

# マルチホップ無線ネットワークでの TFRC 性能向上の検討 A Study on TFRC in Multi-hop Wireless Networks

小泉 信也 甲藤 二郎  
Shinya KOIZUMI Jiro KATTO

早稲田大学 理工学部 電子情報通信学科

Department of Electronics, Information and Communication Engineering, School of Science and Engineering, WASEDA University.

## 1. まえがき

近年、ユーザの要求と共に、ネットワーク上を流れるトラフィックは多様化している。そんな中、リアルタイムメディアの伝送に特化したベストエフォート型プロトコルの TFRC(TCP-Friendly Rate Control)が開発された。TFRCは、有線環境において TCP フローとの混在環境で公平な帯域利用を実現することを目的としたプロトコルである。この TFRC はマルチホップ無線ネットワーク環境においては、TFRC の性能が著しく低下することが問題となっている。そこで、本論文ではマルチホップ無線ネットワークの諸特性を検証し、TFRC をマルチホップ無線ネットワークに適したものにするための改善手法の検討を行う。

## 2. マルチホップでの TFRC の公平性困難

TFRC センダは TCP-Reno をモデルとした式(1)に示すスループット方程式を用い、送信レートを設定する。

$$X = \frac{s}{R \sqrt{2 \frac{bp}{3} + t_{RTO} \left( 3 \sqrt{3 \frac{bp}{8} p (1 + 32 p^2)} \right)}} \quad (1)$$

X は転送レート、s はパケットサイズ、R は RTT、p はロスイベント率である。TFRC レシーバはロスイベント率と推定レートをフィードバックし、TFRC センダはその情報と測定した RTT を用い送信レートを制御する。有線ネットワークでは混在するフローに対し、適切にレートを算出する TFRC であるが、マルチホップ無線ネットワーク環境では有線ネットワークにはない隠れ端末問題やさらし端末問題、また移動によるルート切断が引き起こす Out-Of-Order(OOO)伝送やランダムなビットエラーロスが発生するため、RTT の激しい変動や不正確なロスイベント率を経験し、不必要なスループットの減少がもたらされ、本来の目的である TCP フローとの公平性が実現困難となっている。

## 3. シングルホップモデルを利用したマルチホップのネットワーク状況推定

IEEE802.11 RTS/CTS では隣接ノードに RTS を送信し、隣接ノードから CTS が返ってこない場合、衝突が発生したとみなし、DIFS 時間と再送回数に応じたランダムなバックオフ時間待ち、回数が制限された再送を行う。この制限を超過した場合、ルート切断と判断し、ルート再構築を行う。[1]では1ホップ MAC でのサービス時間をモデル化している。バックオフ時間は式(2)で表される。

$W_{min}$ ,  $m$  は最小 CW 数, 最大バックオフステージ数で DSSS の場合 32, 5 となる。

$$\bar{T}_B = \frac{\alpha(W_{min}\beta - 1)}{2q} + \frac{1-q}{q} t_c \quad (2)$$

where

$$\beta = \frac{q - 2^m(1-q)^{m+1}}{1 - 2(1-q)} \quad (3)$$

$q$  は MAC 層での伝送成功確率で式(4)で表され、ノード数  $n$  から求められる[1].

$$q \approx \frac{(W_{min} + 1)^2}{(W_{min})^2 + 2(n+1)W_{min}} \quad (4)$$

ここで、TFRC レシーバはバックオフ時間の変動が実際のパケットのエンドエンド片方向遅延の変動( $ott_{dev}$ )に対応していることを利用し、式(2), (5), (6)よりマルチホップでの  $q_{new}$  を推定する。そして、 $q_{new}$  から再送制限超過(RET)を経験したパケットを検知する。

$$\bar{T}_B = f(q) \quad (5)$$

$$q_{new} = \bar{f}(ott_{dev} / \text{number-of-hops}) \quad (6)$$

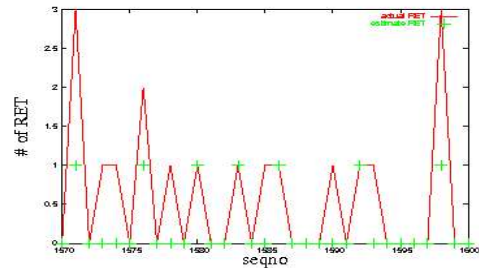


図1. 実際の RET (line) と推定 RET (point)

## 4. TFRC 改善手法

パケットが RTS 再送制限超過を経験しているということは、ビットエラーロスやルート変動や MAC での衝突などがネットワーク上で発生していることを意味する。そこで、レシーバで算出したロス率の変動や OOO 伝送率から、再送制限超過を引き起こした原因を場合分けし、それらの情報をフィードバックすることによりセンダ側がネットワークの状況に対し適応的にレート制御を行う手法の検討を進めている。

## 5. まとめ

レシーバ側で理想的なシングルホップモデルを利用し、TFRC を無線マルチホップネットワークに適したものにする為には有益なネットワーク状況推定を行うことができた。

### 参考文献

[1]. Marcelo M. Carvalho, "Delay Analysis of IEEE802.11 in Single-Hop Networks", in Proc. IEEE ICNP'03