

# 非飽和および飽和状態を考慮した 全二重通信 WLAN における理論解析

見雪 雄哉 (指導教員: 眞田 耕輔)  
三重大学 工学部 電気電子工学科

## 1. はじめに

近年の電波の干渉軽減技術の発展によりデータの送受信を同時に行う無線全二重 (FD: Full Duplex) 通信が注目されている. しかし, この技術をネットワークへ適用させたときに FD 通信の性能をどれほど引き出せるかは未だ未知な部分が多く, FD 通信を考慮した理論解析モデルの確立が必要とされている. これまで, 全二重通信 WLAN (Wireless Local Area Network) における理論解析モデルが提案されている. しかし, これらのモデルは各端末が常にデータを保持している飽和状態を仮定しており [1], 非飽和状態における理論解析は確立されていない. 実際のネットワークは非飽和状態で動作するため, 非飽和および飽和状態を考慮した理論解析手法を確立する.

本稿では, 待ち行列理論を適用させることにより, 非飽和および飽和状態を考慮した全二重通信 WLAN における理論解析モデルを提案し, シミュレーション結果との比較によりその妥当性を示す.

## 2. 従来研究

FD 通信の MAC (Media Access Control) プロトコルとして, FD 通信のタイミングを合わせるために, 制御フレームを用いる同期式と用いない非同期式の MAC プロトコルを考慮した理論解析が提案されている. 文献 [1] では, 非同期式 MAC プロトコルの動作を図 1 に示すマルコフモデルを用いてモデル化することにより, ネットワークの飽和スループットを理論的に導出している. 図 1(a) において,  $W$  はコンテンツンウィンドウの最小値, 状態  $j$  for  $0 \leq j \leq W-1$  はバックオフタイマのカウントを示す. また,  $\beta_i$  はセカンダリ送信移行確率である. プライマリ送信を行う確率は, 各状態における定常状態確率の和を 1 としたときの状態 0 である確率となることから, 端末  $i$  のプライマリ送信確率  $\tau'_i$  は,

$$\tau'_i = \frac{\beta_i \left[ (1 - \beta_i) - (1 - \beta_i)^{W+1} \right]}{W\beta_i - (1 - \beta_i) \left[ 1 - (1 - \beta_i)^W \right]}, \text{ for } i=0, 1, 2 \quad (1)$$

と表せる.

## 3. 非飽和および飽和状態を考慮した無線全二重通信 WLAN における理論解析

本研究では, 飽和状態を考慮した無線全二重通信の理論解析モデルに, 待ち行列理論を適用させることにより, 飽和及び非飽和状態における無線全二重通信ネットワークにおける理論解析モデルを提案する. 本研究では, 図 1(b) に示す 1 台のアクセスポイント (AP: 端末 0), 2 台の端末 (STA: 端末 1, 2) が配置されている WLAN を考える. AP を含むすべての端末が FD 通信の機能を有し, AP と各 STA 間とで双方向のフローが存在する. 端末  $i$  のパケット保持確率  $\rho_i$  は, フレーム処理時間とフレーム到着間隔の比によって導出される. フレーム処理時間はフレーム送信時間と平均バックオフタイマのカウント時間の和に等しい. したがって, フレーム到着率  $\lambda_i$  を用いて, フレーム保持確率は

$$\rho_i = \lambda_i (1 - V_i) (T_s + X_i \delta), \text{ for } i=0, 1, 2 \quad (2)$$

と表せる. ここで,  $T_s$  は 1 フレームの送信時間,  $V_i$  はバッファ破棄率,  $\delta$  はネットワーク全体でバックオフタイマを 1 減少させる際の平均時間である. バッファ破棄率は,

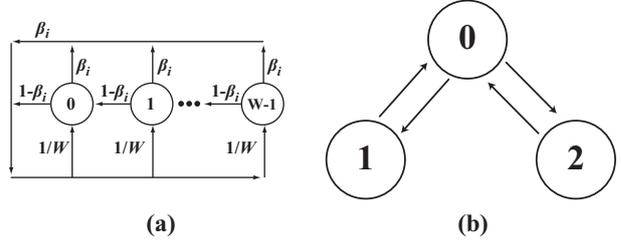


図 1 (a) FD を考慮したマルコフモデル (b) WLAN トポロジ

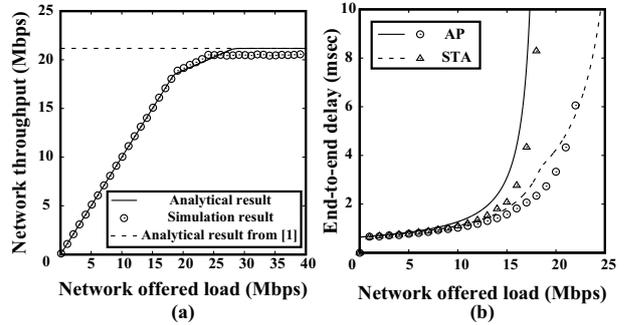


図 2 (a) スループット (b) 遅延

$V_i = (\rho^K - \rho^{K+1}) / (1 - \rho^{K+1})$  と表せる. ここで,  $K$  はバッファサイズである. 平均経過時間  $\delta$  は,

$$\delta = (1 - P_{tr}) \sigma + P_{tr} [P_{s_i} T + (1 - P_{s_i}) T_s] \quad (3)$$

と表せる. ここで,  $P_{tr}$  は全端末がアイドル状態,  $P_{s_i}$  は端末  $i$  の送信状態を示し, 端末  $i$  の送信確率を用いて得られる. 図 1(b) のモデルからバックオフタイマの平均カウント回数は,  $X_i = 1/\tau'_i$  として表せる. 非飽和および飽和状態を考慮した端末  $i$  の送信確率は,  $\tau_i = \rho_i \tau'_i$  と表せる.  $\beta_i$  を  $\tau_i$  を用いて表すことにより, 式 (1), 式 (2) を数的に解くことができ, 任意のフレーム到着率における  $\rho_i, \tau_i$  を導出することができる. これらを用いて, 端末  $i$  におけるスループットは

$$E_i = \frac{\rho_i P (1 - V_i)}{T_s + X_i \delta}, \text{ for } i=0, 1, 2 \quad (4)$$

として得られる.

## 4. 解析モデルの評価

図 2(a) および (b) にネットワーク全体の送信負荷に対するスループットおよび遅延を示す.  $\rho_i$  を用いて端末ごとの遅延を待ち行列理論より導出している. 任意の負荷において解析結果とシミュレーション結果が一致していることから, 提案の解析モデルの妥当性が確認できる.

## 5. おわりに

本稿では, 非飽和および飽和状態を考慮した無線全二重通信 WLAN における理論解析モデルを提案した.

## 参考文献

[1] D. M. Rahman, M. Y. Naderi, and K. R. Chowdhury, "Performance Analysis of CSMA/CA based Medium Access in Full Duplex Wireless Communications." IEEE Transactions on Mobile Computing vol. 15, no. 6, pp. 1457-1470, June. 2015.