

無線全二重通信マルチホップネットワークにおけるスループット及び遅延解析

藤村 力 (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

無線全二重通信とは、送信端末によるフレーム送信と受信を同時に行う通信方式であり様々な通信の向上が得られることから現在盛んに研究が進められている。無線全二重通信では送信端末によるフレーム送信をプライマリ送信、プライマリ送信の受信端末によるフレーム送信をセカンダリ送信と呼び、これまで、非同期型 WLAN (Wireless Local Area Network) における全二重通信ネットワークにおける理論解析モデルが提案されている [1]。プライマリおよびセカンダリ送信を全二重 MAC を考慮したマルコフモデルでモデル化することで、その送信試行確率を導出している。しかし、ネットワークにおける全ての端末の送信試行確率が等しいと仮定している。そのため、文献 [1] の解析モデルを、無線全二重通信マルチホップネットワークの解析へ適用させることはできない。一方で、文献 [2] では、エアタイムの解析モデルを用いることにより、無線マルチホップネットワークにおける本質的な特徴である端末ごとにそれぞれ異なる動作の記述を容易に可能にしている。しかし、これらの解析モデルは無線半二重通信を前提としており、無線全二重通信におけるプライマリ送信とセカンダリ送信を定義することができない。

本研究では、半二重通信マルチホップネットワークの理論解析モデルと全二重 WLAN における理論解析モデルを統合させることにより、無線全二重通信マルチホップネットワークのスループット及び遅延解析手法を提案する。本研究は無線全二重通信マルチホップネットワークにおいて初めて明確な解析手法を示す。シミュレーション結果との比較により解析モデルの妥当性を示す。

2. スループット及び遅延解析

本解析では、図 1(a) に示すマルコフモデルを端末ごとに定義することにより、各端末のプライマリ送信とセカンダリ送信のエアタイムを導出する。得られたエアタイムからネットワークの最大スループットおよび平均遅延を理論的に導出する。本研究では図 1(b) に示す 2 ホップネットワークを解析対象とする。以下に、本解析における仮定を示す。(1): 端末 0 は端末 2 宛のデータフレームを生成する。端末 1 はデータの中継のみを行い、自身でフレームの生成を行わない。(2): 端末 1 がフレームを保持しているときに、端末 0 からフレーム送信を検知した場合、端末 1 はセカンダリ送信を行う。(3): 端末の送信範囲とキャリアセンス範囲は等しいとし、その範囲は 1 ホップ先の端末までとする。

図 1(a) において β_i はセカンダリ通信へ移行する確率である。 $1 - \beta_i$ は自身のバックオフをカウントする確率である。 W は CW_{min} の値である。仮定 2 より、 $\beta_0 = 0$ および $\beta_1 = q_0 \tau_0$ である。ここで、 q_i および τ_i はそれぞれ端末 i のフレーム保持確率および送信試行確率である。図 1(a) より、端末 i のプライマリ送信確率および端末 i の送信試行確率はそれぞれ

$$\tau_{p_i} = \frac{\beta_i(1 - \beta_i)((1 - \beta_i)^W - 1)}{(1 - \beta_i)((1 - \beta_i)^W - 1) + W\beta_i} \quad (1)$$

$$\tau_i = \tau_{p_i} + \tau_{s_i} = \frac{W\beta_i}{(1 - \beta_i)((1 - \beta_i)^W - 1) + W\beta_i} \quad (2)$$

と表せる。

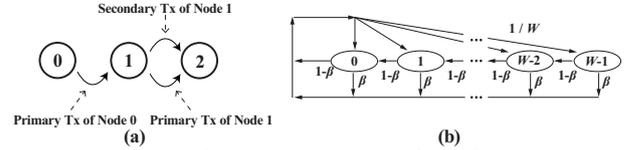


図 1: (a) 2 ホップネットワーク, (b) 全二重 MAC を考慮したマルコフモデル [1]

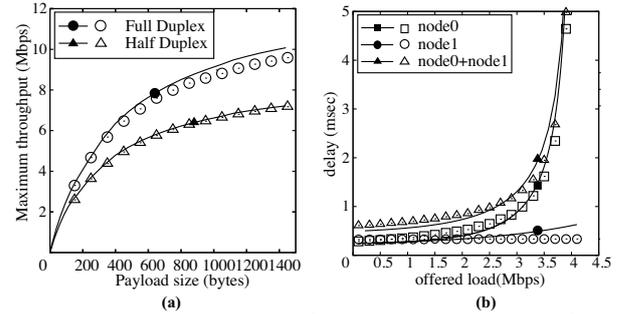


図 2: (a) ペイロードサイズに対する最大スループット, (b) 送信負荷に対する遅延 (実線: 解析, プロット: シミュレーション)

したがって、端末 i 送信エアタイム X_i を用いてプライマリ送信エアタイムのプライマリ送信とセカンダリ送信の比を考慮することにより、

$$X_{p_i} = \frac{\tau_{p_i}}{\tau_i} X_i, \quad (3)$$

と表せる。したがって、端末 i のフレーム保持確率は

$$q_i = \frac{O\sigma}{P\tau_i(1 - X_0 - X_{p_1})} \quad (4)$$

と表せる [2]。ここで σ はスロットタイム、 O は送信負荷、 P はペイロードサイズである。 q_i の値が初めて 1 を超える時点での送信負荷を求めることにより、ネットワークの最大スループットが得られる。また、文献 [2] における遅延解析モデルを適用させることで、端末ごとの送信遅延を導出できる。

3. 解析モデルの評価

図 2(a) および (b) にペイロードサイズに対する最大スループット、送信負荷に対する平均遅延をそれぞれ示す。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本解析の妥当性を確認できる。

4. まとめ

本研究では全二重通信マルチホップネットワークにおけるスループット及び遅延解析手法を提案した。

参考文献

- [1] R. D. Mohammady, M. Y. Naderi, K. R. Chowdhury "Performance analysis of CSMA/CA based medium access in full duplex wireless communication," IEEE Trans. Mobile Comp., vol. 15 no. 6, June 2016.
- [2] K. Sanada, J. Shi, N. Komuro, H. Sekiyya "End-to-end delay analysis for IEEE 802.11 string-topology multi-hop networks," IEICE Trans. Commun., vol. E98-B, No. 7, July 2015.