

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、多様な場所で無線通信システムが活用されており今後も利用の拡大と機能の高度化が見込まれる。一方で、無線通信技術の進歩に伴いシステム自体はますます高機能化・複雑化している。しかし、研究開発の現場では各レイヤごとに検討が行われており、単一レイヤのみ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 層の動作に則った無線 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、まずキャリアセンス (CS) を行い、チャンネルが空いている (Idle) かどうかを確認する。チャンネルが Idle の場合は、各端末がバックオフ時間としてランダムなスロット数を生成し、その時間だけ待った後に再度キャリアセンスを行い、チャンネルが Idle ののであればパケットを送信し、使用中 (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持ち越す。複数の端末が同じスロット数となっ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 システムでは 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、最小値を 15 とし、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

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

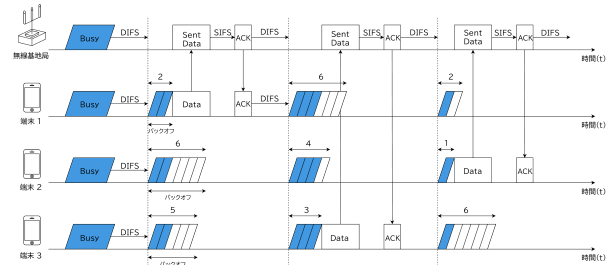
$$s = \text{randint}(1, \min(c_{\max}, 1023)) \quad (2)$$

で求められる。

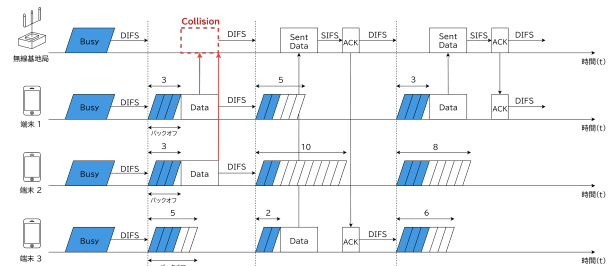
衝突が発生するたびに CW の最大値は 2 倍に増加す

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ことで他端末と同じ CW サイズを引くことができなくなり、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、スループットの低下につながる。

本シミュレータでは、端末単位で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 による優先制御

フレーム間には IFS(Inter Frame Space) 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) がある。これらは、優先順位に基づいてどの IFS を選択するかが決定される。

DIFS はデータフレーム送信時に適用される IFS であり、端末は送信開始前に DIFS 時間待機してからデータフレームを送信する。一方 SIFS は DIFS よりも短い待機時間として設定されており、データフレームの応答確認に用いられ、失敗すると再送処理が必要となる ACK(ACKnowledgment) フレームなどの優先順位の高い制御フレームの送信間隔として用いられる。

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。

無線 LAN 通信では、データ送受信時に PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 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、クロスレイヤでの検討が必要である。

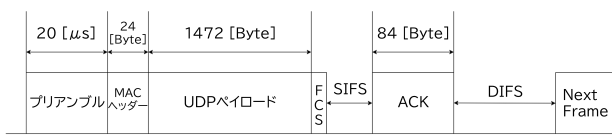


図 2: モデル化されたパケット構成図

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 シミュレーション条件

表 1 に、本研究で用いたシミュレーション条件を示す。モードを選択することでそれぞれの無線 LAN 規格 (IEEE 802.11a/b/g) に対応できるように設計した。

表 1: シミュレーション条件の例	
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

横軸を端末数、縦軸をスループットとしたシミュレーション結果と理論値を図 3 に示す。

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確認できる。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 IP(Internet Protocol) レベルと UDP レベルのプロトコル上の違いからくるペイロード長の差などモデル化方法の違いが影響していると考えられる。以上の結果から、本研究で構築した CSMA/CA ベースの無線 LAN モデルは、理論値に対して概ね一致し、最大でも誤差がおおよそ 3% にとどまることが示された。

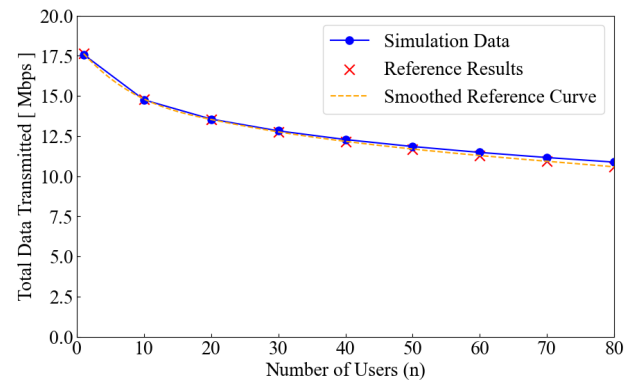


図 3: シミュレーション結果

5. まとめ

本研究では、クロスレイヤシミュレータにおける CSMA/CA を中心とした無線 LAN システムのモデル化とそのシミュレータを開発し、精度を検証した。

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、端末ごとに伝送速度を変えられるようにすること、各端末やアクセスポイントの位置情報を考慮し、受信時の SNR(Signal-Noise Ratio) によって衝突時でもフレームの複合が可能になるキャプチャ効果も考慮できるようにすることでより実際の通信環境に近づけ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*” *IE-ICE 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.