

# 任意のトポロジーにおける IEEE802.11 マルチホップネットワークのスループットおよび遅延解析

大脇 隆弘 (指導教員: 森 香津夫, 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, 基地局を介さず端末同士でネットワークを構成し, 自律的にデータ伝送を行う無線マルチホップネットワークが注目されている. しかし, 無線マルチホップネットワークでは, 個々の端末が自律的に動作してネットワーク全体の挙動を生み出すため, ネットワーク全体の動作の把握が困難である. このようなネットワークの挙動を明らかにするうえで, ネットワークの数理モデル化が有効である [1, 2]. 無線マルチホップネットワークにおける有効な解析手法の一つとして, エアタイムを用いた解析手法が提案されている. しかし, 既存のエアタイムを用いた解析手法では, ネットワークトポロジーを限定しているため, 任意のトポロジーに対応することができない.

本稿では, 任意のネットワークトポロジーにおける IEEE802.11 マルチホップネットワークにおけるスループットおよび遅延解析手法を提案する. シミュレーション結果との比較より解析手法の妥当性を示す.

## 2. エアタイムを用いた理論解析手法

エアタイムを用いた解析手法では, ある端末  $i$  が送信中である確率を, 送信エアタイム  $X_i$  を用いて, 任意の端末の  $i$  のキャリアセンス中である確率や衝突率を端末毎に導出される. 従来のマルチホップネットワークにおける解析手法と異なる点は, 個々の端末ごとに詳細に衝突やキャリアセンスの影響を考慮することでネットワークにおけるボトルネックとなる端末の特定が可能になり, さらに, 簡易的な解析式で高精度な解析を行うことができる. しかし, これまで提案されてきた解析手法は直線状無線マルチホップネットワークにおける単一フローを前提としているため, 非直線状ネットワークや複数のネットワークフローが混在したネットワークに対応できない [1, 2].

## 3. 提案手法

本研究では, 任意のネットワークトポロジーにおける複数のネットワークフロー混在下における各端末の動作を考慮するために, それぞれの端末においてフローごとのエアタイムを新たに定義する. 本解析では, UDP フローを想定し, 送信失敗は衝突によるもののみとする. Flow  $k$  に属する送信端末  $i$  とその直近の宛先端末間のリンクを  $i_k$  と表記する. リンク  $i_k$  における送信エアタイムを

$$x_{i_k} = \lim_{Time \rightarrow \infty} \frac{s_{i_k}}{Time} \quad (1)$$

と定義する.  $s_{i_k}$  はある期間  $[Time]$  においてリンク  $i_k$  での送信に費やされた総時間である. 端末  $i$  における送信エアタイムは, 端末  $i$  に属するリンクのエアタイムの総和であるため,  $X_i = \sum_{k=1}^K x_{i_k}$  と得る. ここで,  $K$  はネットワークにおけるフロー数である.  $X_i$  の定義はこれまでのエアタイムに解析で提案されてきたものと同義であるため, 各端末のキャリアセンスエアタイムも同様にキャリアセンス範囲内にある端末の送信エアタイムの和として導出できる [1, 2]. リンク  $i_k$  におけるスループットは,  $e_{i_k} = x_{i_k}(1 - \gamma_{i_k})P_k/T_k$  と表せる. ここで,  $\gamma_{i_k}$  は, リンク  $i_k$  におけるフレーム衝突率を表し, 送信エアタイム  $x_{i_k}$  を用いて表せる. また,  $P_k$  および  $T_k$  はそれぞれフロー  $k$  のペイロードサイズ, 送信時間である. 端

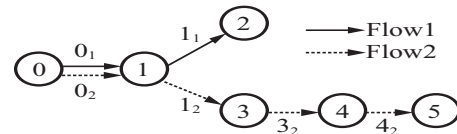


図 1: 解析対象ネットワーク

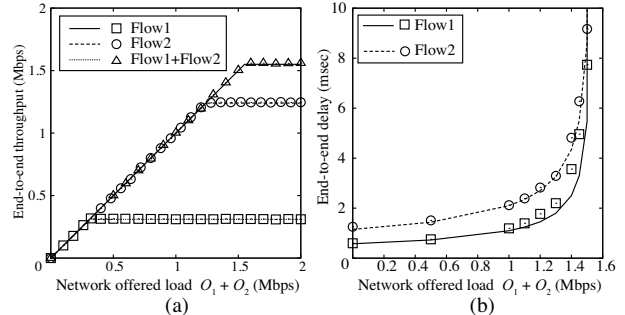


図 2: オファードロードに対するフローごとの (a) スループットおよび (b) エンドツーエンド遅延

末ごとのエアタイムを用いて, キャリアセンスエアタイムおよびフレーム衝突率が導出され, それらを用いて端末ごとのフレーム保持確率を表せる [2]. マルチホップネットワークでは, 宛先端末までデータを中継されるため, Flow  $k$  に属する始点から終点までの各リンクにおけるスループットは全て等しい. そのため,

$$O_k = e_{j_k}, \text{ for } j \in \mu(k) \quad (2)$$

が成り立つ. ここで,  $O_k$  は Flow  $k$  のオファードロード,  $\mu(k)$  は Flow  $k$  に属する, リンク番号の集合である. 全てのフローに対して, 式 (2) を適用させることで, 各リンクにおける  $x_{i_k}$  に関する式が導出される. 送信エアタイム, 衝突率およびフレーム保持確率を未知数として台数方程式を数値的に解くことで, それぞれの未知数が導出される.

## 4. 解析評価

図 1 に示すネットワークを解析対象とし, 既存のネットワークシミュレータとの比較により, 提案手法の妥当性を示す. 図 1 では, 端末 0 が端末 2 および端末 5 宛のデータフロー (Flow 1, Flow 2) をそれぞれ生成し, それぞれの宛先までデータを中継する. 図 2 にオファードロードに対するフローごとの (a) スループットおよび (b) エンドツーエンド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手法の妥当性が確認できる.

## 5. まとめ

本稿では, 任意のネットワークトポロジーにおける IEEE802.11 マルチホップネットワークのスループットおよび遅延解析手法を提案した.

## 参考文献

- [1] Y. Gao, D.M. Chiu, and J. Lui, "Determining the end-to-end throughput capacity in multi-hop networks: methodology and applications." ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. Vol. 34. No. 1. ACM, 2006.
- [2] K. Sanada, et al, "End-to-end delay analysis for IEEE 802.11 string-topology multi-hop networks." IEICE Transactions on Communications vol. 98. No. 7 pp. 1284-1293, April 2015