

クロスレイヤシミュレータにおける無線 LAN 評価モデルの検討

A Study of a Wireless LAN Evaluation Model in a Cross-Layer Simulator

T5-16 下沢亮太郎

指導教員 設楽勇

1. はじめに

近年、無線通信端末の利用者が急増し、さまざまな場所で無線通信システムが利用されている。今後もさらなる利用拡大と機能高度化が見込まれる一方、無線通信技術の進歩に伴いシステムが高機能化・複雑化している一方で、研究開発では各レイヤごとに検討が行われている。しかし、単一レイヤでの評価では通信システム全体の性能を十分に把握することができない。本研究では、無線通信全体の品質を総合的に評価するために、実環境の電波伝搬特性を考慮した物理層と MAC(Medium Access Control) 層が連携したシミュレータの開発の一環として、IEEE 802.11 規格に基づく CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式を用いた MAC 層の挙動をする無線 LAN(Local Area Network) モデルを開発し、その有効性を評価することを目指す。

2. 無線 LAN 通信モデル

2.1 CSMA/CA 方式

IEEE 802.11 規格では、CSMA/CA と呼ばれるアクセス制御方式を採用している。図 1 に CSMA/CA の概要を示す。

CSMA/CA では、送信したいパケットが発生した際に Carrier Sense(CS)を行い、チャンネルが空いているとき (Idle) バックオフ時間という各端末がランダムなスロット数を生成し、それに従った待ち時間を待った後、再度キャリアセンスを行いチャンネルが Idle であることを確認してからパケットを送信し、Busy だった場合はパケットを送信できるまでバックオフ時間を待ち越す。複数の端末が同じスロット数を生成した場合には送信タイミングが重なり、衝突が発生するため再送処理が必要となる。

無線 LAN 通信ではバックオフ時間の生成に 2 進数バックオフ方式を採用している。バックオフ制御に用いる Contention Window(CW) は、最大値の上限を 1023 スロットとして衝突回数に応じて変化する。再送回数を n とすると、CW の最大値 CW_{\max} とスロット数 s は

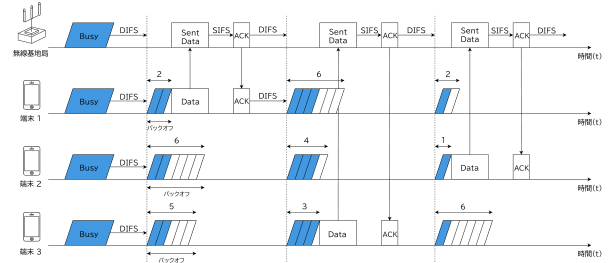
$$CW_{\max} = 2^{4+n} - 1 \quad (1)$$

$$s = \text{randint}(1, \min(c_{\max}, 1023)) \quad (2)$$

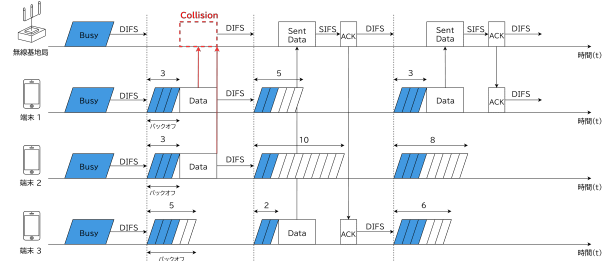
で求められる。

衝突が発生するたびに CW の最大値は 2 倍に増加するため、再送回数が増えるほどバックオフ時間が長くなる可能性が高くなり、衝突の発生を抑制することができる。一方で、CW の増加がオーバーヘッドを引き起こし、実行スループットの低下につながる可能性がある。

本シミュレータでは、端末クラスにスロット生成メソッドを実装し、インスタンスごとにスロット数と再送回数 n を保持することで、各端末が送信を試みる際の待機時間を動的に設定する処理を実装した。



(a) CSMA/CA 成功例



(b) CSMA/CA 失敗例

図 1: CSMA/CA の概要

2.1.1 IFS(Inter Frame Space) による優先制御

フレーム間には IFS と呼ばれる待機時間が設定されている。IFS の長さは 6 種類存在し、代表的なものに DIFS(Distributed Inter Frame Space) と SIFS(Short Inter Frame Space) があり、優先順位に基づいてどの IFS を選択するかが決定される。

SIFS は、ACK(ACKnowledgment) フレームなど、優先度の高い制御フレームの送信間隔として用いられる最短の IFS である。一方、DIFS はデータフレーム送信時に適用される IFS であり、SIFS よりも長い時間に設定されている。CSMA/CA では、端末がチャンネルを利用する前に DIFS だけ待機する必要がある、チャンネルが空

いていればデータフレームを送信する。

2.2 パケット構成モデル化

本研究では、UDP(User Datagram Protocol) レベルの無線 LAN 通信を再現するためにパケット構成を簡易的にモデル化した。図 2 にモデル化したパケットの構成図を示す。

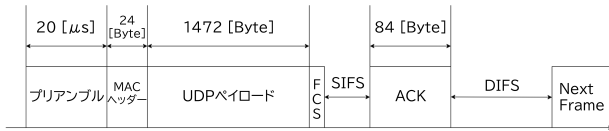


図 2: モデル化されたパケット構成図

無線 LAN 通信では、データ送受信時に PLCP プリアンブルや MAC ヘッダ、FCS(Frame Check Sequence) などの制御情報のオーバーヘッドに加え、ACK フレームの送信や CSMA/CA 特有の DIFS・SIFS などのフレーム間隔、バックオフ動作も必要となる。このため、物理層のみを考慮したシミュレーションと比べ、実環境でのスループットは低下することから、.

3. 実装とシミュレーション設定

本研究では、CSMA/CA 方式を用いた無線 LAN を再現するために、Python を用いてシミュレータを作成した。シミュレータには、各端末を管理する端末クラスを導入し、端末ごとの CW や再送回数の管理、バックオフ時間を決定するためのスロット数の管理、再送処理などの機能を実装している。

また、シミュレータ本体は標準ライブラリである random のみに依存するように設計し、他のライブラリに依存しないようにした。これにより、バージョン差異による影響を受けにくい後方互換性のあるシミュレータを実現した。

3.1 シミュレーションパラメータ

表 1 に、本研究で用いシミュレーションパラメータを示す。規格 (IEEE 802.11a/b/g) によりスロット時間や DIFS/SIFS などのフレーム間隔が異なるため、対応するモードを選択することができる。

表 1: シミュレーションパラメータの例

パラメータ	値・例
シミュレーション時間	60 [s]
スロット時間 (802.11a)	9 [μ s]
DIFS (802.11a)	34 [μ s]
SIFS (802.11a)	16 [μ s]
伝送レート	24 [Mbps]
端末数	80 [台]

4. 評価

図 3 に、横軸を端末数、縦軸をスループットとしてプロットしたシミュレーション結果と理論値を示す。

理論値との差が一番大きい端末数が 80 台の場合でも +2.75% 程度の誤差に収まっていることがわかる。

また、端末数が増加するにつれて理論値との差が徐々に拡大することに対しては、参考とした文献 [2] とのパケットのプリアンブルやヘッダー等のオーバーヘッドのモデル化方法の違いが影響していると考えられる。

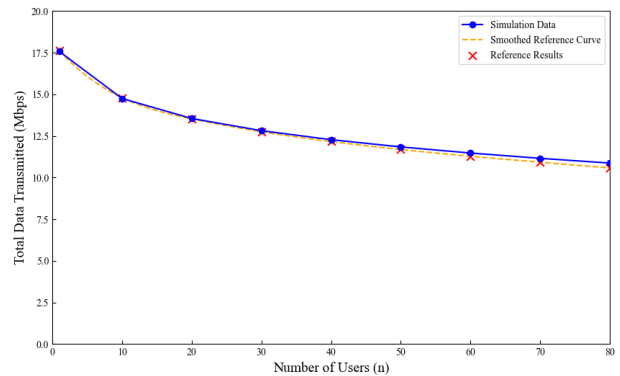


図 3: シミュレーション結果

5. まとめ

本研究では、クロスレイヤシミュレータの一部として無線 LAN 通信の挙動を再現するシミュレータを開発し、CSMA/CA を中心とした基本動作のモデル化とその有効性を検証した。

今後の課題としては、連続送信ではなくポアソン分布などに従った送信間隔を導入することで実際の通信頻度に近い状況を再現することや、衝突が起きても受信電力が干渉電力より十分に大きい場合、フレームの複合に成功するキャプチャ効果を各端末ごとに実装することが挙げられる。

参考文献

- [1] 守倉正博, 久保田周治, 『インプレス標準教科書シリーズ 改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書』, 株式会社インプレスコミュニケーションズ, 2016 年
- [2] Y. Morino, T. Hiraguri, H. Yoshino, K. Nishimori, T. Matsuda, “A Novel Collision Avoidance Scheme Using Optimized Contention Window in Dense Wireless LAN Environments*” *IEICE TRANS. COMMUN.*, VOL.E99-B, NO.11 NOVEMBER 2016
- [3] 西森健太郎, 平栗健史, 『MIMO から Massive MIMO を用いた伝送技術とクロスレイヤ評価手法』, コロナ社, 2017 年.