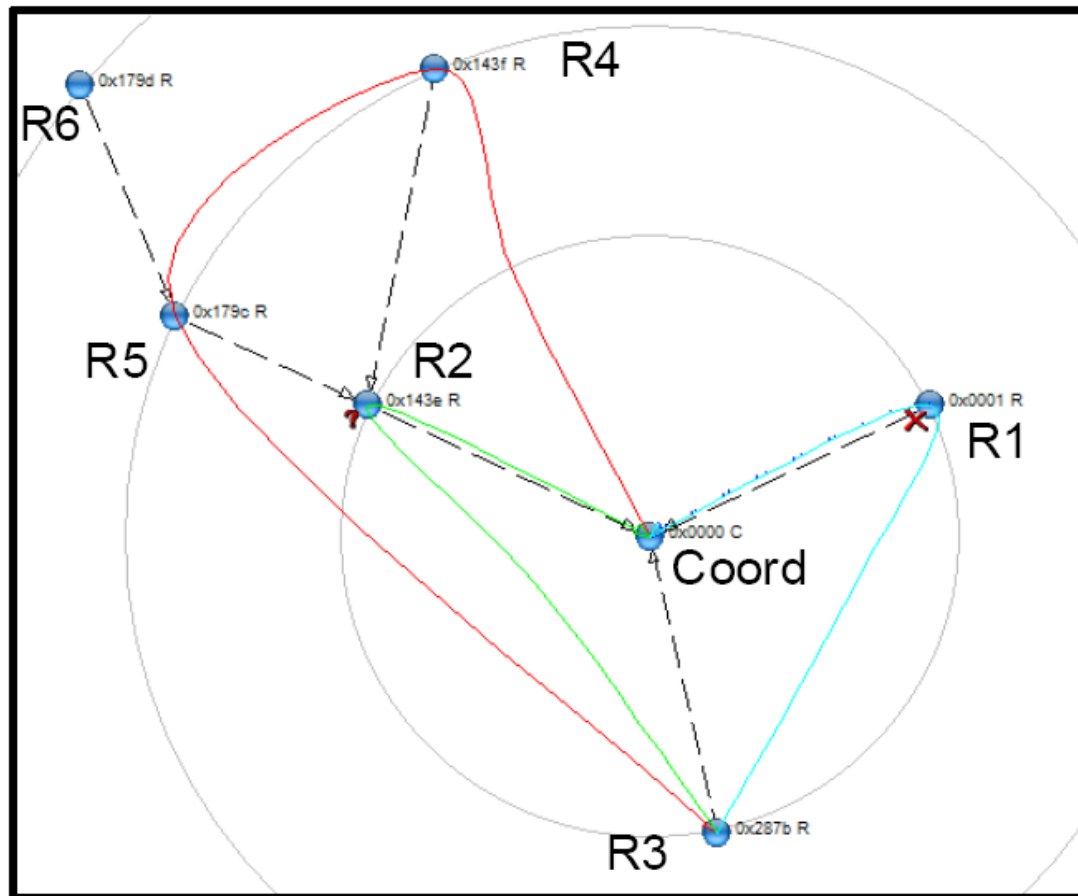
End Device

- ◆ Does not:
 - ◆ route messages
 - ◆ own or start network
 - ◆ allow other devices to join it
- ◆ Scans to find a PAN to join
- ◆ Polls parent to get messages (can be disabled)
- ◆ Can be mobile
- ◆ Radio/CPU can sleep








Zaawansowany protokół routowania

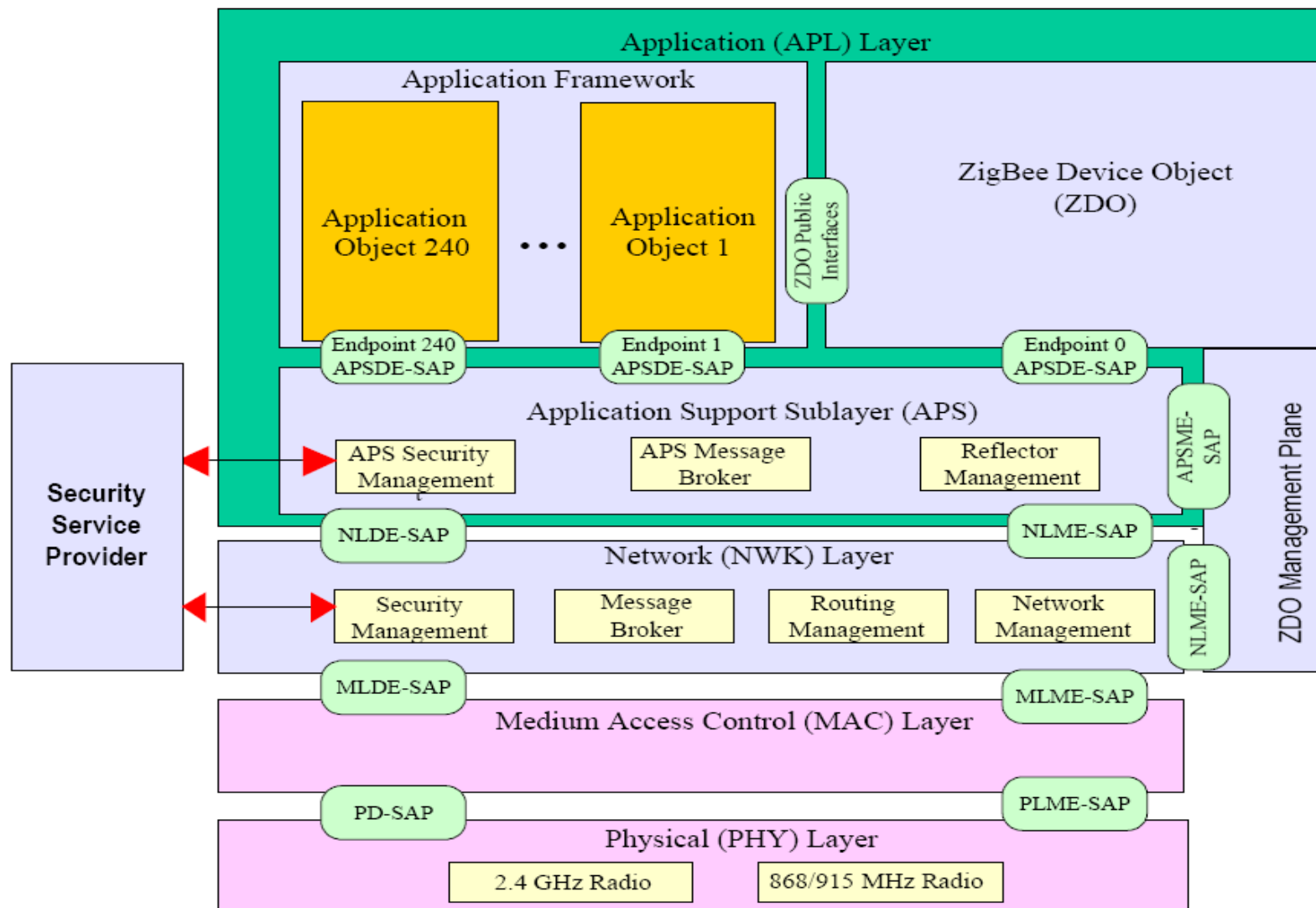
1. Coordinator sends msgs to R3 via R1 (blue path), then R1 fails
2. Coordinator sends msgs to R3 via R2 (green path), then R2 fails
3. Coordinator sends msgs to R3 via R4 and R5 (red path)



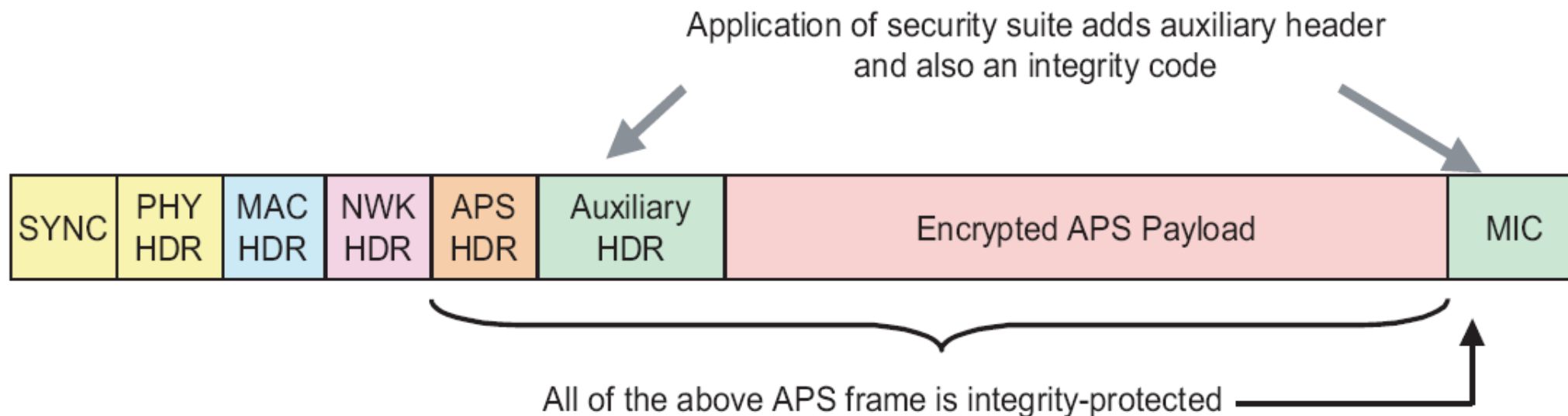


Stos protokołu ZigBee

-  IEEE 802.15.4 defined
-  ZigBee™ Alliance defined
-  End manufacturer defined
-  Layer function
-  Layer interface



Ramka protokołu ZigBee





Układy RF firmy TI



Alarm and Security



CC111x
Sub 1 GHz SoC
 32KB Flash, USB 2.0
 0.3 uA sleep current



CC1101
Sub 1 GHz Transceiver
 + MSP430 MCU,
 500 Kbps
 -112dBm sensitivity

Remote Controls

CC2530
RF4CE
 IEEE 802.15.4 compliant
 System on Chip
 RemoTI SW



CC2500
2.4 GHz Transceiver
 +MSP430 MCU
 Proprietary solution



Smart Metering



CC2530
ZigBee
 System on Chip
 IEEE 802.15.4 compliant
 + CC259x Range Extenders

CC1020
Narrowband
 12.5 KHz channel spacing
 -118dBm sensitivity

Wireless Audio

CC2505S
PurePath™ Wireless
 Coming Soon
 High Quality
 Wireless Audio



CC2590
2.4 GHz Range Extender

Home Automation & Lighting



CC2480
Network Processor
 fully certified ZigBee 2006
 Software Stack

CC2431
Location Tracking
 System on Chip
 Solutions



Sport & HID

CC2540
Bluetooth Low Energy
 Coming Soon
 BTLE compliant

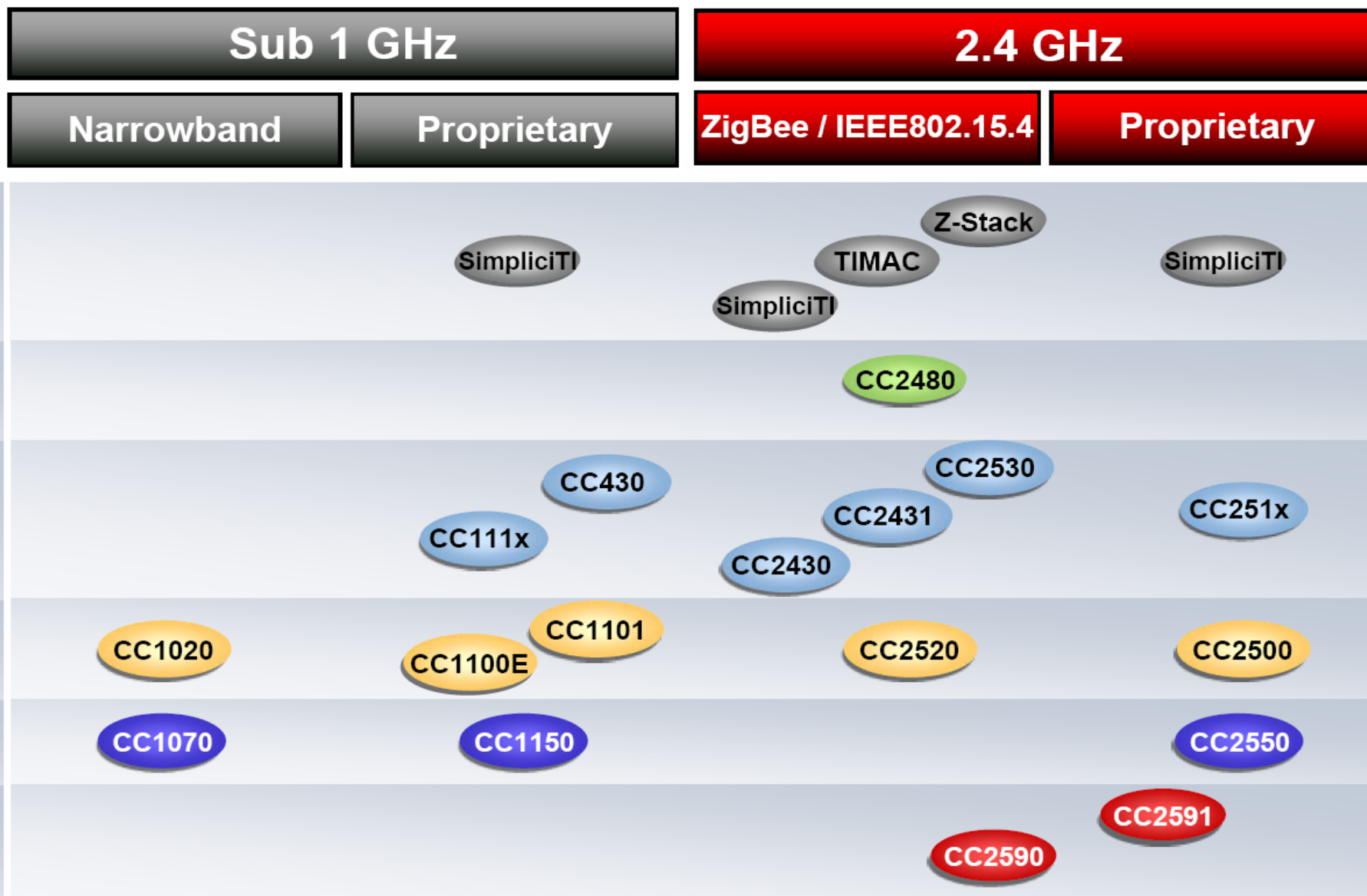


CC251x
2.4 GHz Radio
 8051 MCU,
 32 KB Flash, USB



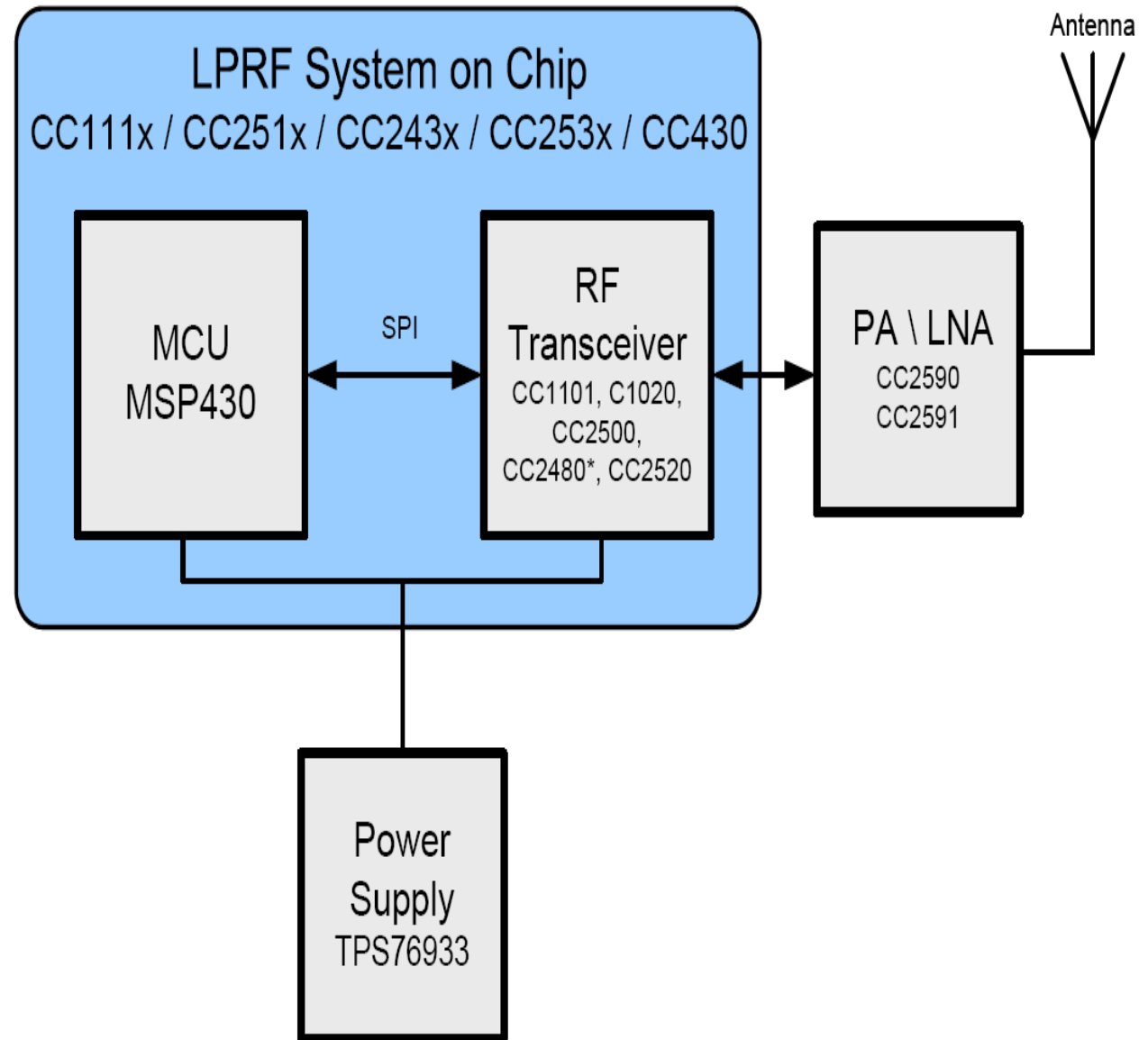


Układy RF firmy TI

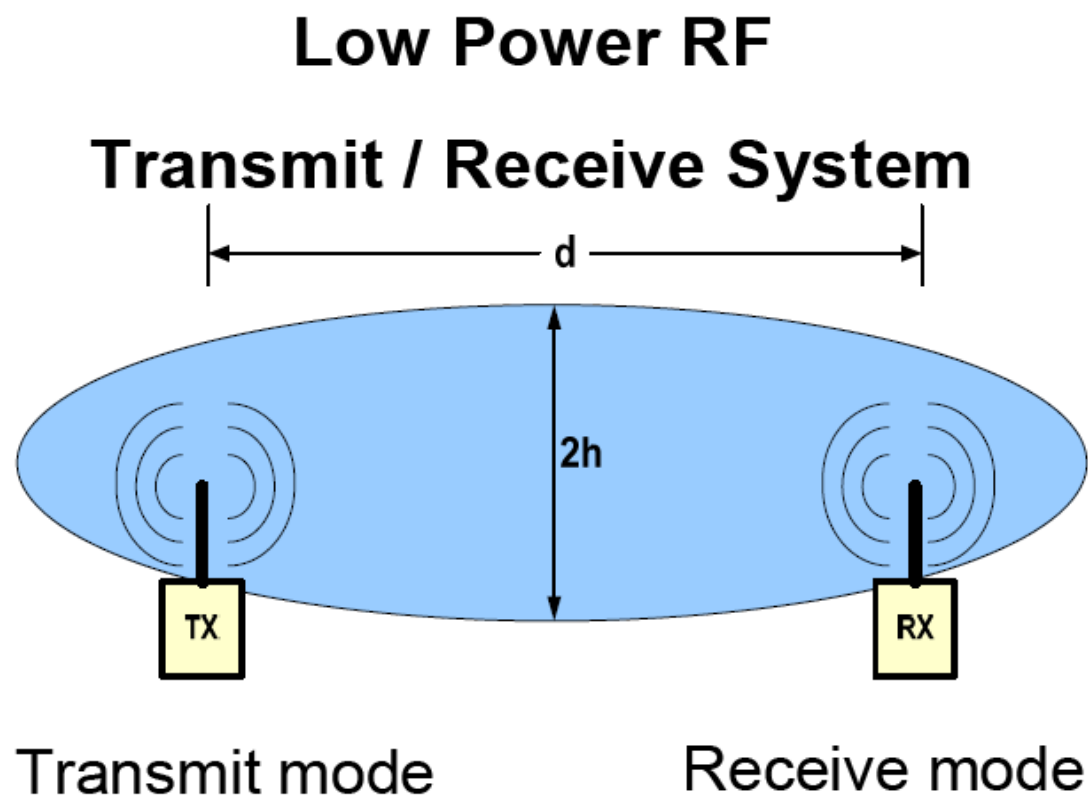


Systemy wbudowane – transmisja RF

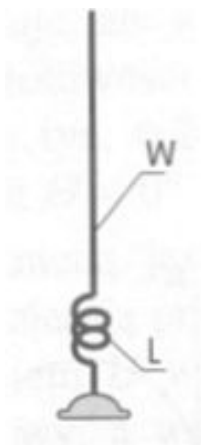
- Potrzebne układy:
 - Mikrokontroler,
 - Transceiver RF,
 - Antena (PCB) + układ dopasowania,
 - System zasilania.
- Wyposażone dodatkowo:
 - Repeater (CC259x),
 - Wzmacniacz mocy.



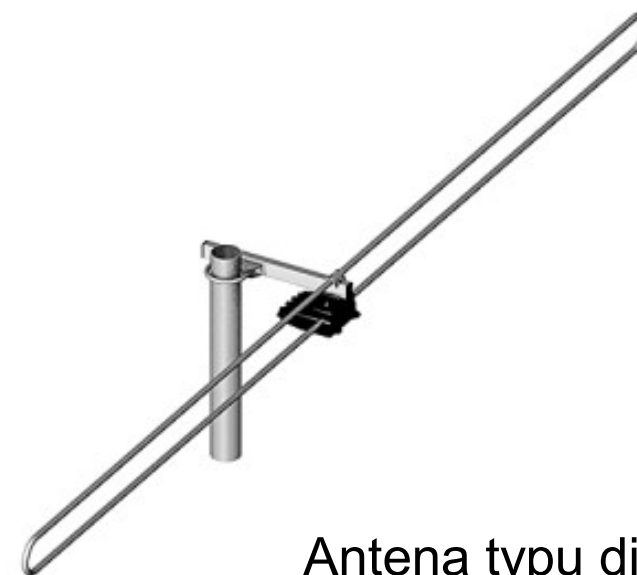
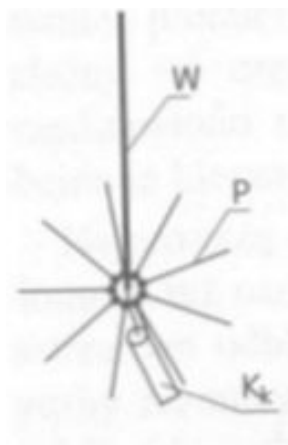
- Antena jest kluczowym elementem toru nadawczo-odbiorczego mający duży wpływ na jakość transmisji,
- Antena zapewnia zamianę sygnału na fale elektromagnetyczne podczas nadawania oraz zamianę fal elektromagnetycznych występujących w eterze na sygnał elektryczny podczas odbioru,
- Każdą antenę cechują:
 - charakterystyka promieniowania,
 - polaryzacja fali,
 - zysk energetyczny,
 - Impedancja falowa.



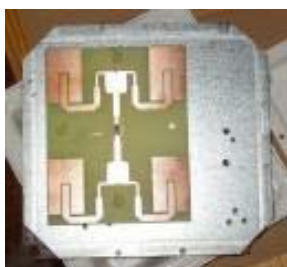
Rodzaje anten



Antena dookólna niesymetryczna



Antena typu dipol



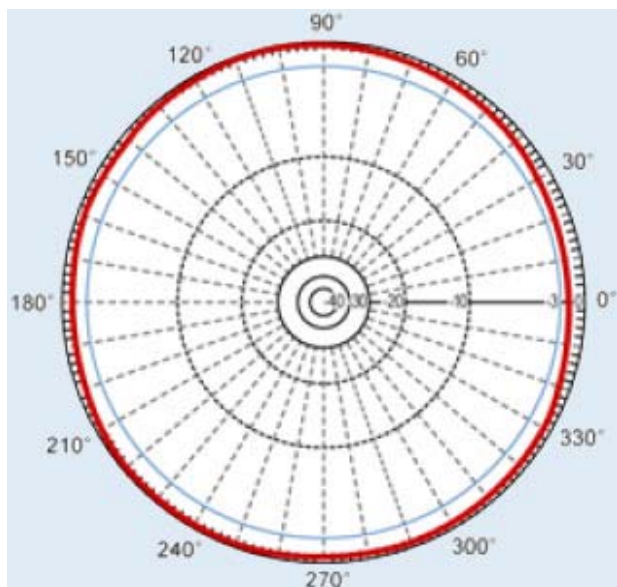
Anteny mikropaskowe



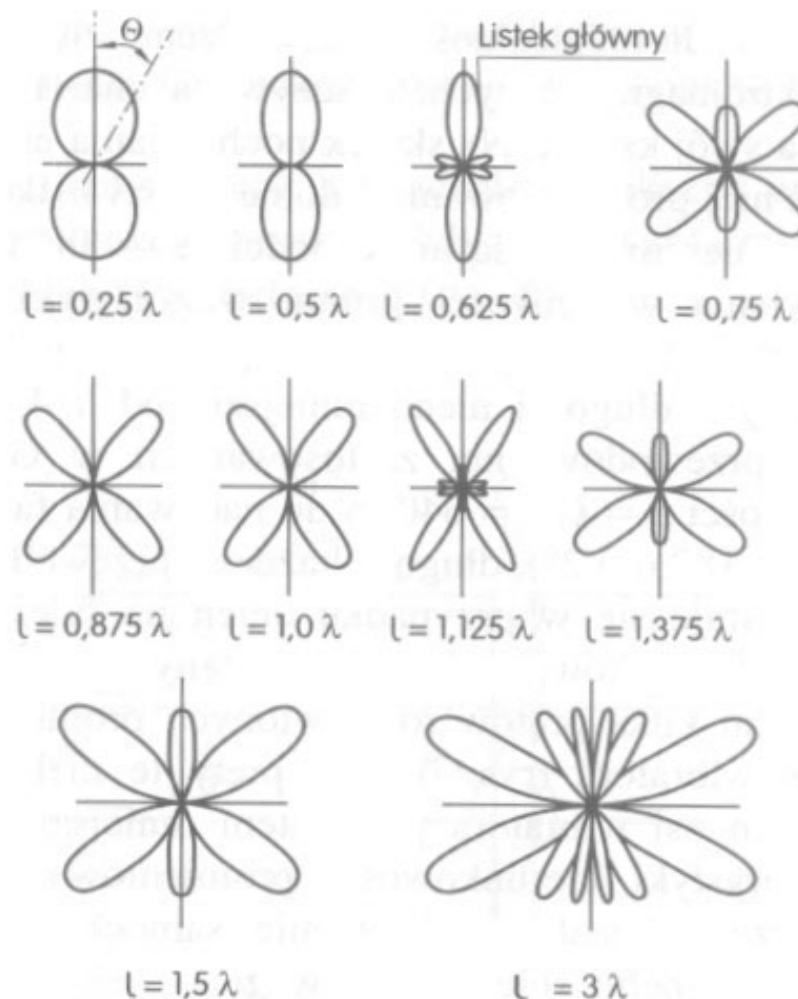
Antena typu Yagi-Uda

Charakterystyka kierunkowości promieniowania anteny

- Antena izotropowa promieniuje tak samo we wszystkich kierunkach,
- Antena dipolowa ma charakterystykę zależną od długości fali,
- Dołożenie dodatkowych elementów (reflektory, direktory) umożliwia kształtowanie charakterystyki anteny (antena kierunkowa) i zwiększenie zysku energetycznego.



Charakterystyka anteny dookólnej

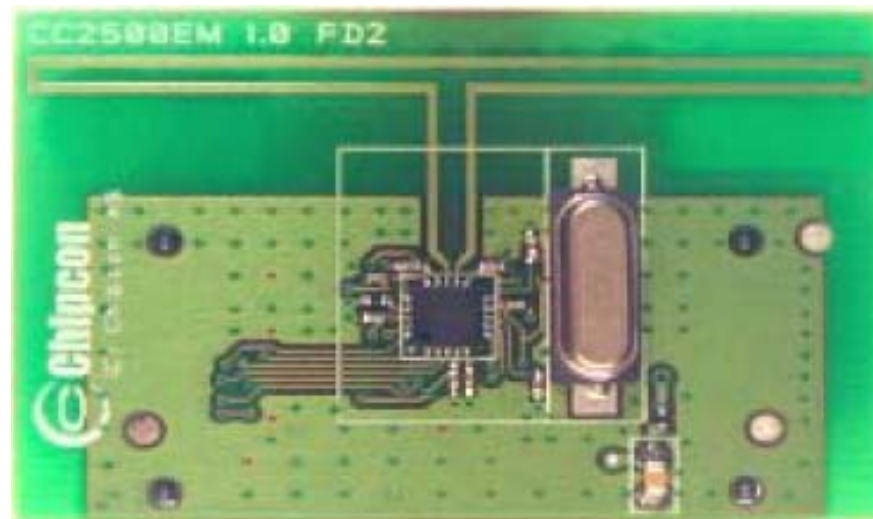


Charakterystyki dla dipola

Porównanie anten stosowanych w systemach wbudowanych

Antena PCB:

- Brak dodatkowych kosztów związanych z produkcją anteny,
- Wymaga większej powierzchni PCB,
- Znaczne rozmiary dla małych częstotliwości,
- Projekt anteny wymaga doświadczenia i specjalizowanego oprogramowania.



Antena bagnetowa:

- Koszt: > 1 dolara,
- Prosta konstrukcja,
- Umożliwia uzyskanie stosunkowo dużego zasięgu,
- Antena przeznaczona dla urządzeń, które nie mają ograniczonych rozmiarów,
- Rozmiar anteny silnie zależy od częstotliwości ($f > \sim 10$ MHz).



Antena mikropaskowa PCB

Projekt anteny: częstotliwość vs rozmiar

Niższe częstotliwości -> większy zasięg,

Obniżenie częstotliwości dwa razy podwaja zasięg,

Niższa częstotliwość większa antena,

W celu zmniejszenia rozmiarów stosuje się różne kształty anteny.

Przykładowe rozmiary anten:

$\lambda/4$ @ 433 MHz -> 17.3 cm (6.81 in)

$\lambda/4$ @ 915 MHz -> 8.2 cm (3.23 in)

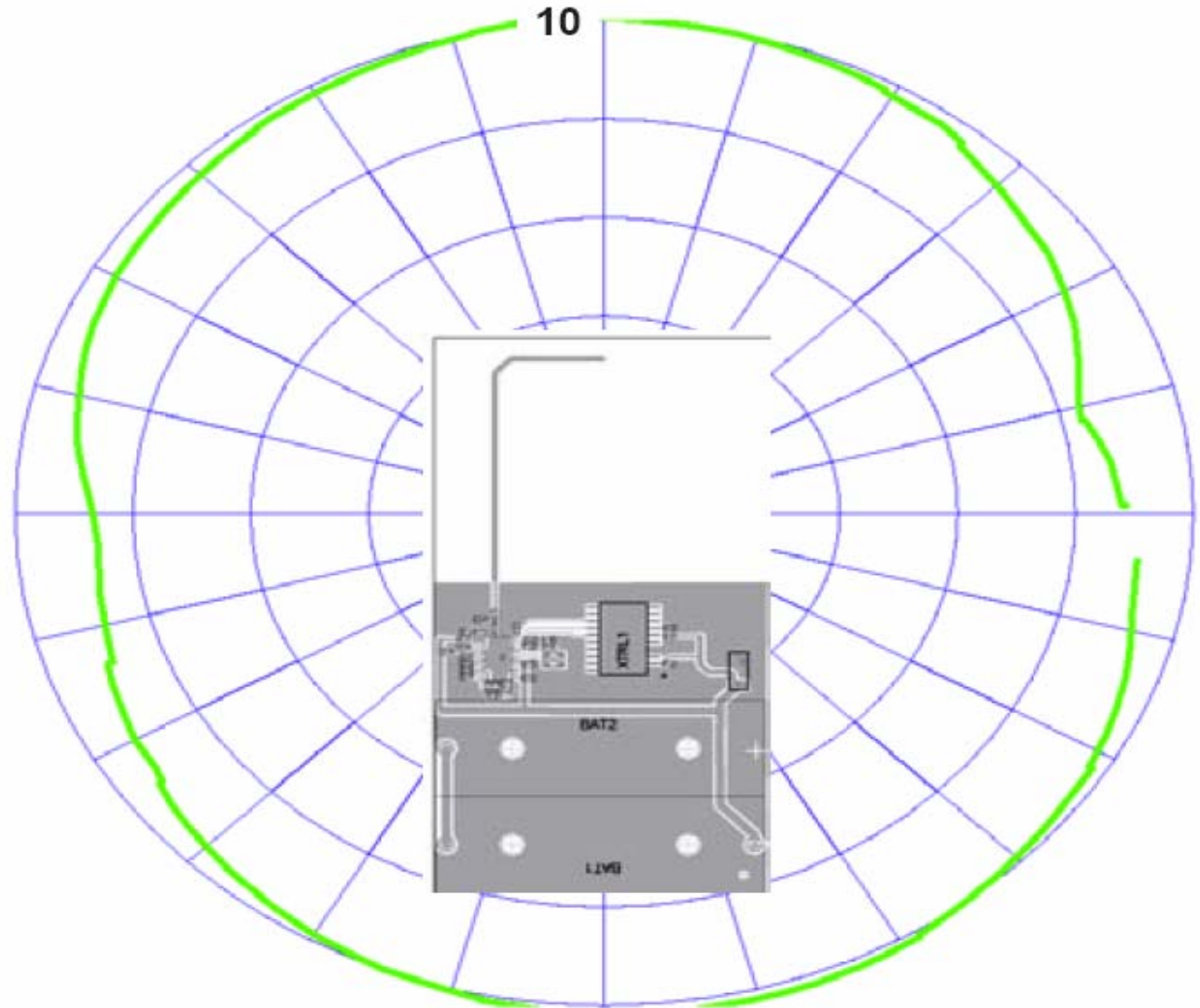
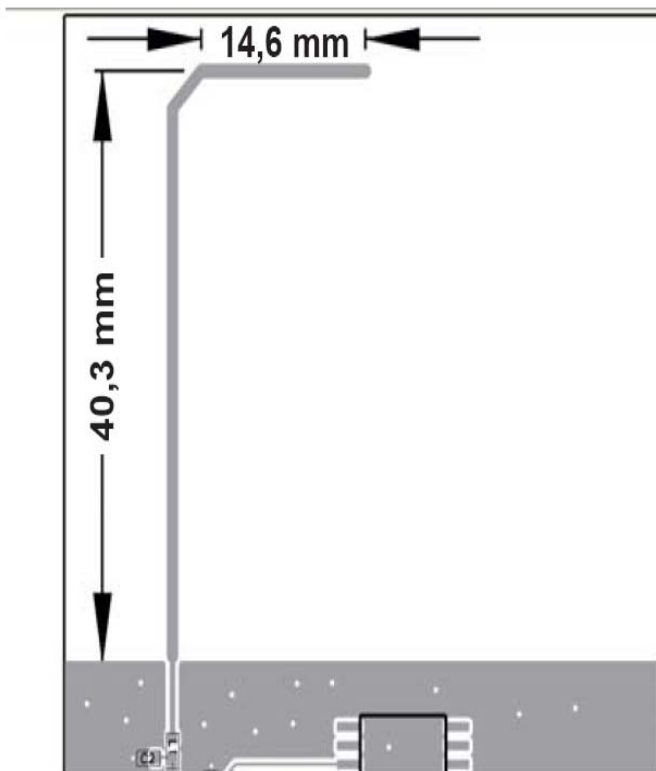
$\lambda/4$ @ 2.4 GHz -> 3.1 cm (1.22 in)

Przykładowa antena $\lambda/4$ @ 2.4 Ghz

Obwody
dopasowujące
impedancję
falową
anteny



Antena PCB oraz charakterystyka promieniowania (pozioma)

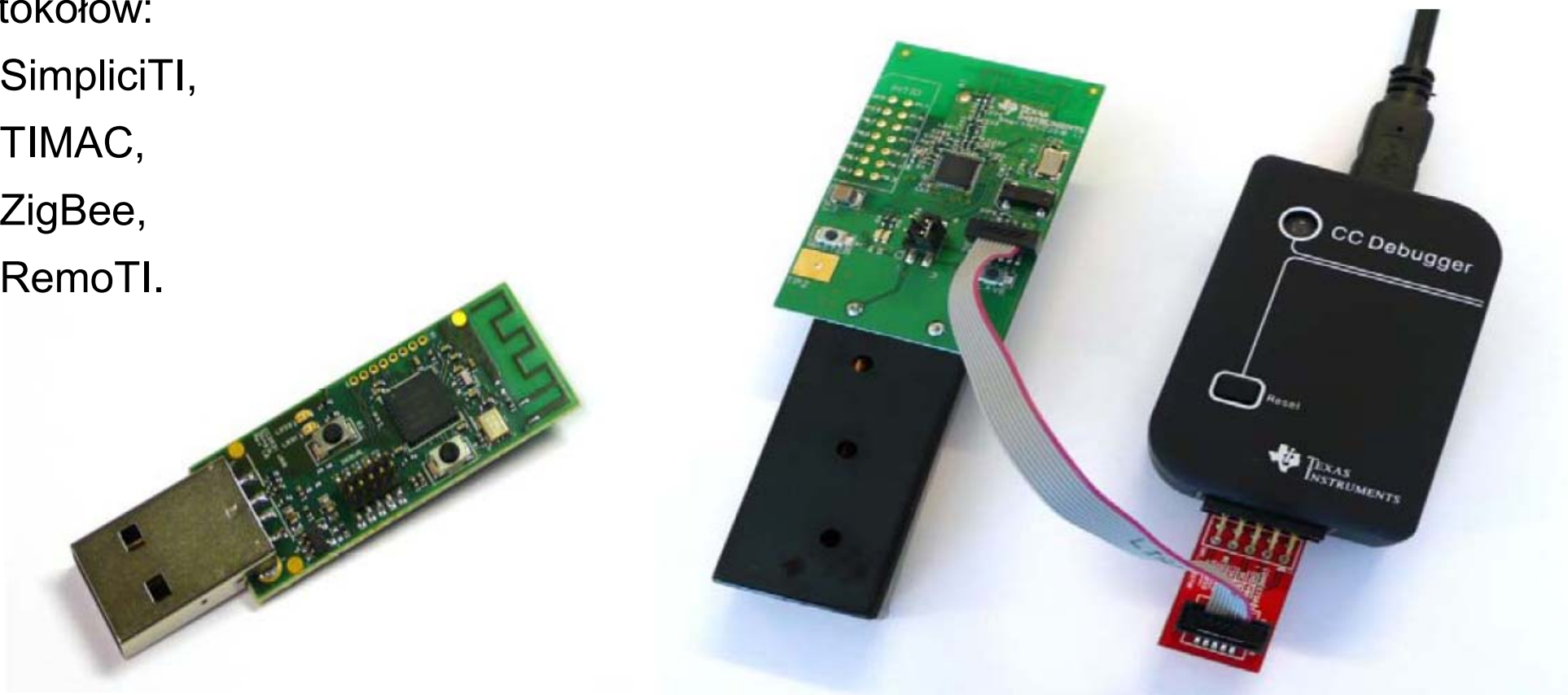


Analizatory pakietów (1)

Analizator pakietów (sniffer) umożliwia podsłuchiwanie transmisji radiowej oraz rejestrowanie przesyłanych pakietów. Pakiety są następnie dzielone na ramki, dekodowane oraz wyświetlane w przejrzysty sposób na ekranie komputera.

Analizator SmartRF opracowany przez firmę TI umożliwia obsługę następujących protokołów:

- SimpliCI,
- TIMAC,
- ZigBee,
- RemoTI.





Analizatory pakietów (2)

Chipcon General Packet Sniffer CC2430 IEEE 802.15.4 MAC and ZigBee 2006

File Help

ZigBee 2006

P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Source PAN	Source Address	Superframe specification	Bea	
RX	+4093	24	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr				B0 S0 F.CAP BLE Coord Assoc	00 21	
8	=3957227	24	BCN 0 0 0 0	0xCF	0x0019	0x0000	15 15 15 0 1 1	13 14	
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source PAN	Source Address	Alt.coo
RX	+508648	21	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
9	=4465875	21	CMD 0 0 1 0	0x91	0x0019	0x0000	0xFFFF	0x2726252423220008	0
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	RSSI (dBm)	FCS			
RX	+1060	5	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
10	=4466935	5	ACK 0 0 0 0	0x91	-41	OK			
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	Data request	RS: (dBm)
RX	+494951	18	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
11	=4961886	18	CMD 0 0 1 1	0x92	0x0019	0x0000	0x2726252423220008		-5
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	RSSI (dBm)	FCS			
RX	+965	5	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
12	=4962851	5	ACK 0 1 0 0	0x92	-41	OK			
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	Short	Shor
RX	+3320	27	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
13	=4966171	27	CMD 0 0 1 1	0x4A	0x0019	0x2726252423220008	0x1716151413120019		0x
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	RSSI (dBm)	FCS			
RX	+1253	5	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
14	=4967424	5	ACK 0 0 0 0	0x4A	-55	OK			
P.nbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address		
RX	+6561912	111	Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr						
15	=11529336	111	DATA 0 0 1 1	0x93	0x0019	0x0000	0x0001	48 00 00 00 01 00 0A 01 1	23 24 25 26 27 28 29 2A 2

Setup | Select fields | Packet details | Address book | Display filter | Time line

SOURCE <- 1 134 ->

- Unregistered/broadcast
- Auto-registered 0
- Auto-registered 1
- Auto-registered 2

Packet count: 926 | Error count: 1 | Filter Off

Sniffer - analizator sieci (3)

The screenshot displays the Daintree Networks Sensor Network Analyzer interface, which is used for capturing and analyzing network traffic. The interface is divided into several panes:

- Visual Device Tree:** Shows a network topology with two nodes, 1111 and 1961, connected by a bidirectional link.
- Packet Decode:** Provides a detailed view of a selected packet (Frame 7). It shows the IEEE 802.15.4 protocol structure, including Frame Control, Sequence Number (104), Destination PAN Identifier (0x2018), Destination Address (0x1111), Source Address (0x2430ebff229500f4), MAC Payload (Command Frame Identifier - Data Request: 0x04), and Frame Check Sequence (Correct).
- Packet Timeline:** A graphical representation of the captured packets, showing their sequence and timing relative to the channel summary.
- Packet List:** A table listing all captured packets with their sequence numbers, channel, time, time delta, MAC source and destination, and protocol type.

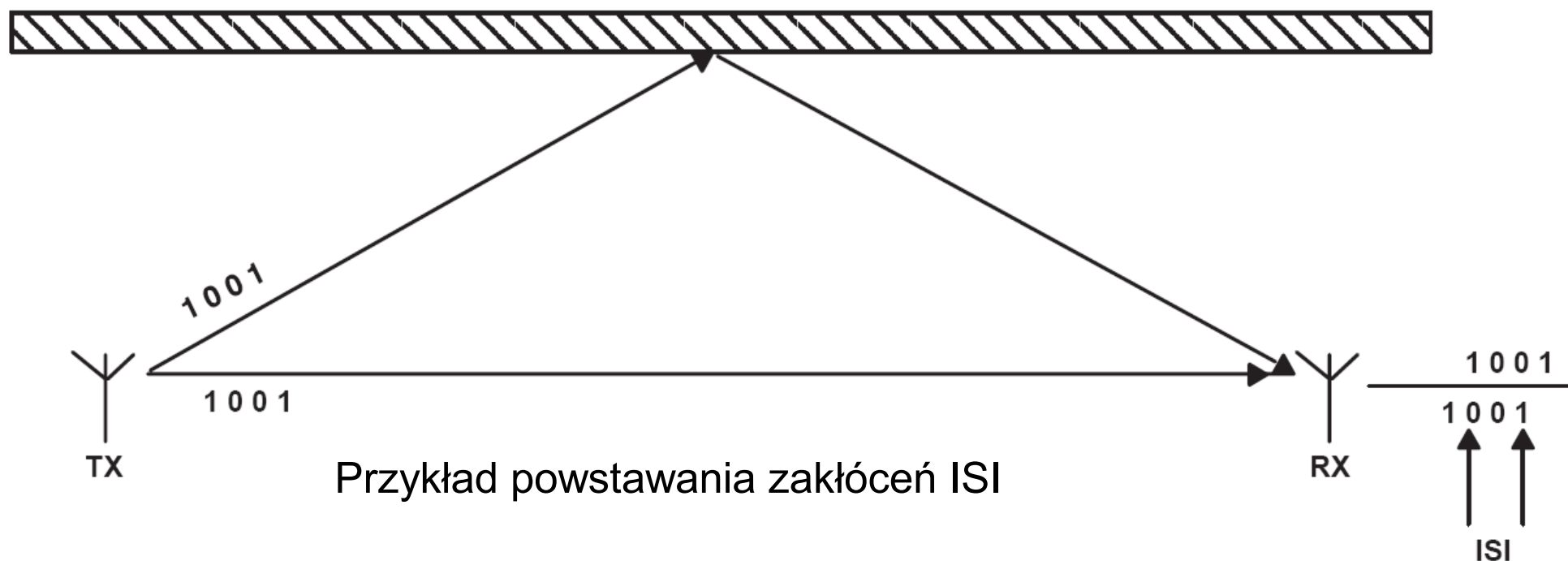
Seq. No.	Channel	Time	Time Delta	MAC Src	MAC Dest	MWR Src	MWR Dest	Protocol
7	18	15:01:00.544	+00:00:00.495	0x2430ebff229500f4	0x1111			IEEE 802.15.4
8	18	15:01:00.545	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4
9	18	15:01:00.548	+00:00:00.003	0x2430ebff22950000	0x2430ebff229500f4			IEEE 802.15.4
10	18	15:01:00.549	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4
11	18	15:01:19.793	+00:00:19.243	0x1111	0x1961			Zigbee MWR
12	18	15:01:19.793	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4
13	18	15:01:19.795	+00:00:00.002	0x1111	0x1961			Zigbee MWR
14	18	15:01:19.796	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4
15	16	15:01:19.853	+00:00:00.057	0x1111	0x1961			Zigbee MWR
16	16	15:01:19.853	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4
17	16	15:01:19.912	+00:00:00.059	0x1111	0x1961			Zigbee MWR

Współdziałanie różnych sieci bezprzewodowych

- Urządzenia RF muszą być przystosowane do transmisji danych w otwartych pasmach częstotliwości – współpraca z innymi sieciami,
- Współpraca urządzenia RF w zakłóconym środowisku (odbicia, interferencje, zakłócenia),
- Selektywność toru odbiorczego (filtrowanie),
- Odporność na zakłócenia na poziomie protokołu,
- Mechanizmy zmiany częstotliwości nośnej (frequency hopping)
- Monitorowanie aktywności w danym kanale przed rozpoczęciem nadawania,
- **Tolerowanie obecności innych sieci gwarantuje niezawodną pracę toru RF.**

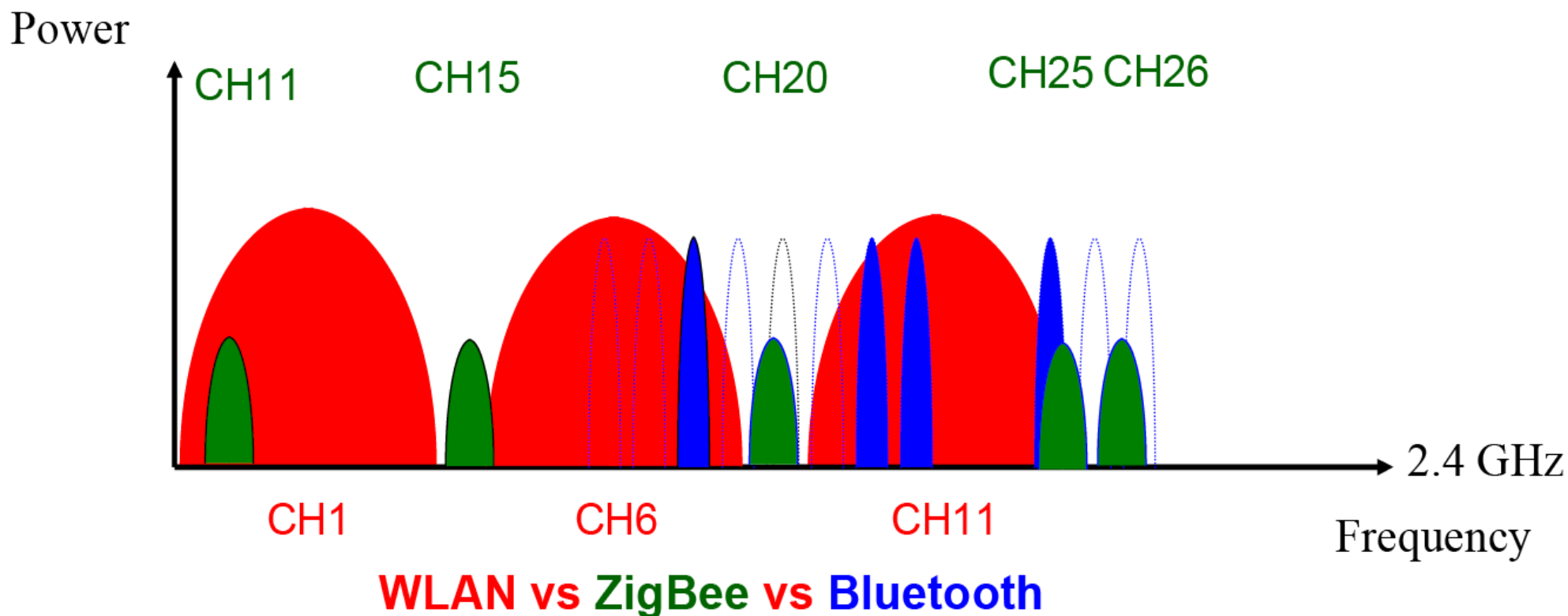
Odbicia sygnału

- Fading (zaciemnianie) – występuje, gdy faza docierającego sygnału (bezpośredni i opóźniony) równa jest wielokrotności okresu sygnału (wzmocnienie lub osłabienie sygnału),
- ISI – InterSymbol Interferences – faza pomiędzy sygnałami różna od wielokrotności okresu, następują interferencje pomiędzy przesyłanymi bitami.



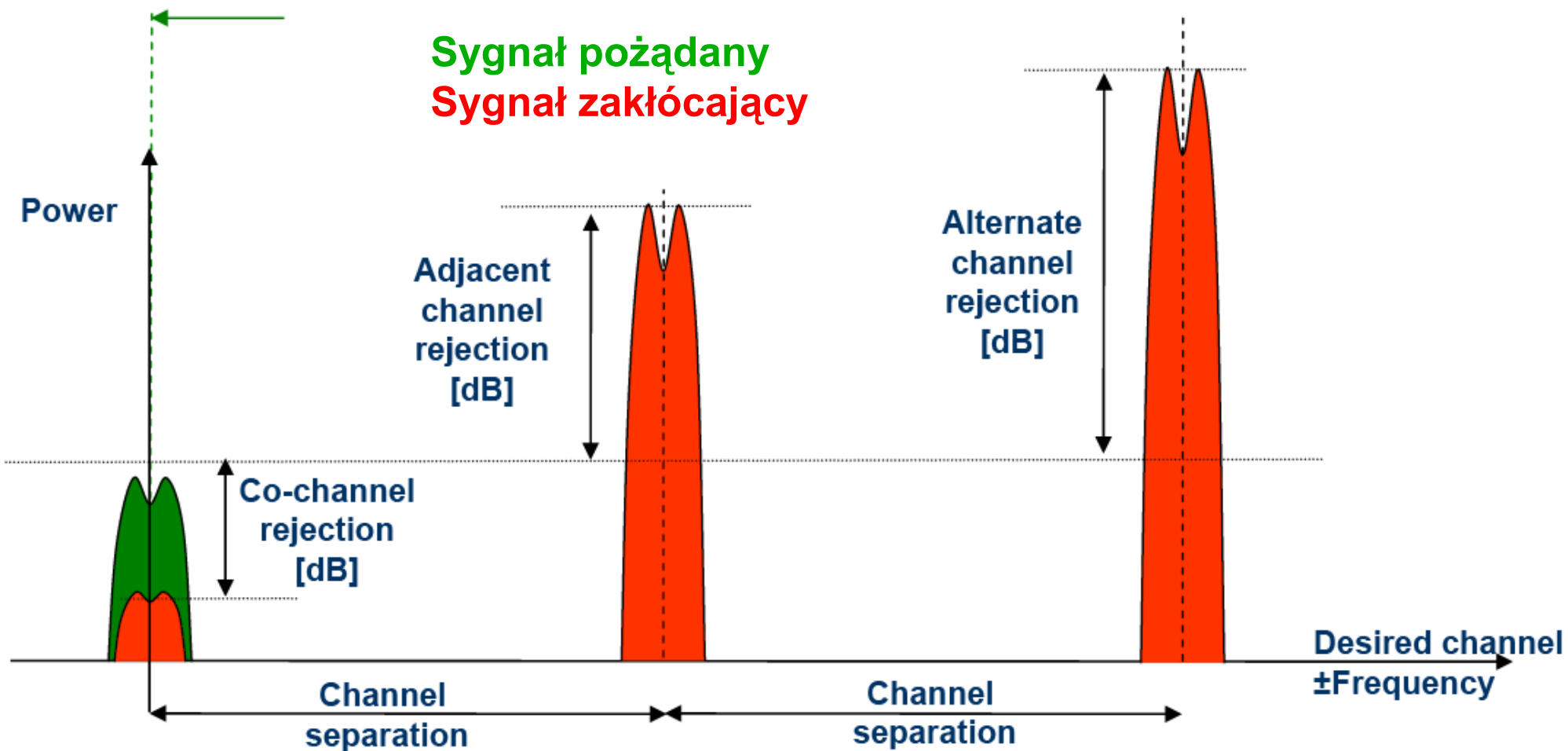
Porównanie widma dla wybranych standardów transmisji danych

- Pasmo częstotliwości 2,4 GHz jest obecnie wykorzystywane przez wiele urządzeń (WiFi, Bluetooth, ZigBee, tel. bezprzewodowe, kuchenki mikrofalowe, itd...).



Selektywność

- Jak dobre są obwody toru odbiorczego – tolerowanie zakłóceń w kanale w którym odbywa się transmisja oraz sąsiednich kanałach.





Transmisja danych w systemach wbudowanych – przykładowe aplikacje



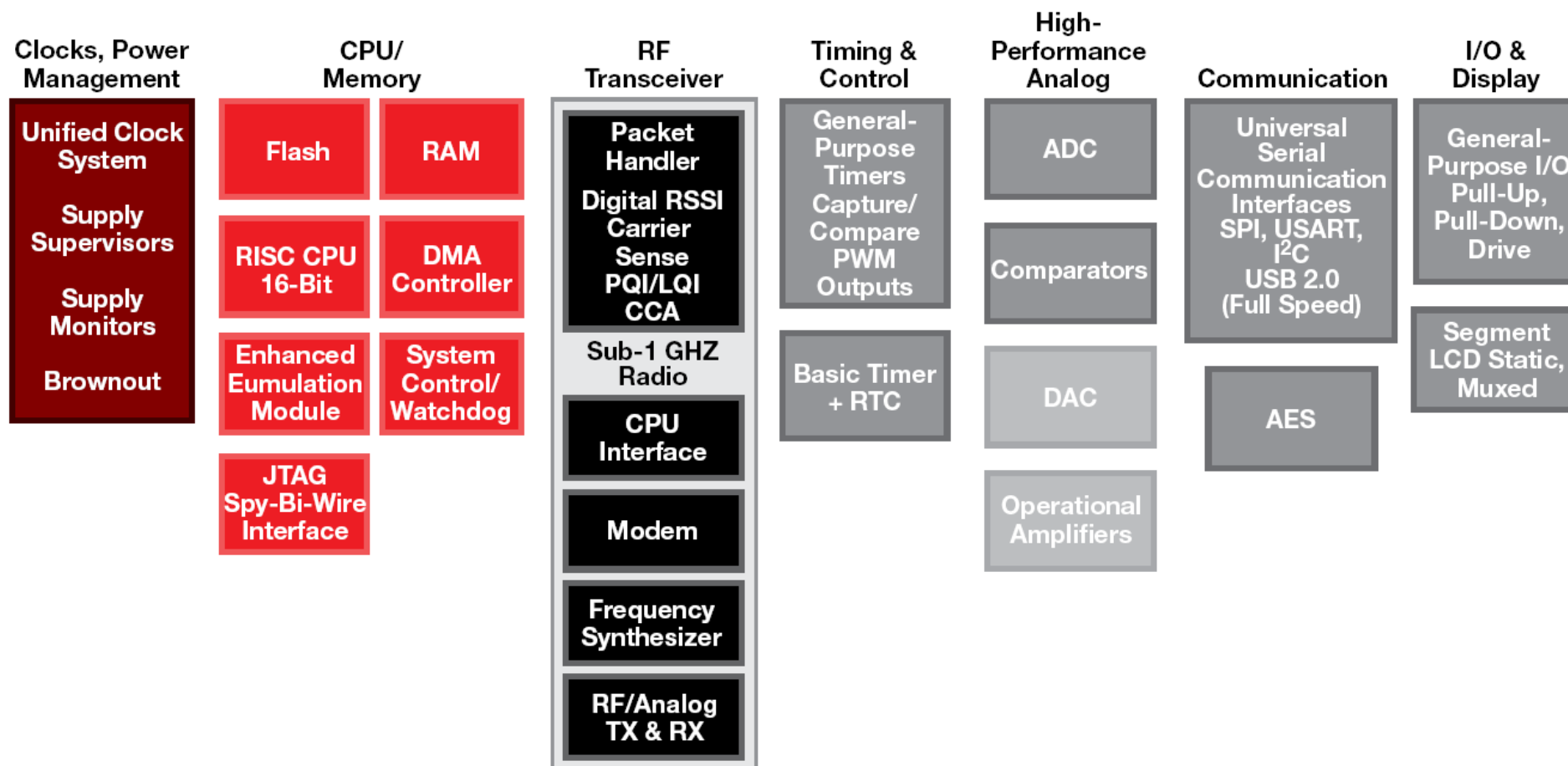


Układy do transmisji danych

- Układy nadajników,
- Układy transceiverów (nadajnik + odbiornik),
- Układy SOC (System-On-Chip) – połączenie mikrokontrolera z transceiverem,
- Układy wzmacniające (RF front-end, wzmacniacz mocy PA, przedwzmacniacz LNA).

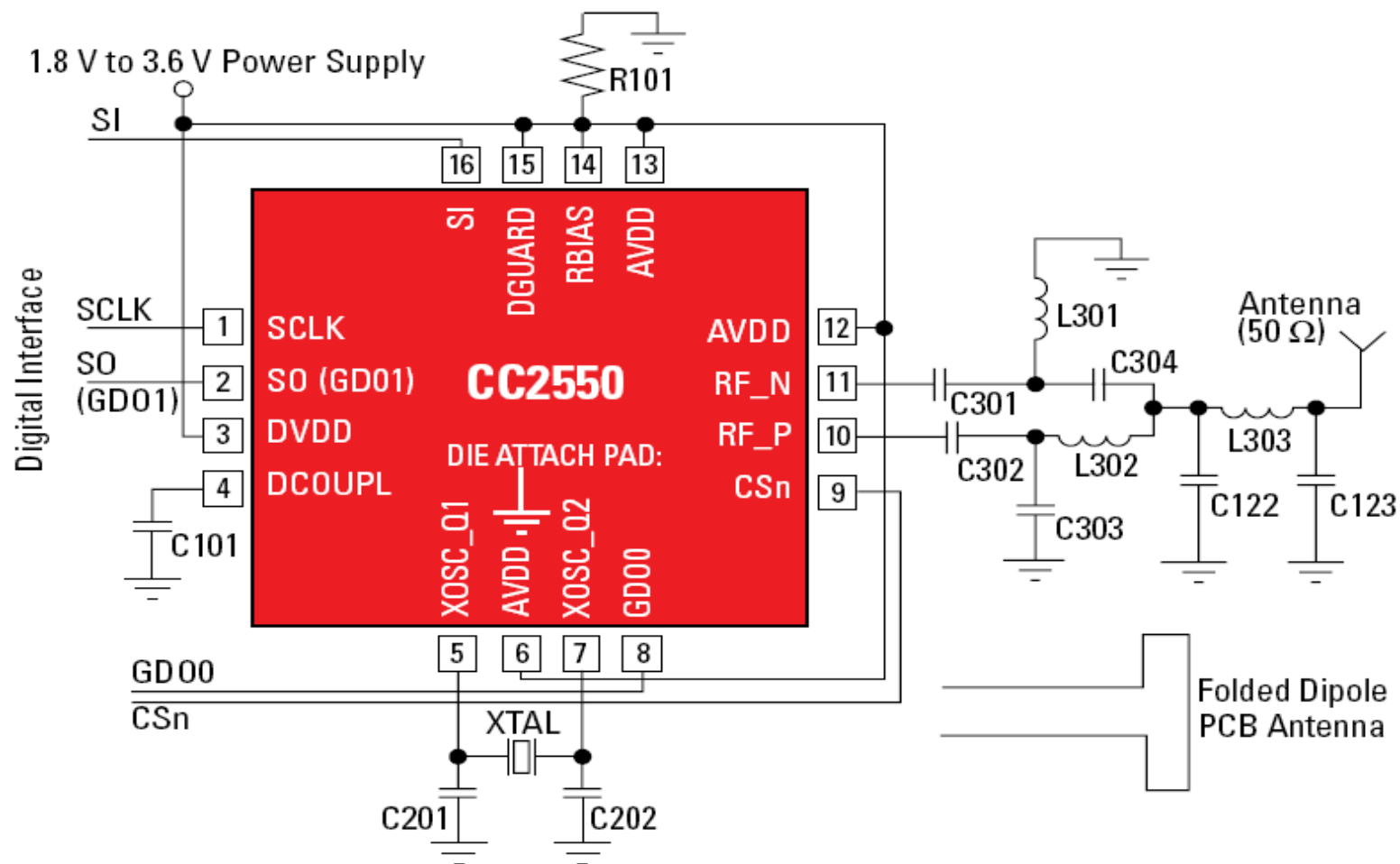


RF system-on-chip

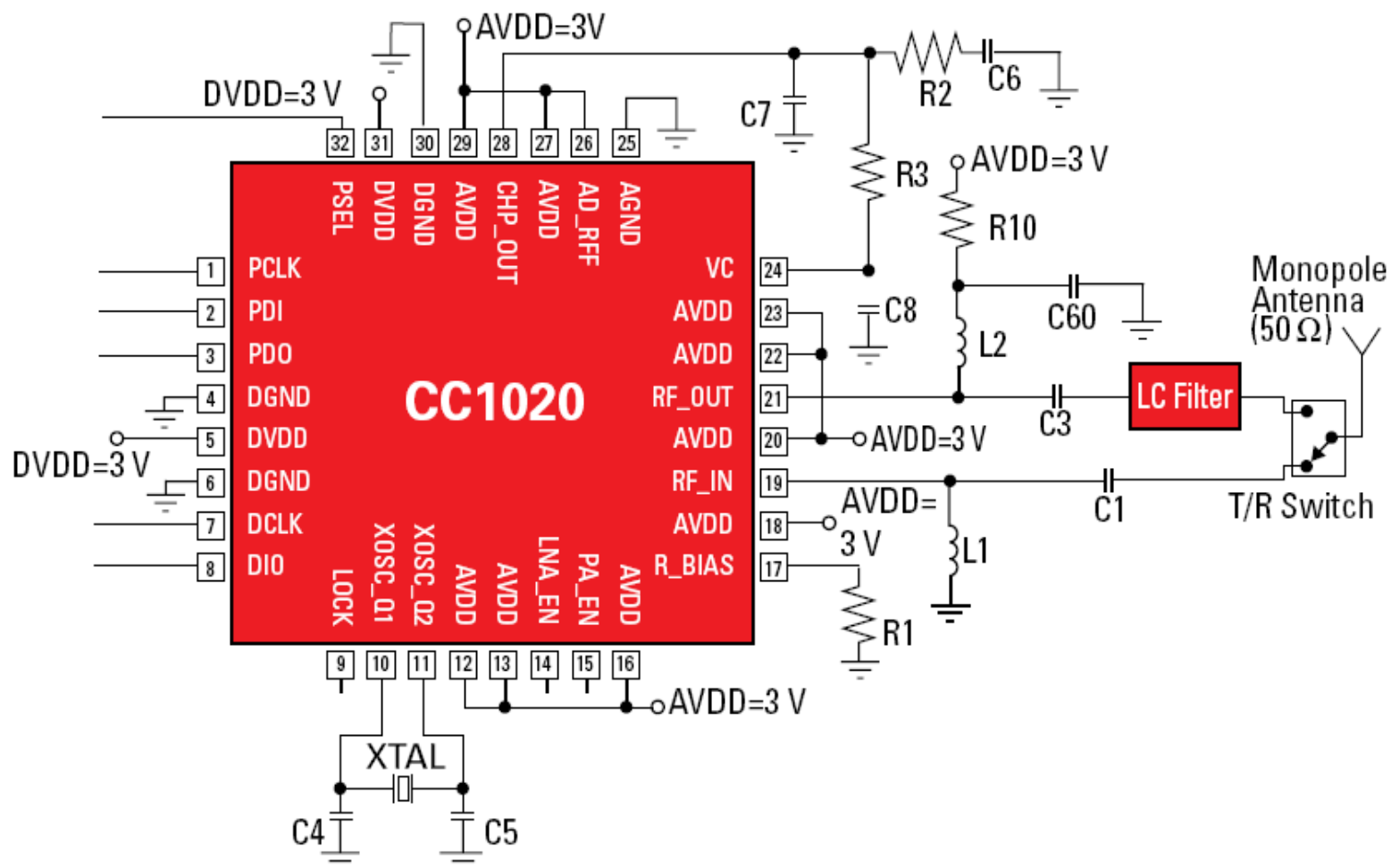


- Rodzina układów SOC firmy TI z wbudowanymi transceiverami RF,
- Niskie zużycie energii.

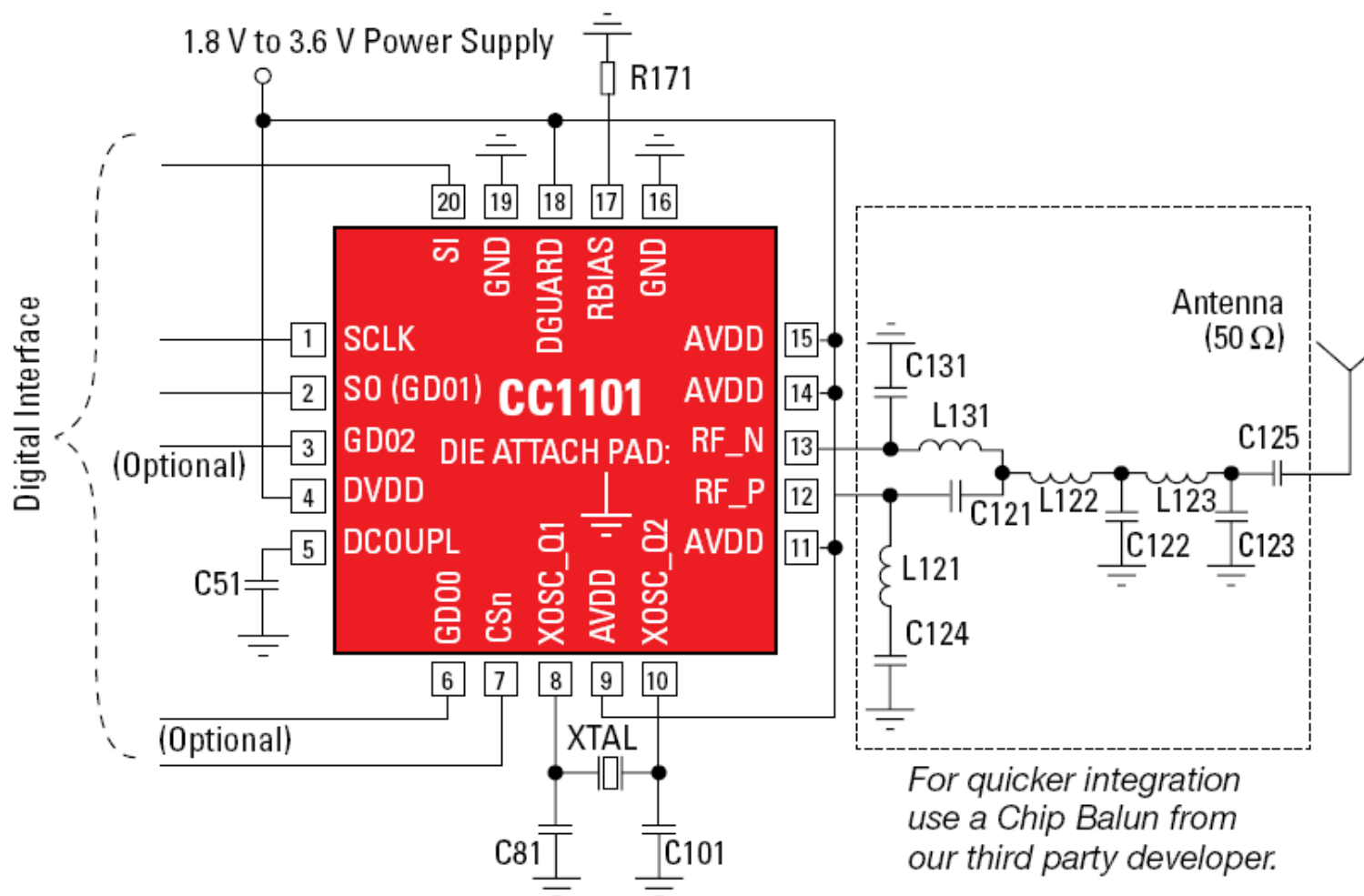
Układy nadajników

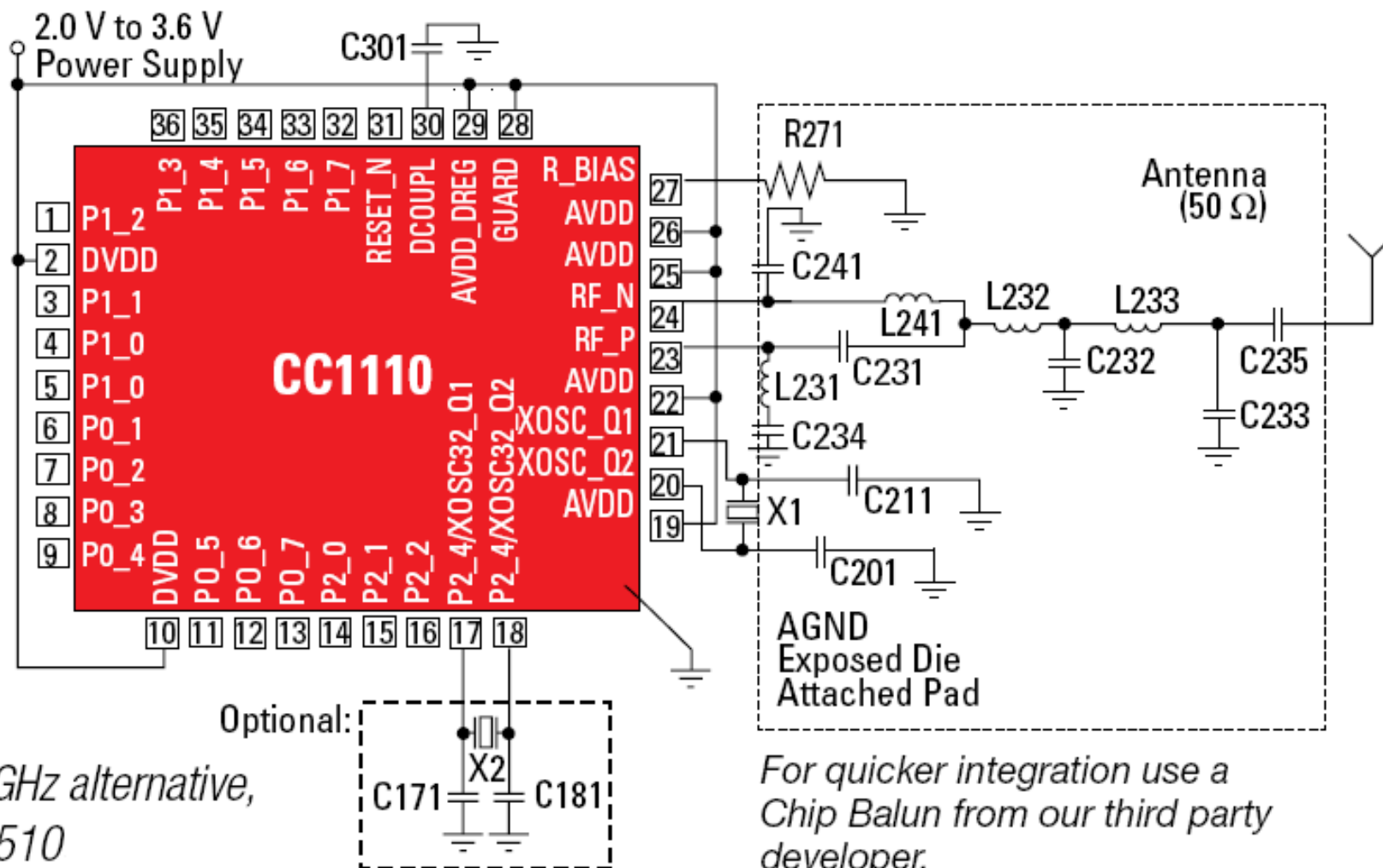


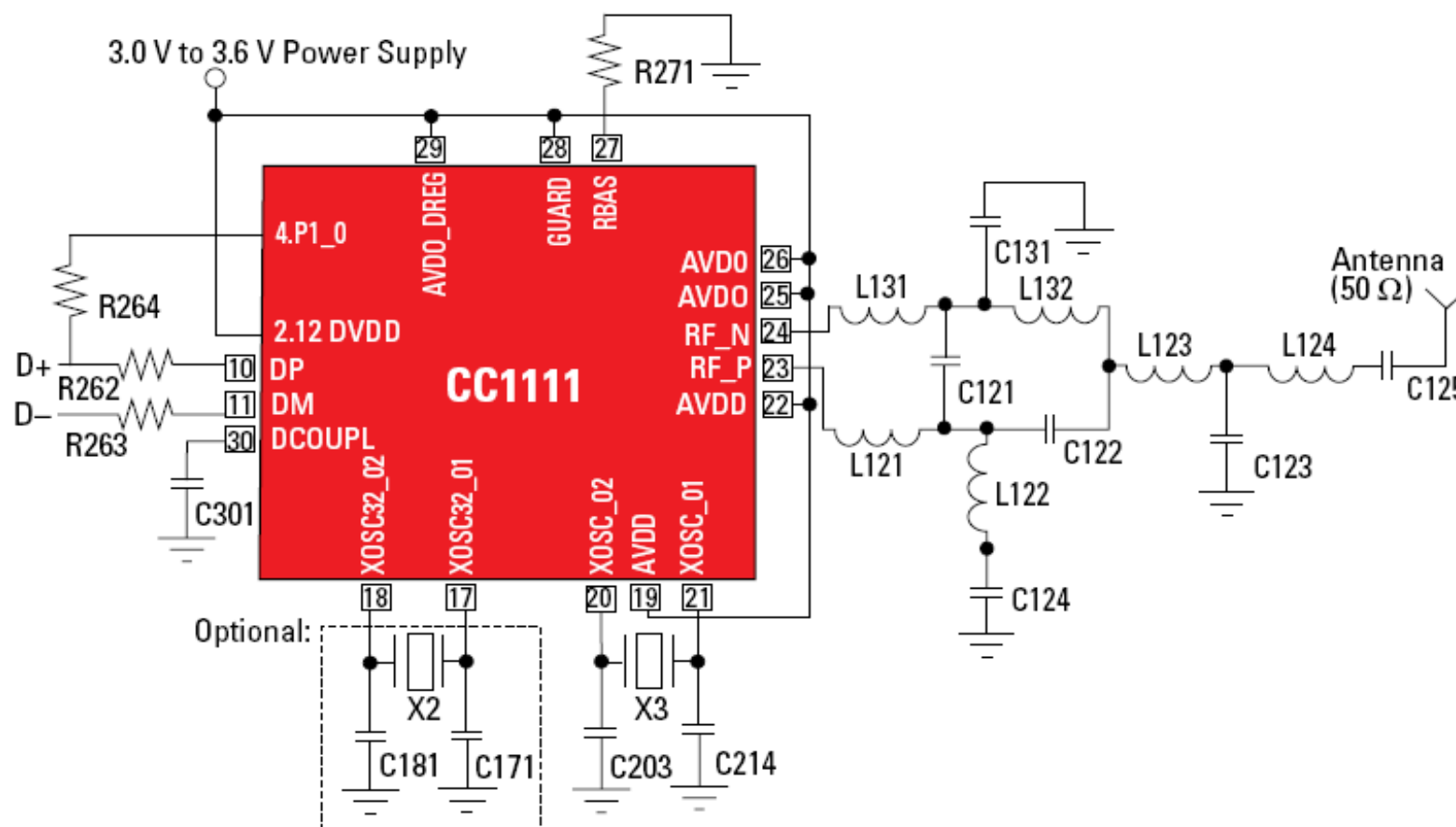
Układy transceiverów



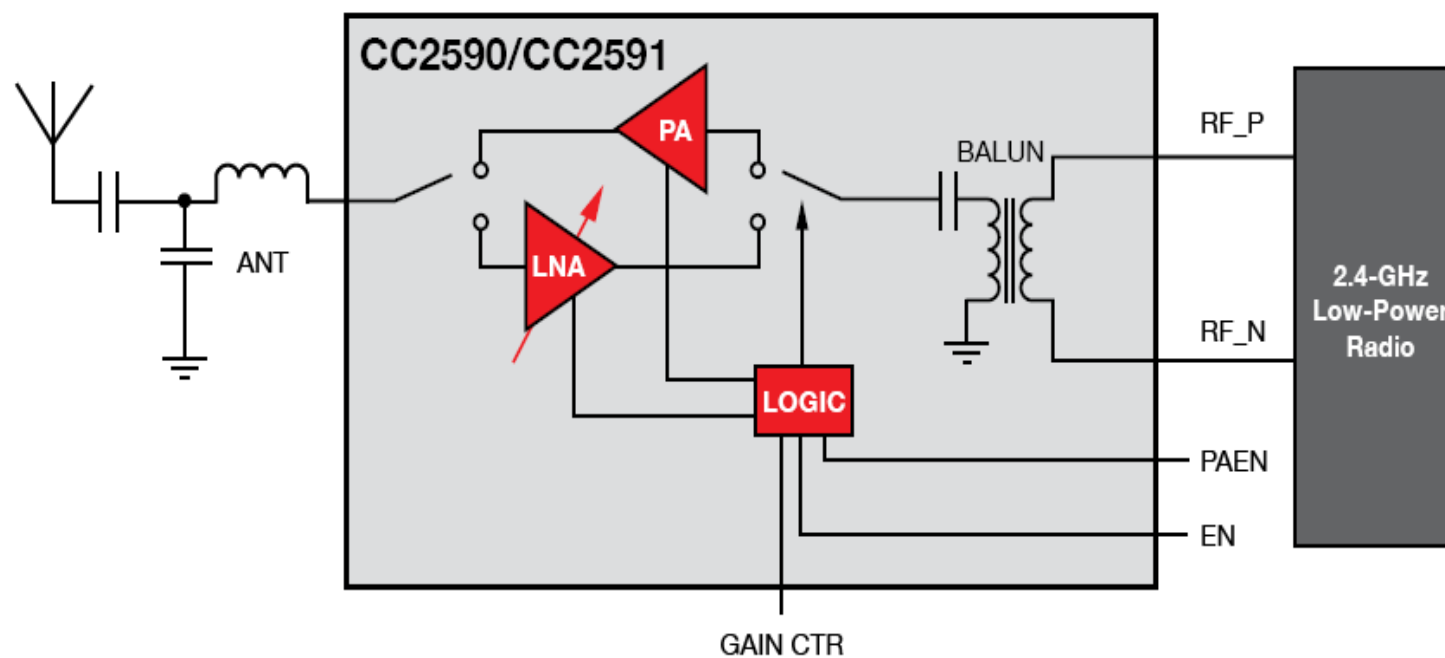
Układy transceiverów



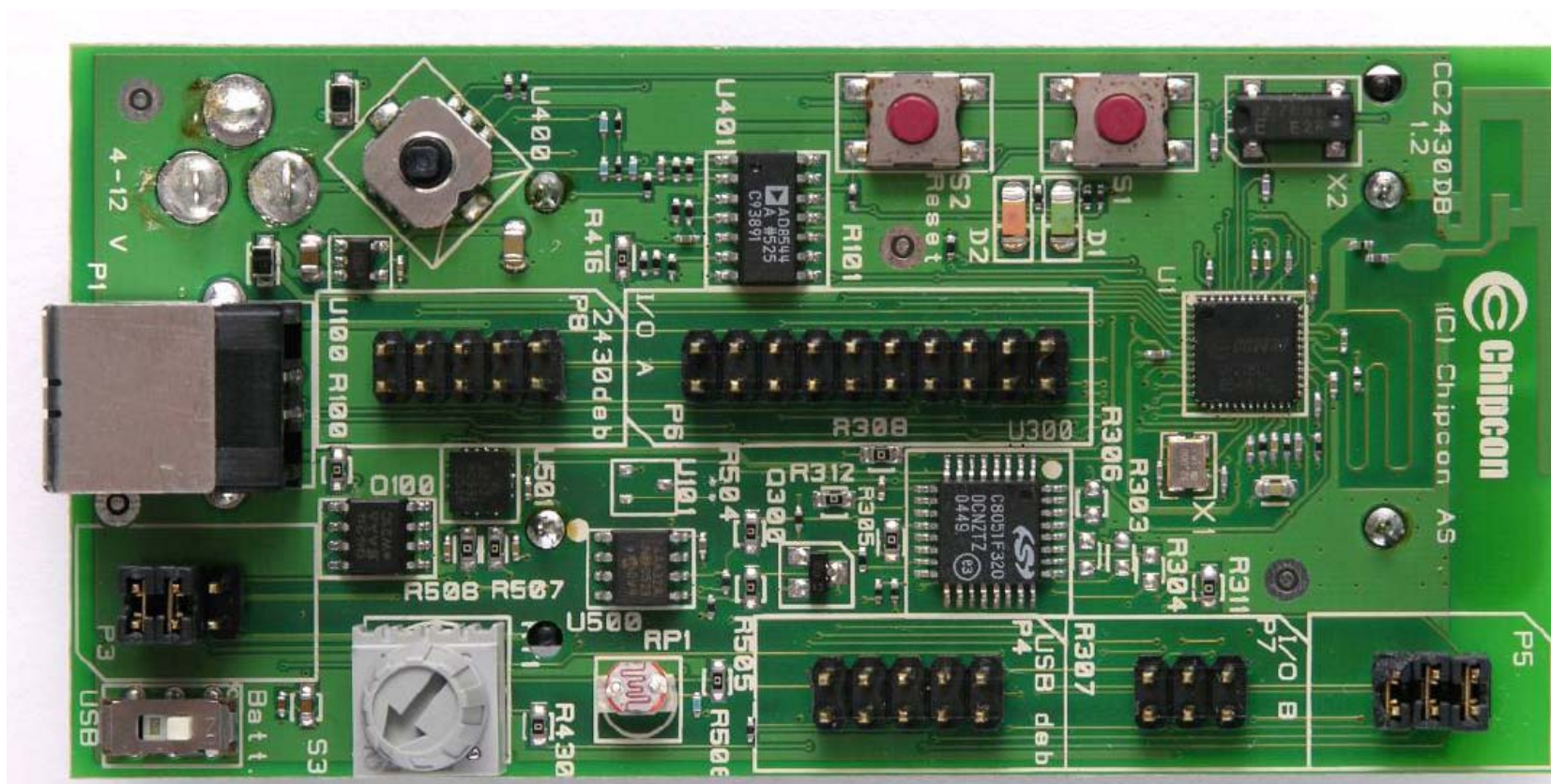




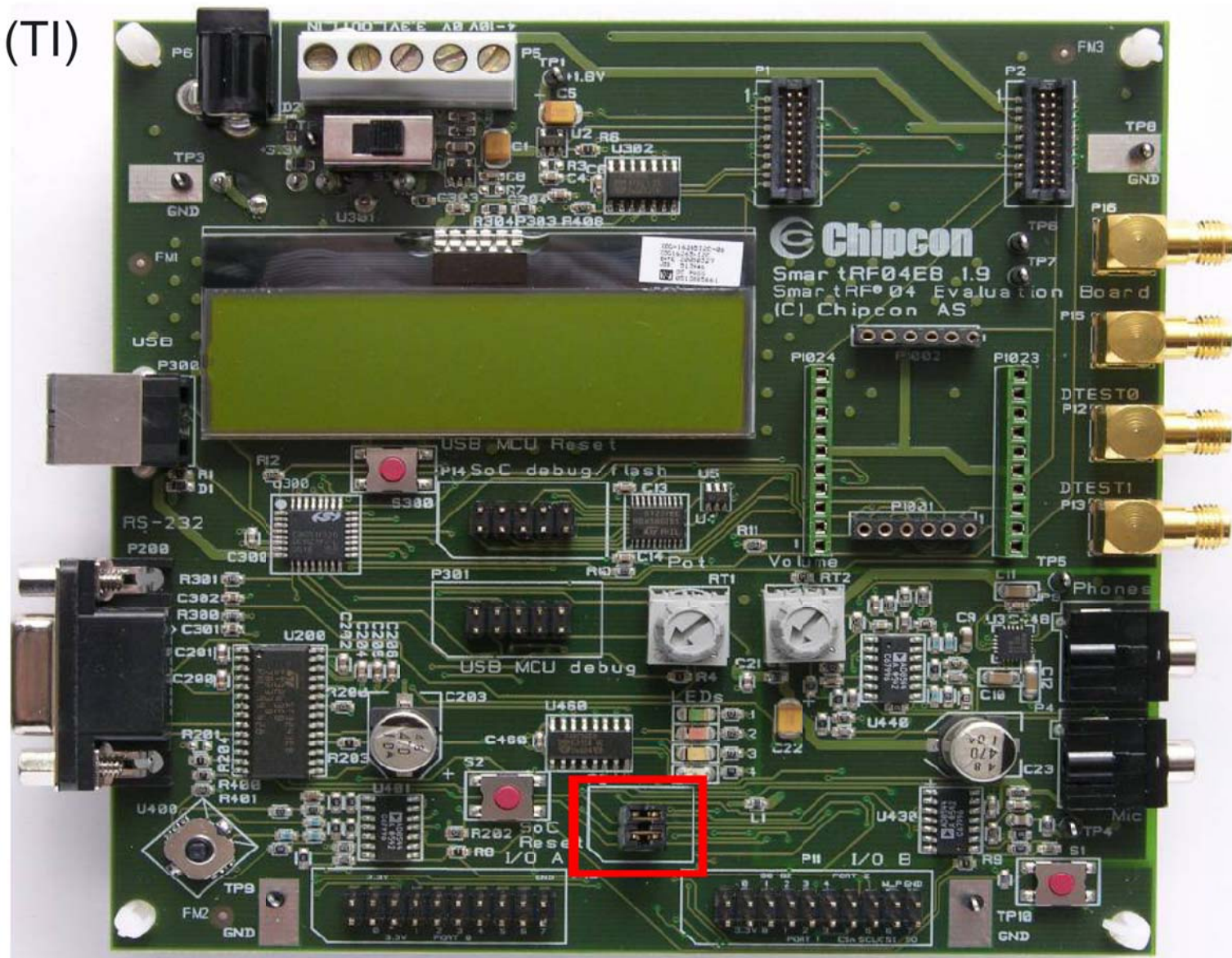
Układy wzmacniające



Płytki prototypowa z układem Chipcon CC2430DB (TI).



- SmartRF04EB (TI)



- CC2531 USB Dongle





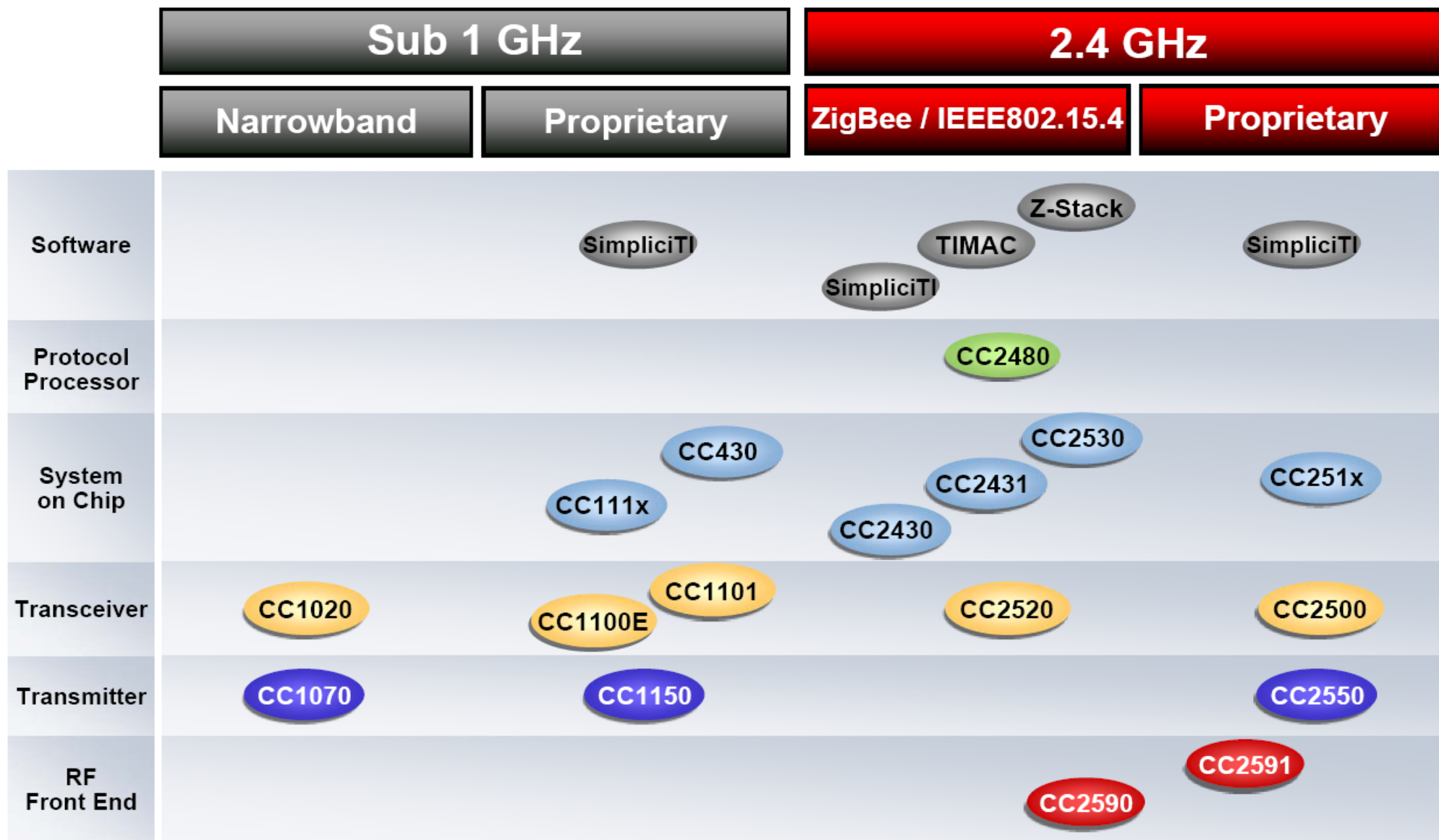
Zestawy uruchomieniowe TI

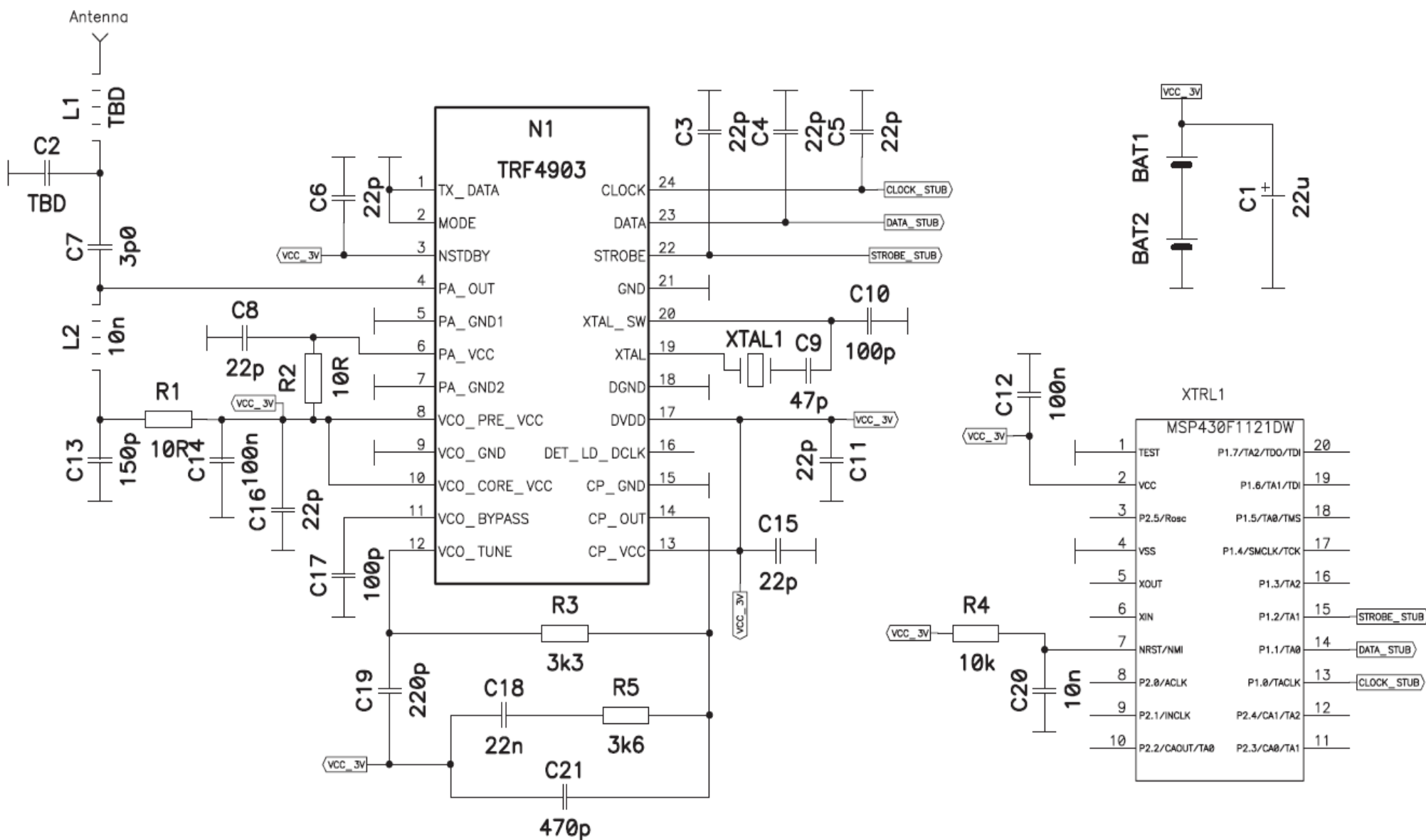
Part Number	Short Description	Development Kit	Evaluation Modules	Compatible Mother Boards
CC1020	Narrowband RF Transceiver	CC1020-CC1070DK433 CC1020-CC1070DK868	CC1020EMK433 / CC1020EMK868	
CC1070	Narrowband RF Transmitter	CC1020-CC1070DK433 CC1020-CC1070DK868	CC1070EMK433 / CC1070EMK868	
CC1101	Transceiver	CC1101DK433 / CC1101DK868	CC1101EMK433 / CC1101EMK868	MSP430FG4618 Exp Board
CC1150	Transmitter		CC1150EMK433 / CC1150EMK868	MSP430FG4618 Exp Board
CC1110	8051 MCU +RFTransceiver	CC1110-CC1111DK	CC1110EMK433 / CC1110EMK868	
CC1111	8051 MCU with built in RF Transceiver and USB	CC1110-CC1111DK	CC1111EMK868	
CC2500	Transceiver	CC2500-CC2550DK	CC2500EMK	MSP430FG4618 Exp Board
CC2550	Transmitter	CC2500-CC2550DK	CC2550EMK	MSP430FG4618 Exp Board
CC2510	8051 MCU +RFTransceiver	CC2510-CC2511DK	CC2510EMK	
CC2511	8051 MCU with built in RF Transceiver and USB	CC2510-CC2511DK	CC2511EMK	
CC2520	IEEE 802.15.4 compliant Transceiver	CC2520DK	CC2520EMK	
CC2430	8051 MCU with built in IEEE 802.15.4 compliant RF Transceiver	CC2430DK CC2430ZDK CC2430DBK	CC2430EMK	
CC2431	8051 SoC with IEEE 802.15.4 compliant radio and Location Engine	CC2431DK CC2431ZDK	CC2431EMK	
CC2480	ZigBee Network Processor	EZ430-RF2480		
CC2530	8051 SoC with 802.15.4 compliant radio	CC2530ZDK, CC2530DK, RemoTI-CC2530DK	CC2530EMK, CC2530-CC2591EMK	





Układy RF firmy TI





Standard komunikacji bezprzewodowej krótkiego zasięgu IEEE 802.15.1 (Bluetooth)



Omówienie standardu Bluetooth.

Architektura systemu Bluetooth.

Profile systemu Bluetooth.

Warstwy protokołu w systemie Bluetooth.



Technologia komunikacji bezprzewodowej Bluetooth

- Technologia bezprzewodowej komunikacji krótkiego zasięgu pomiędzy urządzeniami elektronicznymi wymagającymi niewielkich szybkości transmisji danych, np.: komputer, słuchawka telefoniczna, klawiatura, laptop, palmtop, telefon komórkowy,
- Standard został opracowany przez organizację SIG (ang. Special Interest Group), której założycielami są firmy (IBM, Intel, Nokia i Toshiba),
- Standard Bluetooth został opisany w specyfikacji IEEE 802.15.1. Jego specyfikacja obejmuje trzy klasy mocy nadawczej 1-3 o zasięgu 100, 10 oraz 1 metra w otwartej przestrzeni,
- Standard Bluetooth wykorzystuje pasmo ISM 2,4 GHz,
- Standard grupy SIG obejmuje kompletny system, od warstwy fizycznej do warstwy aplikacji, natomiast standard IEEE obejmuje tylko warstwę fizyczną i łącza danych.

Szybkość transmisji, zasięg oraz moc nadajnika

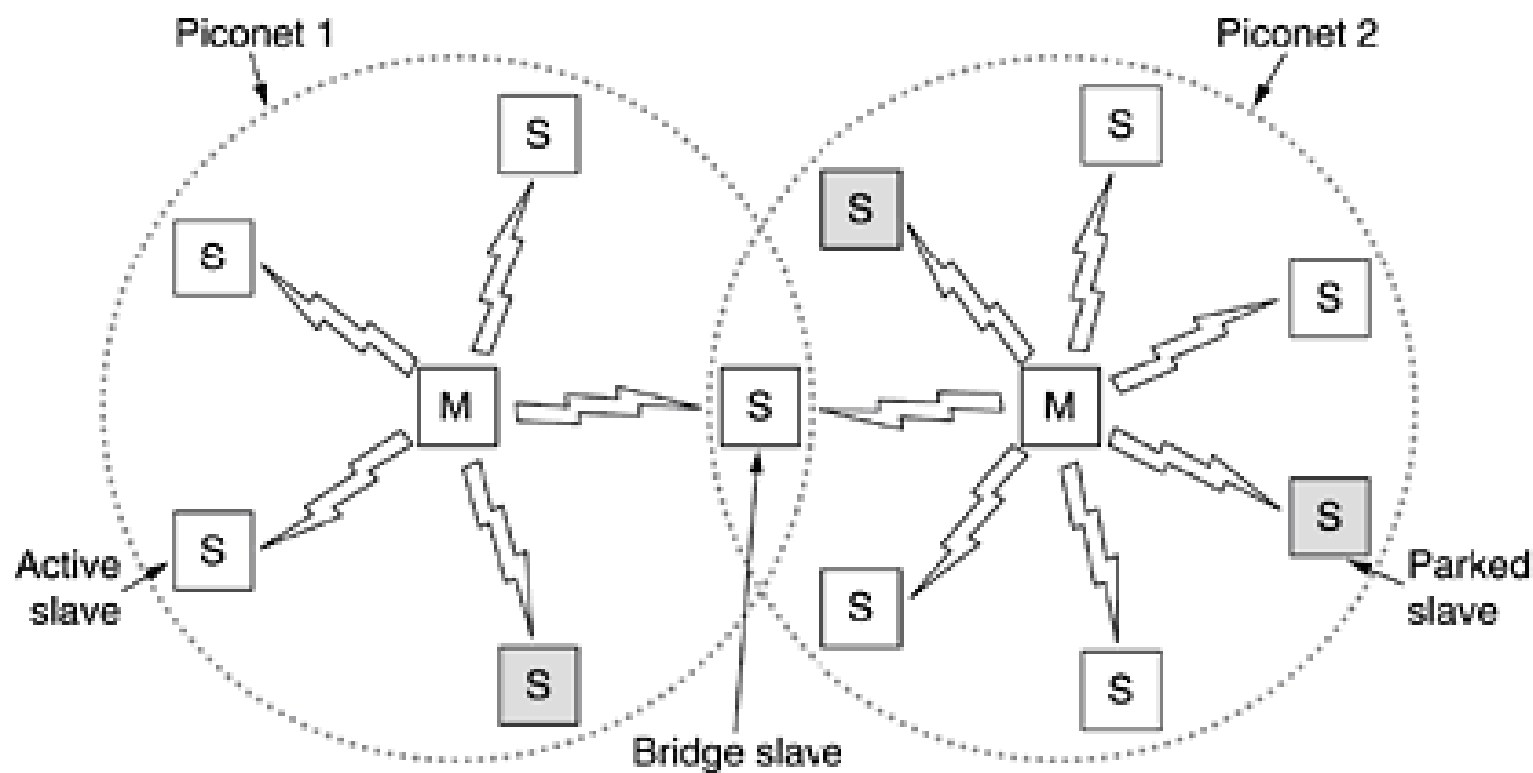
Zasięg urządzenia determinowany jest przez klasę mocy:

- ▶ klasa 1 (100 mW) ma największy zasięg, do 100 m,
- ▶ klasa 2 (2,5 mW) jest najpowszechniejsza w użyciu, zasięg do 10 m,
- ▶ klasa 3 (1 mW) rzadko używana, z zasięgiem do 1 m.

Transfer

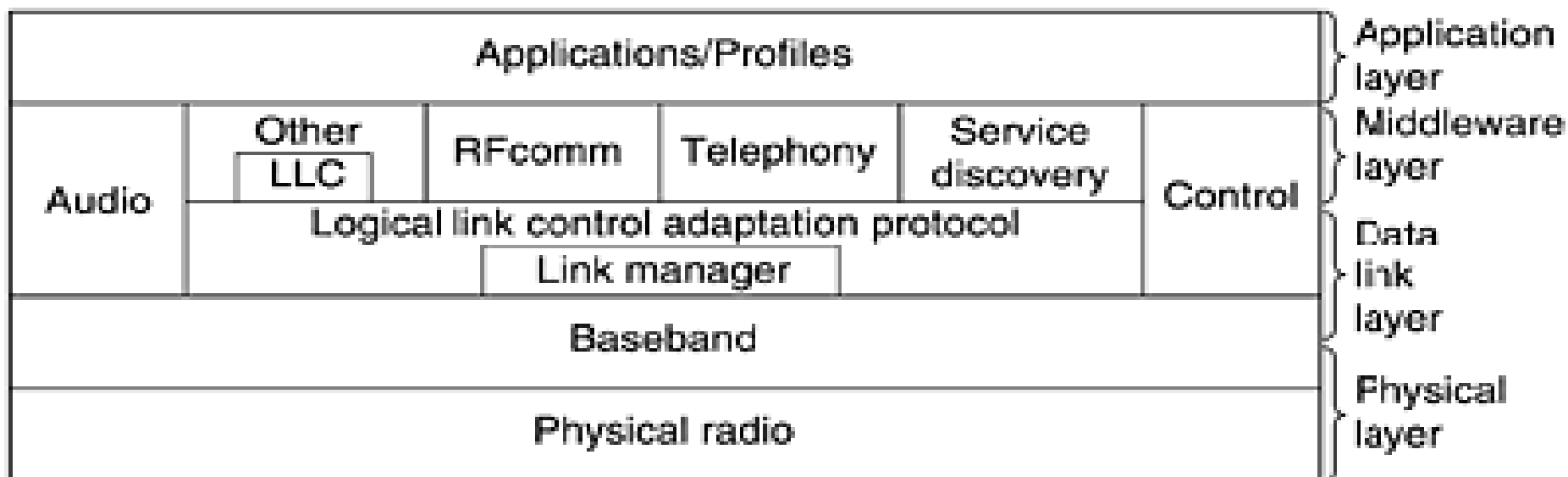
- ▶ Bluetooth 1.0 - 21 kb/s,
- ▶ Bluetooth 1.1 - 124 kb/s,
- ▶ Bluetooth 1.2 - 328 kb/s,
- ▶ Bluetooth 2.0 – maksymalna szybkość transmisji danych do 2,1 Mb/s, w trybie EDR (Enhanced Data Rate) do 3,1 Mb/s.

Architektura sieci 802.15.1



Architektura protokołów Bluetooth

Standard nie jest zgodny z modelami OSI, TCP/IP oraz IEEE.





- ◆ Warstwa ta odpowiedzialna jest za transport danych. Jest to system o małym poborze mocy, działający w zależności od klasy na różnych zasięgach, operujący w paśmie ISM 2,4 GHz.
- ◆ Pasma jest podzielone na 79 kanałów (1 MHz / kanał).
- ◆ System wykorzystuje modulacje FSK (Frequency Shift Keying), z maksymalną szybkością transmisji 1 Mbit/s
- ◆ Systemy 802.11 oraz Bluetooth operują na tych samych częstotliwościach z takim samym podziałem pasma na 79 kanałów.



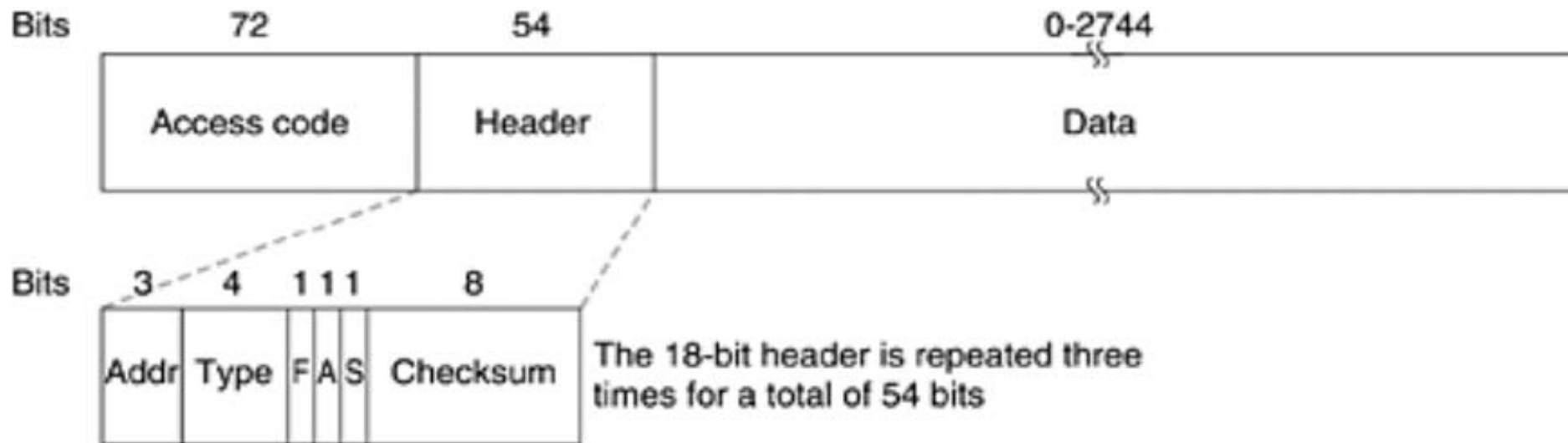
Warstwa baseband layer

- Podobna do podwarstwy MAC modelu OSI,
- Odpowiedzialna za formowanie ramek. Master w każdej pikosieci definiuje sloty czasowe o długości $625 \mu\text{s}$,
- Każda ramka jest transmitowana przez kanał logiczny (ang. link) pomiędzy masterem i urządzeniem slave. Rozróżniamy dwa rodzaje kanałów ACL (Asynchronous Connection-Less) oraz SCO (Synchronous Connection Oriented). Urządzenie slave może korzystać z maksymalnie trzech kanałów typu SCO w kierunku mastera. Każde łącze SCO może transmitować jeden kanał telefoniczny (PCM, 64 kbit/s).

Warstwa L2CAP spełnia trzy główne funkcje:

- Przyjmuje pakiety o maksymalnym rozmiarze do 64 KB od wyższych warstw i dzieli je na ramki w celu transmisji. Na końcu ramki są ponownie składane w całość,
- Zajmuje się multipleksacją i demultipleksacją złożonych pakietów. Gdy pakiet jest składany w całość, warstwa L2CAP określa, któremu protokołowi warstwy wyższej go przekazać, np. do RFcomm lub telephony,
- Zajmuje się wymaganiami dotyczącymi jakości usług, zarówno podczas zestawiania połączenia oraz podczas realizacji usługi.

Struktura ramki



- ❖ Pole adres nagłówka identyfikuje jedno z ośmiu aktywnych urządzeń, dla którego przeznaczona jest ramka.
- ❖ Pole typ określa typ ramki (ACL, SCO, pool albo null),
- ❖ Pole Flow jest ustawiane przez slave, gdy jego bufor są pełne i nie może on przyjąć więcej danych,
- ❖ Bit Acknowledgement jest potwierdzeniem transmisji,
- ❖ Bit Sequence jest używany w celu numeracji ramek,
- ❖ Ostatnie 8 bitów to suma kontrolna.

- Systemy RFID są systemami generującymi i wypromieniowującymi fale elektromagnetyczne, dlatego prawnie są klasyfikowane jako systemy radiowe. W związku z tym ich działanie nie może pod żadnym pozorem wpływać na ani zakłócać działania innych systemów radiowych. Wymaga to ścisłego przestrzegania tylko dozwolonych zakresów częstotliwości. Zazwyczaj sprowadza się to do wykorzystywania w systemach RFID zakresów częstotliwości ustandaryzowanych na całym świecie pod nazwą ISM (Industrial-Scientific-Medical), czyli zakresy do zastosowań w przemyśle, nauce (badaniach) i medycynie. Dodatkowo zakres częstotliwości poniżej 135 kHz jest również dostępny.
- Dostępnymi dla systemów RFID zakresami częstotliwości są więc: 0-135 kHz, częstotliwości ISM w obrębie 6,78 MHz, 13,56 MHz, 27,125 MHz, 40,68 MHz, 433,92 MHz, 869,0 MHz, 915,0 MHz (poza Europą), 2,45 GHz, 5,8 GHz i 24,125 GHz.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



„Technologie komunikacji bezprzewodowej” „Wprowadzenie do przedmiotu”

Prezentacja jest współfinansowana przez
Unię Europejską w ramach
Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej -
zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do
zatrudniania osób niepełnosprawnych”*

Prezentacja dystrybuowana jest bezpłatnie



Politechnika Łódzka

Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, tel. (042) 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl