La modalità BR usa una modulazione GFSK.

La modalità Bluetooth BR è obbligatoria, mentre la modalità EDR è opzionale. La radio Bluetooth BR/EDR implementa una tecnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) a 1600 hop/s. La radio salta in modo pseudo-casuale su 79 canali Bluetooth designati. Ogni canale Bluetooth ha una larghezza di banda di 1 MHz. Ogni canale è centrato a (2402 + k) MHz, dove k = 0, 1, ..., 78. La velocità di trasmissione è di 1 MSymbols/s. La radio Bluetooth BR/EDR utilizza il TDD (Time Division Duplex) in cui la trasmissione dei dati avviene in una direzione alla volta. La trasmissione si alterna in due direzioni, una dopo l'altra.

L'obiettivo dell'utilizzo di FHSS in Bluetooth è quello di fornire una diversità che consenta di ridurre al minimo il BER anche se le reti interferenti o l'ambiente fisico rendono alcuni canali inutilizzabili. Le tecniche di salto di frequenza possono implementare una sequenza fissa di salti di canale, come con il salto di frequenza di base, o adattare dinamicamente la sua sequenza di salto con AFH a condizioni di interferenza variabili. Prima della funzionalità AFH, i dispositivi Bluetooth implementavano lo schema di salto di frequenza di base. In questo approccio, una radio Bluetooth salta in modo pseudo-casuale alla velocità di 1600 hop/s. Quando un altro dispositivo wireless che opera nella stessa banda a 2,4 GHz entra nell'ambiente, lo schema di salto di frequenza di base provoca collisioni occasionali. Ad esempio, Bluetooth e WLAN sono due di queste reti che operano nella banda di frequenza a 2,4 GHz. Le radio Bluetooth e WLAN spesso funzionano nello stesso scenario fisico e sullo stesso dispositivo. In questi casi, le trasmissioni Bluetooth e WLAN possono interferire tra loro. Questa interferenza influisce sulle prestazioni e sull'affidabilità di entrambe le reti.

AFH consente al Bluetooth di ridurre al minimo le collisioni evitando fonti di interferenza ed escludendole dall'elenco dei canali disponibili.

Questa procedura di rimappatura comporta la riduzione del numero di canali che devono essere utilizzati dal Bluetooth. La specifica Bluetooth Core [ 2 ] richiede almeno 20 canali per le trasmissioni Bluetooth.

Immagine che contiene testo, schermata, Carattere, numero

Descrizione generata automaticamente

Il calcolo lo svolge la 

**Modello di perdita del percorso**

La perdita di percorso o attenuazione del percorso è il calo della densità di potenza di un dato segnale mentre si propaga dal trasmettitore al ricevitore attraverso lo spazio. Questa riduzione della densità di potenza si verifica naturalmente a distanza ed è influenzata dagli ostacoli presenti nell'ambiente in cui viene trasmesso il segnale. La perdita di percorso è generalmente espressa in decibel (dB) ed è calcolata come:

PLdB=*Pt*−Pr.

In questa equazione,

* PLdB è la perdita di percorso in dB.
* *Pt* è la potenza del segnale trasmesso in dB.
* *Pr* è la potenza del segnale ricevuto in dB.

I modelli di perdita di percorso descrivono l'attenuazione del segnale tra il trasmettitore e il ricevitore in base alla distanza di propagazione e ad altri parametri come frequenza, lunghezza d'onda, esponente della perdita di percorso e guadagni dell'antenna.

**Modello di perdita del percorso nello spazio libero**

La perdita del percorso nello spazio libero è l'attenuazione della potenza del segnale tra il trasmettitore e il ricevitore lungo il percorso della linea di vista (LoS) attraverso lo spazio libero (solitamente aria), escludendo l'effetto degli ostacoli sul percorso. La perdita di percorso nello spazio libero è calcolata come:

PLdB=20log(4*πd/λ*).

In questa equazione,

* *d* è la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore.
* *λ* è la lunghezza d'onda del segnale.

**Modello di perdita del percorso di shadowing log-normale**

Un modello di perdita di percorso log-distanza riflette la perdita di percorso che un segnale incontra in un ambiente interno, ad esempio un edificio. Il modello di ombreggiamento log-normale [[3]](https://it.mathworks.com/help/bluetooth/ug/end-to-end-bluetooth-le-phy-simulation-using-path-loss-model-rf-impairments-and-awgn.html#mw_rtc_BLEEndtoEndPathLossExample_C8AE687C) è un'estensione del modello di perdita del percorso log-distanza. A differenza del modello log-distanza, il modello di ombreggiamento log-normale considera il fatto che il disordine dell'ambiente circostante può essere molto diverso in due luoghi diversi con la stessa separazione trasmettitore-ricevitore. Le misurazioni mostrano che a qualsiasi distanza trasmettitore-ricevitore, *d*, la perdita di percorso in una particolare posizione è casuale e distribuita normalmente (in dB) intorno al valore medio dipendente dalla distanza. La perdita di percorso è calcolata come segue:

PLdB(*d*)=PLdB(*d0)+10γlog(d/d0)+Xσ*.

In questa equazione,

* PLdB(*d0)* è la perdita di percorso alla distanza di riferimento *d0.*
* *d* è la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore.
* *d0* è la distanza di riferimento.
* *γ* è l'esponente della perdita di percorso.
* *Xσ* è la variabile casuale normale o gaussiana con media zero, che riflette l'attenuazione causata dalla dissolvenza piatta.

**Modello di riflessione del terreno a due raggi**

Il modello di riflessione del suolo a due raggi [[3]](https://it.mathworks.com/help/bluetooth/ug/end-to-end-bluetooth-le-phy-simulation-using-path-loss-model-rf-impairments-and-awgn.html#mw_rtc_BLEEndtoEndPathLossExample_C8AE687C) è un modello di propagazione radio che stima la perdita di percorso tra il trasmettitore e il ricevitore considerando queste due componenti del segnale: LoS e la componente riflessa dal suolo. Quando le altezze delle antenne del trasmettitore e del ricevitore sono approssimativamente simili e la distanza tra le antenne è molto grande rispetto all'altezza delle antenne, la perdita di percorso viene calcolata come:

PLscala lineare=*G h*2th2rd4.

La perdita di percorso in scala logaritmica è calcolata come:

PLdB= 40log10(*d*)−10log10(*G\* h*t^2\* hr^2).

In questa equazione,

* *d* è la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore.
* *G* è il prodotto dei guadagni dell'antenna.
* *ht* è l'altezza del trasmettitore.
* *HR* è l'altezza del ricevitore.

**Modello NIST PAP02-Task 6**

Il National Institute of Standards and Technology (NIST) [[4](https://it.mathworks.com/help/bluetooth/ug/end-to-end-bluetooth-le-phy-simulation-using-path-loss-model-rf-impairments-and-awgn.html#mw_rtc_BLEEndtoEndPathLossExample_M_E2288C42)] ha condotto studi per i percorsi di propagazione da interno a interno, da esterno a esterno e da esterno a interno e ha derivato queste equazioni per calcolare la perdita di percorso:

PLd =PL0+10(*n0)log10(d/d0).*per *d≤d1*

*PLd* =PL0+10(*n0)log10(d/d0)+10(n1)log10(d/d1).*per *d>d1*

In queste equazioni,

* PL0 è la perdita di percorso alla distanza di riferimento *d0.*
* *n0,n1 sono gli* esponenti della perdita di cammino.
* *d* è la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore.
* *d0* è la distanza di riferimento, assunta in 1 metro nelle simulazioni.
* *d1* è il punto di interruzione in cui l'esponente della perdita di percorso si regola da *n0 a n1.*

Immagine che contiene testo, schermata, numero, Carattere

Descrizione generata automaticamente

**Procedura di simulazione BR/EDR Bluetooth end-to-end**

Per eseguire la simulazione end-to-end in presenza di perdita di percorso, implementare questi passaggi.

1. Traduco messaggio in bit
2. Genera una forma d'onda Bluetooth BR/EDR
3. Aggiungi menomazioni
4. Attenua la forma d'onda in base alla perdita di percorso
5. Aggiungi AWGN
6. Visualizza lo spettro delle forme d'onda trasmesse e ricevute

Immagine che contiene testo, schermata, Carattere, diagramma

Descrizione generata automaticamente

Far passare le forme d'onda distorte e rumorose attraverso un pratico ricevitore ed eseguire queste operazioni.

1. Rimuovi offset DC
2. Rileva le raffiche di segnale
3. Eseguire il filtro adattato
4. Stimare e correggere l'offset temporale
5. Stimare e correggere l'offset della frequenza portante
6. Demodulazione della forma d'onda BR/EDR
7. Eseguire la decodifica FEC (Forward Error Correction)
8. Eseguire il dewhitening dei dati
9. Eseguire il controllo degli errori di intestazione (HEC) e il controllo di ridondanza ciclica (CRC)
10. Emette bit decodificati

Immagine che contiene testo, schermata, diagramma, Carattere

Descrizione generata automaticamente