

修士学位論文要約（令和4年3月）

過密環境下のミリ波帯 WBAN における バックオフ制御を用いた公平性改善手法の研究

千田 司

指導教員：末松 憲治

Study of Fairness Improvement Method by Back-off Control for Millimeter-Wave Wireless Body Area Network in Overcrowded Environment

Tsukasa CHIDA

Supervisor: Noriharu SUEMATSU

Wireless Body Area Network (WBAN) using the millimeter-wave (mmW) band (60-GHz band) is expected to be one of the methods to solve the inter-WBAN interference problem. In mmW WBAN, the number of users who receive interference varies due to the linearity and attenuation characteristics of mmW. Thus, the fairness of communication opportunities is degraded. In this paper, we propose a Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) based fairness communication opportunity method that uses the contention window (CW) controlled by using busy-time length before intra-WBAN communication. First, inter-WBAN interference in the case of microwaves or millimeter waves was investigated. This investigation showed the unfairness of communication opportunities in the case of mmW is larger than that of microwave. Next, we evaluated the proposed inter-WBAN interference avoidance method. As a result of evaluation of the communication time rate and fairness index by computer simulation, it is shown that the fairness of WBAN communication can be significantly improved with minimized degradation of the communication time rate.

1. はじめに

近年の IoT デバイスの普及により、体表周囲に無線端末を配置する WBAN (Wireless Body Area Network) が注目されている。今後の WBAN の課題として、普及に伴う WBAN 間干渉が問題になると考えられる。例えば満員電車内のように複数の WBAN ユーザが狭空間に密集している混雑環境においては、隣接する WBAN 間の干渉が頻繁に発生し、マイクロ波帯 WBAN では深刻な問題となる。この問題に対する解決策として、ミリ波帯 (60 GHz 帯) の人体遮蔽による干渉電力減衰効果を利用した WBAN が有効であると考えられる。一方で、ミリ波帯 WBAN では、ある WBAN ユーザが他のユーザから WBAN 間干渉を受けるユーザ数 (干渉数) の偏りが存在する。干渉数のばらつきが大きくなることで、特定のユーザの通信機会が大幅に低下することが考えられる。そこで、ミリ波帯 WBAN の公平性を改善するために、単位時間 (ピリオド時間) あたりのビジー時間の長さ (ビジー時間率) を用いた搬送波感知多重アクセス/衝突回避 (carrier sense multiple access with collision avoidance: CSMA/CA) ベースによる簡易なバックオフ制御を行うことで、WBAN 間で通信することなく WBAN 単位で

の公平性を向上する干渉回避手法を提案する。WBAN 単位での通信を保証するため、WBAN 内通信を行う前にキャリアセンスを行い、コンテンションウィンドウ (contention window: CW) を増減することで公平性の高い通信を実現する。

本論文では、上記の公平性改善手法を提案するとともに、計算機シミュレーションを行うことで提案法の有効性を評価する。

2. ミリ波帯 WBAN における干渉数の分散の評価

図1は本検討で用いるミリ波帯 WBAN ユーザ配置パターンの例である。10 m × 10 m の空間に任

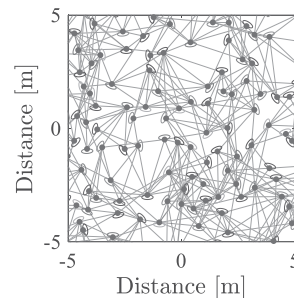


図1 100 ユーザ配置時におけるミリ波帯 WBAN 間干渉グラフ

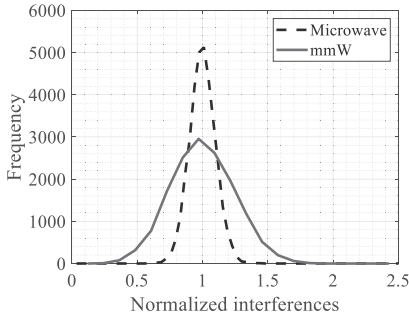


図2 100 ユーザ配置時における WBAN 間干渉の発生頻度 (正規化)

意の数の WBAN ユーザを配置している. その際の干渉関係は先行研究¹⁾の干渉条件に従っている. 図中の楕円, 赤点はそれぞれ WBAN ユーザおよび WBAN コーディネータノードである. 青線で結ばれている WBAN コーディネータノード同士は互いに干渉ノードとなっている様子を示している.

この干渉グラフを用いて, マイクロ波帯とミリ波帯 WBAN の干渉数の分散を求める. 図2は100 ユーザ配置時における WBAN 間干渉の発生頻度を正規化したものである. マイクロ波帯の干渉数の分散は0.10であったのに対し, ミリ波帯の分散は0.24となったことから, 相対的な干渉の広がりマイクロ波帯に比べミリ波帯の方が大きく, 分散で2.4倍となった. 以上から, ミリ波帯 WBAN においては干渉数の偏りがより顕著になり, WBAN 間干渉を多く受けるユーザの通信機会公平性がマイクロ波帯に比べて低下することが分かった.

3. ビジー時間を用いたミリ波帯 WBAN 通信機会公平化手法

本章では, 2. で示された課題点に対してビジー時間率を利用した WBAN 間の CSMA/CA による CW 制御方法を提案する. 本検討の CW_{max} の計算式は床関数を用いて

$$CW_{max} = \max\{[2^n(CW_{max} + 1)(1 - \alpha) - 0.5], 1\} \quad (1)$$

で表される. ここで α はビジー時間率であり

$$\alpha = \frac{T_B}{T_B + T_C + T_D} \quad (2)$$

で与えられる. ここで, T_B, T_C, T_D はそれぞれピリオド時間ごとのビジー時間, 衝突時間, データ通信時間であり, ピリオド時間ごとに更新されたそれぞれの値がバックオフ生成時に用いられる. 本論文では, ピリオド時間を 100 ms と仮定した.

本提案法により, 干渉を多く受けビジー時間が長いユーザの α の更新後では式(1)の α が大きくなり, CW_{max} は小さな値となる. この補正に

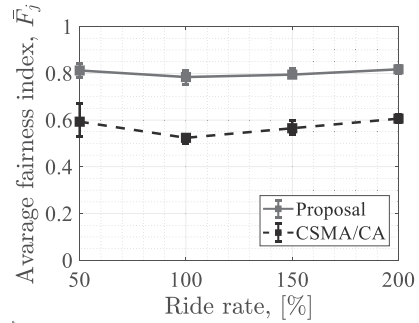


図3 列車内配置モデルにおける乗車率に対する平均 Fairness index の推移

よって干渉数が多く公平性が低いユーザに対して通信機会を増やすことが可能になる.

4. 計算機シミュレーションによる提案法の評価

提案法の有効性を評価するため, 10通りの配置パターンを作成し計算機シミュレーションによる公平性の評価を行った. 図3に列車内を模擬したモデルにおける公平性の評価結果を示す. 公平性の評価指標として Fairness index²⁾を用いた.

破線で示された CSMA/CA を用いた公平性評価結果では Fairness index が0.6前後であるのに対し, 実線で示された提案法では乗車率が上昇した場合においても0.8前後を維持しており, CSMA/CA と比べて高い公平性を実現可能であることが示された. また, 提案法では CSMA/CA と比べて総通信時間への影響に対する影響も最小限であることがシミュレーションによって示された.

5. まとめ

ミリ波帯 WBAN における公平性問題について, マイクロ波帯とミリ波帯 WBAN の干渉数の分散を評価することでミリ波帯の通信機会不公平性を示した. この問題に対して, ビジー時間率を利用した WBAN 間の CSMA/CA による CW 制御を提案し, 計算機シミュレーションによる公平性の定量的な評価を行った. 平均 Fairness index を用いた評価では, 提案法を用いることで総通信時間への影響を最小限にしつつ, 通信機会の公平性が大幅に向上することを示した.

文献

- 1) T. Yokouchi, et al., "Evaluation of Channel Capacity of Millimeter-wave Wireless Body Area Network in Overcrowded Train," IEICE Commun. Express, vol.9, no.9, pp.451–456, Sept. 2020.
- 2) R. Jain, et al., "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer Systems," DEC Research Report TR-301, 1984.