

Bluetooth

1. Wprowadzenie

Bluetooth jest darmowym standardem opisanym w specyfikacji IEEE 802.15.1. Jest to technologia bezprzewodowej komunikacji krótkiego zasięgu pomiędzy różnymi urządzeniami elektronicznymi, takimi jak klawiatura, komputer, laptop, telefon komórkowy i wieloma innymi. Systemy Bluetooth pracują w paśmie częstotliwości 2,4 GHz, które jest przydzielone do wykorzystania przez systemy przemysłowe, naukowe i medyczne. Jest to nielicencjonowane pasmo ISM (*Industrial, Scientific and Medicine*). Niestety pasmo ISM nie ma jednakowej szerokości we wszystkich krajach świata. W większości państw świata zakres pasma ISM to 2,4000-2,4835 GHz. We Francji jednakże pasmo to zostało ograniczone do 2,4465-2,4835 GHz i produkty przeznaczone na ten rynek nie będą działały z urządzeniami specyfikacji Bluetooth, działających w pełnym zakresie pasma ISM. Grupa Bluetooth SIG prowadzi zakrojone na szeroką skalę działania, aby we wszystkich krajach świata pasmo ISM zostało ujednolicone, co pozwoliłoby przezwyciężyć problemy z kompatybilnością wszystkich systemów Bluetooth. Urządzenie umożliwiające wykorzystanie tej technologii to adapter Bluetooth (rys.1).



Rys.1. Adapter Bluetooth

2. Standardy Bluetooth

W standardzie Bluetooth, oprócz komunikacji radiowej, zdefiniowany jest również protokół komunikacyjny, który składa się z odpowiednich warstw logicznych. Warstwy te mogą być odpowiednio implementowane w oprogramowaniu urządzeń komunikujących się przez moduły Bluetooth, co w zależności od potrzeb może pozwolić aplikacjom na znalezienie w okolicy innych urządzeń Bluetooth, sprawdzenie, jakie usługi mogą one zaoferować i oczywiście skorzystanie z nich. Struktura warstw transmisyjnych Bluetooth jest swoistym przewodnikiem który wykorzystują aplikacje wspierające moduł Bluetooth. Warstwy wyraźnie dzielą się na warstwę logiczną (programową) oraz fizyczną (sprzętową). Podział standardów Bluetooth:

- a. Bluetooth 1.0 – 21 kb/s
- b. Bluetooth 1.1 – 124 kb/s
- c. Bluetooth 1.2 – 328 kb/s
- d. Bluetooth 2.0 – 2,1 Mb/s,
- e. Bluetooth 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) - 3,1 Mb/s
- f. Bluetooth 3.0 + HS (High Speed) – 24 Mb/s (3 MB/s)
- g. Bluetooth 3.1 + HS (High Speed) – 40 Mb/s (5 MB/s)
- h. Bluetooth 4.0 + LE (Low Energy) – 200 kb/s, niższe zużycie energii, mniejszy transfer, większy zasięg (do 100m)
- i. Bluetooth 4.1 – standard opracowany do zastosowania w tzw. „internecie rzeczy”, umożliwiający bezpośrednią łączność przedmiotów z internetem
- j. Bluetooth 4.2 – w stosunku do poprzednich wersji: szybszy transfer, wyższy poziom bezpieczeństwa, nawiązanie łączności z przedmiotami – łatwiejsze
- k. Bluetooth 5.0 – ujednolicenie wersji, szybszy transfer – 2 Mb/s dla urządzeń typu „wearables” i 50 Mb/s do normalnych, realny zasięg działania do 140 m.

3. Klasy urządzeń Bluetooth

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

Poszczególne klasy nadajników pozwalają na dołączanie urządzeń znajdujących się w różnej odległości. Nadajniki klasy 1 mają zasięg nawet do 100 m. Nominalny poziom mocy nadajnika Bluetooth ustalono na 0 dBm zgodnie z zaleceniami ISM, według których moc emitowana nie powinna przekraczać wspomnianego poziomu. Nadajniki Bluetooth nie powinny także znajdować się za blisko siebie, ponieważ powoduje to nasycenie odbiornika. Minimalna odległość pomiędzy dwoma urządzeniami Bluetooth wynosi 10cm.

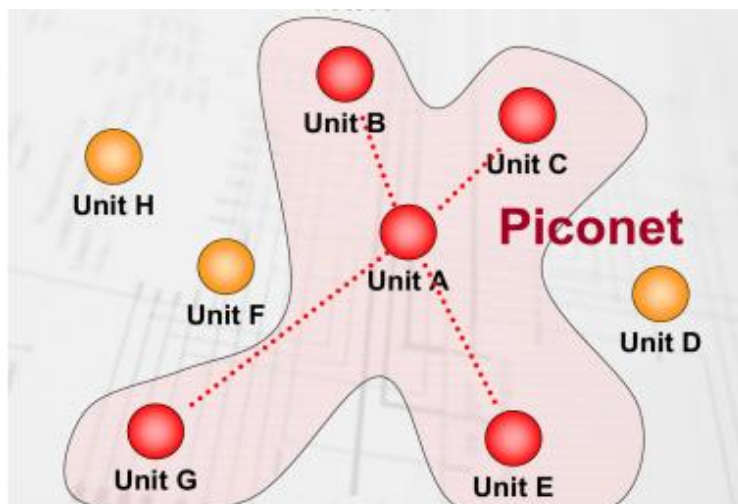
4. Architektura systemu Bluetooth

Bluetooth pozwala na szybkie skonstruowanie bezprzewodowych, radiowych sieci łączących odpowiednie urządzenia wyposażone w moduły nadawczo-odbiorcze Bluetooth. Takie połączenia realizowane są zawsze w relacjach master-slave. Jest możliwość zestawienia dwóch rodzajów łącz między urządzeniami typu master i slave:

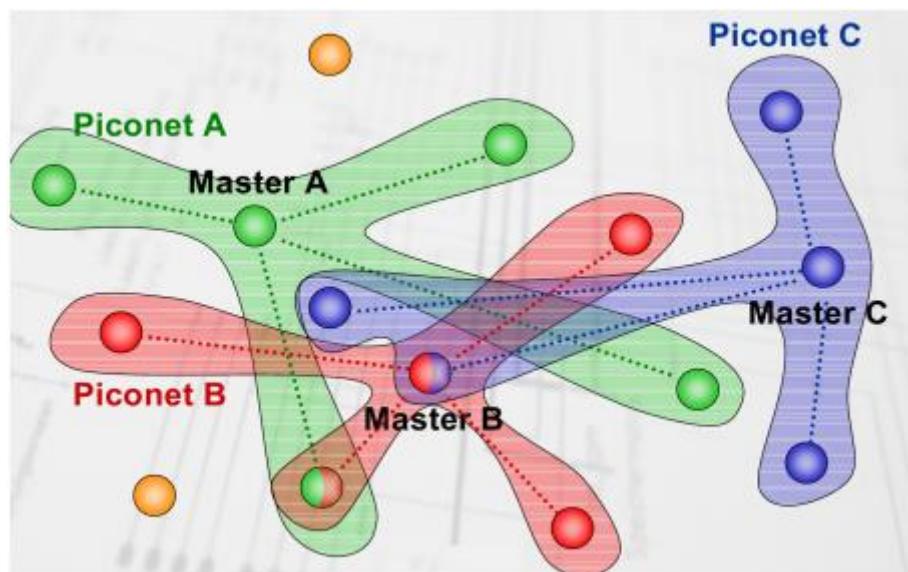
- łączy typu point-to-point – jest połączeniem dwóch urządzeń Bluetooth z których jedno pełni rolę urządzenia nadrzędnego (master) natomiast drugie podrzędnego (slave);
- łączy typu point-to-multipoint tworzy sieć składającą się z maksymalnie ośmiu urządzeń, które określa się pikonetem. Kilka pikonetów dzięki jednemu z urządzeń wchodzących w skład sieci, może współpracować ze sobą, tworząc większy konglomerat (scatternet).

Podstawową jednostką technologii Bluetooth jest pikosieć (*ang. piconet*), która zawiera węzeł typu master oraz maksymalnie 7 węzłów typu slave. Wiele pikosieci może istnieć w jednym pomieszczeniu, a nawet mogą być ze sobą połączone przy pomocy węzła typu bridge.

Połączone ze sobą pikosieci określa się mianem scatternet. Dodatkowo, oprócz siedmiu węzłów typu slave, w jednej pikosieci może pracować do 255 węzłów, pozostających w stanie synchronizacji z urządzeniem typu master (jest to tzw. tryb wyczekiwania i niskiego poboru mocy). Urządzenia te nie uczestniczą w wymianie danych. Mogą tylko otrzymać sygnał aktywacyjny lub nawigacyjny od węzła typu master. Istnieją jeszcze dwa przejściowe stany hold oraz sniff. Przyczyną podziału węzłów na master i slave jest minimalizacja kosztów technologii. Konsekwencją tego jest fakt, że węzły typu slave są w 100% podporządkowane węzłom master. Pikosieć jest scentralizowanym systemem TDM, urządzenie master kontroluje zegar i określa, które urządzenie i w którym slotcie czasowym może się z nim komunikować. Wymiana danych może nastąpić tylko pomiędzy węzłem master i slave. Komunikacja slave – slave nie jest możliwa.



Rys. 2. Pikosieć

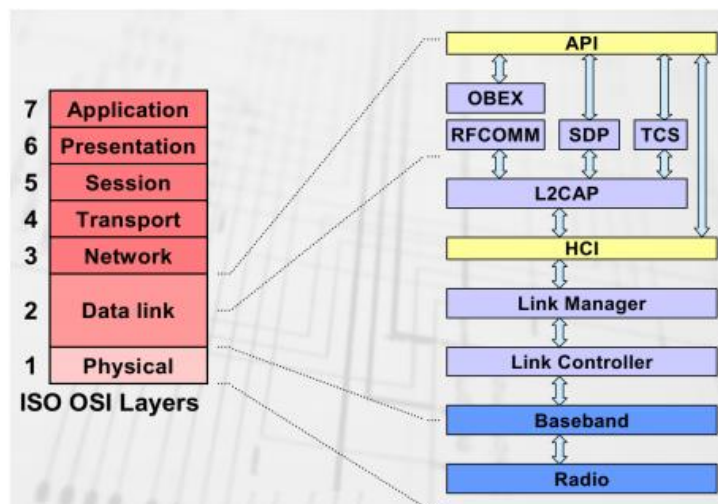


Rys. 3. Połączone trzy pikosieci – scatternet

5. Architektura protokołów Bluetooth

Standard Bluetooth określa wiele protokołów, pogrupowanych w warstwy. Struktura warstw nie odpowiada żadnemu znanemu modelowi (OSI, TCP/IP, 802). IEEE prowadzi prace nad zmodyfikowaniem systemu Bluetooth, aby dopasować go do modelu określonego standardem 802.

- Najniższa warstwa – fizyczna warstwa radiowa – odpowiada warstwie fizycznej łącza danych. Określa ona transmisję radiową oraz modulację stosowaną w systemie.
- Warstwa druga – baseband layer – jest zbliżona do podwarstwy MAC modelu OSI, ale zawiera także elementy warstwy fizycznej. Określa ona w jaki sposób urządzenie master kontroluje sloty czasowe i jak sloty są grupowane w ramki.
- Kolejna warstwa grupuje powiązane ze sobą protokoły. Link manager zajmuje się ustanowieniem logicznych kanałów między urządzeniami, zarządzaniem energią oraz jakością usługi (QoS). Link control adaptation protocol, często nazywany L2CAP, zajmuje się szczegółowymi parametrami transmisji, uwalniając w ten sposób wyższe warstwy od tego obowiązku. Protokół ten jest analogiczny do podwarstwy LLC standardu 802, ale technicznie jest zupełnie inny. Jak wskazują nazwy, protokoły audio i control zajmują się dźwiękiem oraz kontrolą. Aplikacje mogą z nich korzystać pomijając protokół L2CAP.
- Kolejna warstwa jest warstwą przejściową, zawierającą mieszaninę różnych protokołów. Podwarstwa LLC standardu 802, została wstawiona tu przez IEEE, w celu zapewnienia kompatybilności z sieciami 802. RFcomm (Radio Frequency communication) jest protokołem, który emuluje standardowy port szeregowy do podłączenia klawiatury, myszy, modemu oraz innych urządzeń. Protokół telephony jest protokołem czasu rzeczywistego, używanym w profilach zorientowanych na rozmowy. Zarządza również zestawieniem i rozłączeniem połączenia. Protokół discovery service jest używany do umiejscowienia usługi wewnątrz sieci.
- W ostatniej warstwie umiejscowione są aplikacje oraz profile. Używają one protokołów warstw niższych. Każda aplikacja ma swój podzbiór używanych protokołów, zazwyczaj korzysta tylko z nich i pomija inne.

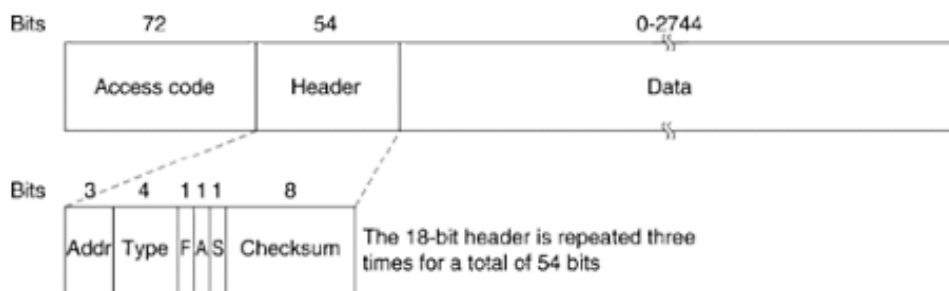


Rys. 4. Architektura protokołów Bluetooth

6. Bluetooth – 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), rodzaj korekcji błędów używany w polu danych oraz liczbę slotów w ramce.
- Pole Flow jest ustawiane przez slave, gdy jego bufony są pełne i nie może on przyjąć więcej danych.
- Bit Acknowledgement jest potwierdzeniem transmisji.
- Bit Sequence jest używany w celu numeracji ramek aby wykryć retransmisje.
- Ostatnie 8 bitów to suma kontrolna.

18 bitów nagłówka są powtarzane trzy razy dając w efekcie nagłówek 54 bitowy. Po stronie odbiorczej prymitywny układ sprawdza wszystkie trzy kopie każdego bitu. Jeśli wszystkie są takie same, wówczas bit jest zaakceptowany. Jeśli nie, to jeżeli otrzymano dwa 0 i jedną 1, wartość końcowa jest 0, jeżeli zaś dwie 1 i jedno 0, to jedynka.



Rys. 5. Struktura ramki w systemie Bluetooth

Literatura:

- [1] <http://bluetooth.com/bluetooth/>
- [2] Vademecum teleinformatyka I, Wydawnictwo IDG 1999r.
- [3] Vademecum teleinformatyka II, Wydawnictwo IDG 2002r.
- [4] Brent A. Miller, Chatschik Bisdikian, Bluetooth, Helion, 2003.

Scenariusz nr 1: Bluetooth (2 urządzenia)

1. Sprzęt i oprogramowanie:

Sprzęt:

- 2 urządzenia obsługujące standard Bluetooth (telefony, tablety, laptopy),
- urządzenie do pomiaru czasu (stoper, zegarek, telefon) - dokładność do 0,1s

Oprogramowanie fabryczne umożliwiające transfer plików pomiędzy urządzeniami

Należy sprawdzić wersje modułów Bluetooth urządzeń, które biorą udział w trakcie testów.

(Opis urządzeń i ich charakterystyka powinien znaleźć się w sprawozdaniu)

2. Uwagi dotyczące wykonania ćwiczenia

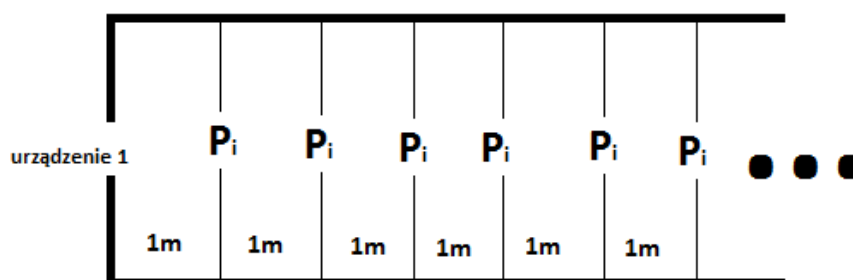
- Ćwiczenie polega na pomiarze czasu przesyłania danych (pliku) w różnych warunkach oraz przy zmieniających się odległościach pomiędzy urządzeniami.
- W każdym punkcie należy wykonać 2 testy (wyliczyć średnią).
- Nie należy zmieniać kierunku transmisji.

3. Wariant scenariusza

- Wielkość pliku: *około 1-2 [MB]*
- Tryby transmisji:

a) 12 punktów pomiarowych co 1 metr

należy w miejscu zamieszkania (np.: korytarz) ustalić 12 punktów pomiarowych co 1 m każdy



Urządzenie (np.: telefon) numer 1 pozostaje zawsze w jednym miejscu, a numer 2 przemieszcza się po kolei od punktu 1 do 12 (co 1m). W każdym punkcie następuje przesyłanie pliku poprzez BT, plik należy przesłać po min. 2 razy w każdym punkcie, notując czasy każdego przesyłania. Wyniki pomiarów w punkcie uśrednić.

b) pomiary z przeszkodą pasywną

w takiej samej konfiguracji jak wariantcie **a)** wykonać pomiary z dodatkową „przeszkodą pasywną” (otwarte/przymknięte drzwi, klatka schodowa, szafa, itp.). Przeszkoda powinna znaleźć się blisko (odległość ok. 1-3,5m) urządzenia nr 1 (stacjonarnego). Pomiary należy realizować rozpoczynając od kolejnego punktu pomiarowego znajdującego się za przeszkodą. Należy wykonać min. po 2 przesyły pliku w każdym wariantcie i notować czasy.

c) pomiary z przeszkodą aktywną

podobnie jak w wariantcie **b)** z tą różnicą, że przeszkodą powinno być urządzenie aktywnie zakłócające częstotliwość pasmo Bluetooth (urządzenie WiFi działające w paśmie 2,4GHz (nie 5GHz) (laptop, router, telefon, itp.), inna transmisja BT (głośnik, słuchawki, itp.)). Urządzenie zakłócające powinno aktywnie zakłócać pasmo (transmitować dane) w trakcie pomiarów.

d) testy maksymalnego zasięgu transmisji

W przestrzeni otwartej (na zewnątrz) należy wykonać próby oszacowania maksymalnego dystansu, na jakim możliwa jest skuteczna transmisja pliku. Na początku sprawdzamy transmisję danych przy odległości 1m a później do skutku podwajamy odległość między urządzeniami. (2m, 4m, 8m, 16m, ...)

W momencie kiedy uzyskamy odległość, na której nie uda się przesłać pliku, zmniejszamy rozmiar ostatniego przedziału o połowę, próbując ponownie przesłać plik (czynność powtarzamy aż uzyskamy odległość umożliwiającą realizację transmisji). Dodatkowo, w poprzednim przedziale wykonujemy pomiar w połowie jego odległości.

4. Wykonanie ćwiczenia:

- Pojedynczy czas pomiaru powinien mieścić się w przedziale od 3 do 20 sekund. W wypadku uzyskania pomiaru spoza zakresu należy zmniejszyć lub zwiększyć wielkość transmitowanego pliku.
- Czasy pomiarów notować w tabelach na kartce papieru lub w formie elektronicznej.
- Jeśli różnica między dwoma pomiarami w jednym punkcie przekracza 30%, należy wykonać trzeci pomiar i odrzucić wartość odstającą (zakłóconą).

5. Wyniki pomiarów:

- uzyskane w trakcie testów czasy wykorzystać do wyliczenia przepustowości transmisji
- odnaleźć informacje o standardach Bluetooth urządzeń wykorzystanych do realizacji ćwiczenia, ich teoretycznej przepustowości i zasięgu transmisji i porównać to z uzyskanymi wynikami
- porównać poszczególne serie testów w formie wykresów przepustowości transmisji
- ocenić wpływ otoczenia na uzyskane wyniki