

Bluetooth システムの通信性能評価に関する一検討

A Study on Performance Evaluation of Bluetooth System

小國 治也¹⁾

指導教員 前山 利幸¹⁾

1) 拓殖大学大学院 工学研究科 機械・電子システム工学専攻 前山研究室

キーワード: Bluetooth, 通信システム, BLE, 周波数ホッピング, 干渉

1. はじめに

近年の移動通信システムの発展により、周波数資源の不足が懸念されている。その問題を解決するために LAA(Licensed Assisted Access)という技術が研究されている[1]。LAA では周波数を効率良く使うために、ライセンスバンドだけでなく、アンライセンスバンドを同時に使用して通信を行う。しかし、LAA にも課題がある。LAA はセルラ通信のトラヒックをアンライセンスバンドにオフロードする技術であるため、アンライセンスバンドへ与える通信トラヒックの影響についても考慮する必要がある。

アンライセンスバンドで行われている通信として Bluetooth を例に挙げる。Bluetooth は低消費電力、低速度の通信システムであるため、IoT(Internet of Things)に用いられる通信規格としても活用が期待されている。そこで、今後 IoT の普及に伴い特にトラヒックが増加すると思われる Bluetooth に注目した。

本稿では、Bluetooth の通信システムを模擬し、周辺のトラヒックの違いによる通信性能のシミュレーション及び、評価を行った。

2. Bluetooth

2.1 Bluetooth 概要

Bluetooth は 1999 年に一般公開されてから幾多のアップデートにより改良が重ねられ、現在では Bluetooth 5.1 までバージョンが存在する。

また、Bluetooth はそのバージョンによって通信方式が異なり、クラシック Bluetooth と Bluetooth Low Energy(BLE)の二種類に分けられる。クラシック Bluetooth と BLE の違いは主に消費電力の差に

ある。BLE は Bluetooth 4.0 から導入された機能で、低消費電力の通信に特化した Bluetooth の通信方式である。一方、クラシック Bluetooth は音楽再生等に使われ、BLE はワイヤレスマウスや IoT 向けとして使用される。しかし、LE Audio といった BLE を用いた新しい音声規格も検討されている。

2.2 干渉対策

無線通信の干渉対策として Wi-Fi を例に挙げる。Wi-Fi では CSMA/CA というキャリアセンスを用いており、パケット通信を行う前に占有する周波数帯域をセンシングすることで、干渉を回避している。

一方、Bluetooth は周波数ホッピング方式を採用している。この方式は微小時間であれば干渉を起こしても他ユーザへの影響は少ないという考え方を利用した方法であり、実際には、パケットを伝送するたびに使用するチャネルを変化させている。

しかし、干渉が原因でパケットのコリジョンが発生したとき、BLE のプロファイルによってはパケットの再送が行われないため、例えばワイヤレスイヤホンでは音が途切れるなどの問題が発生する。

3. シミュレーション概要

シミュレーション模式図を図 1 に示す。この図で、BLE 通信を行う 2 端末のうち、主動する端末を master、従属する端末を slave と定義する。

本稿では、BLE を模擬した通信を行う master と slave の周囲に干渉ユーザを配置し、トラヒック環境の違いによる通信性能の評価を行う。なお、通信性能の評価は指定数のパケットを全て送出が完了するまでの試行回数とした。master と slave の通信

距離内に同じチャネルを使うユーザが存在する場合を干渉と定義し, 干渉が起きた場合, パケットの再送を干渉が起きた次の通信で行う. 上記を繰り返し行い, その試行回数の累積分布で比較を行う. また, 周波数ホッピングは(1)式を使用した[2].

$$F(n+1) = (F(n) + hI) \bmod 37 \quad (1)$$

この式において, 関数 F は BLE に使用するチャネルを決定する関数であり, 引数の n は試行回数である. なお, $n=1$ のとき, BLE に使用するチャネルは 0~37 の範囲の一様な乱数で決定している. また, hI は 5~16 の範囲の一様な乱数で決定している[2].

シミュレーション諸元を表 1 に示す. 評価空間は地上を模擬し, 伝搬損失は自由空間伝搬損失とした. また, チャネル数は(1)式より 37 チャネルとした.

4. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 2 に示す. 横軸は 1000 個のパケット送出にかかった回数で, 縦軸がその頻度の累積確率である. まず, 90% の確率でパケットの送出が完了する回数に注目する. そのとき最短でパケットの送出が完了する回数に対して干渉ユーザが 50 台のときでは 16%, 干渉ユーザが 100 台のときでは, 37% のパケットの再送が必要であることが確認できる.

5. まとめ

周波数資源開拓のため, セルラ通信のトラヒックをアンライセンスバンドにオフロードする技術が研究されている. しかし, アンライセンスバンドも IoT などで需要が高まっており, アンライセンスバンドのトラヒック量に応じた通信性能を確認する必要がある. そこで, BLE を例に挙げ, 周波数ホッピングを模擬し, トラヒック量の違いによる通信性能への影響を評価した. 通信性能は指定数のパケットを送出完了することで評価した. その結果, 干渉ユーザの増加に伴い, パケットロスが増えていき, 干渉ユーザを 100 台にした場合では 90% のユーザが通信を完了するとき, 37% のパケット再送が求められるということを確認した.

参考文献

- [1] 3GPP, RP-171416, “Revision of Study on NR-based Access to Unlicensed Spectrum”, June 2017.
- [2] M. O. Al Kalaa and H. H. Refai, “Bluetooth standard v4.1: Simulating the Bluetooth low energy data channel selection algorithm,” 2014 IEEE Globecom Workshops

Table1. Simulation specifications

Parameters	Values
Simulation area	40m×40m×20m
Path loss	Free space path loss
Frequency	2.4GHz
Maximum tele-communication distance	10m
Number of channels	37
Number of sending packets	1,000 times
Number of trials	10,000 times

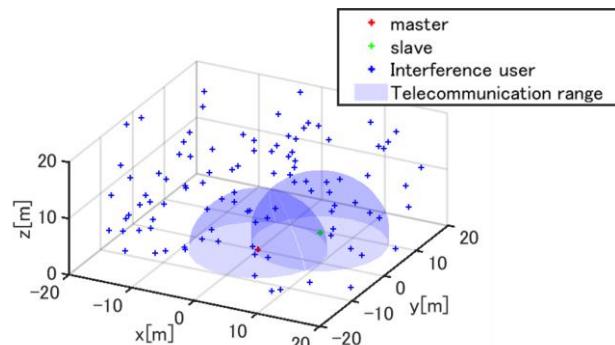


Fig.1 Diagram of the simulation

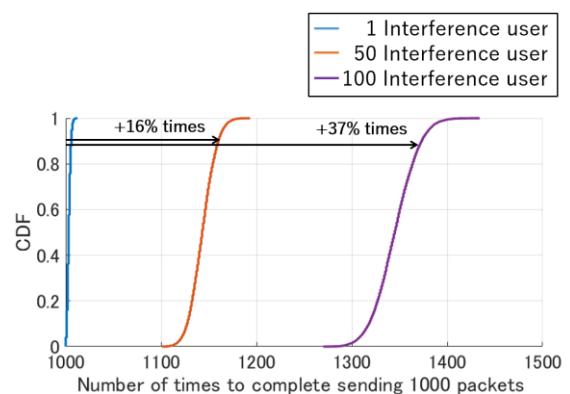


Fig.2 Simulation results