

本資料について

- 本資料は下記論文を基にして作成されたものです。文書の内容の正確さは保障できないため、正確な知識を求める方は原文を参照してください。
- 著者：オユーンチメグシャグダル、中川健治、張兵
- 論文名：無線アドホックネットワークにおけるフロー間の公平性の改善
- 出展：電子情報通信学会論文誌B Vol. J88-B No. 3



無線アドホックネットワークにおけるフロー間の公平性の改善

名城大学情報工学科
渡邊研究室
樋口豊章

はじめに

- 無線アドホックネットワークの広い実現のため、公平性、安定性、通信のパフォーマンスなどの向上が求められている
 - その中でも、フロー間の公平性は重要な要素であり、今までも公平性に関する研究は有線ネットワークを対象に数多く行われてきた
 - 有線ネットワークで、フロー間の公平性が劣る主な原因は、異なるトラヒックの混在
 - 例) UDP トラヒックとTCP トラヒックが混在する場合において、ボトルネックで輻輳が発生

はじめに

- 有線ネットワークで生じる公平性の問題の改善策
 - バッファ・マネージメント
 - スケジューリング→リンク層に着目した方式
- 無線アドホックネットワークにおける公平性の問題は、MAC 層にも大きく影響されるため、従来の手法だけでは十分に解決されない

無線アドホックネットワークで発生するフロー間の公平性の問題

- リンク層におけるフロー間の公平性の問題
 - 無線アドホックネットワークは、基地局に依存しないネットワークであり、直接通信が行えない端末間の通信は途中の端末の中継によって行われる
 - 他のフローに中継サービスを与える無線端末のバッファは、複数のフローに共有されるため、中継端末のバッファが各フローに不公平に割り当てられることで、フロー間の公平性が劣るといった問題が生じる
 - 従来のリンク層に着目した方式で改善できる

無線アドホックネットワークで発生するフロー間の公平性の問題

- MAC 層におけるフロー間の公平性の問題
 - 無線アドホックネットワークでは、複数の端末が無線チャンネルを共有するため、お互いの通信範囲に位置する無線端末が同時にパケット送信を行うと衝突が起これ通信が失敗する
 - 各端末に均等にチャンネル割当を行うDCF (Distributed Coordination Function) チャンネルアクセス方式が使用されている
 - 複数のフローをもつ端末と、一本のフローしかもたない端末が、同一通信範囲に存在する場合、フロー間の公平性が劣る
 - 端末に平等にチャンネルを割り当てただけでなく、フロー数に応じたチャンネルアクセス方式が必要とされる

リンク層におけるフロー間の不公平の例

- トポロジー

- 端末M1が端末M2を経由して端末M3へデータ送信 (Flow1) し、更に端末M2からも端末M3へデータ送信 (Flow2) する場合を考える



リンク層におけるフロー間の不公平の例

- $G < B/2$

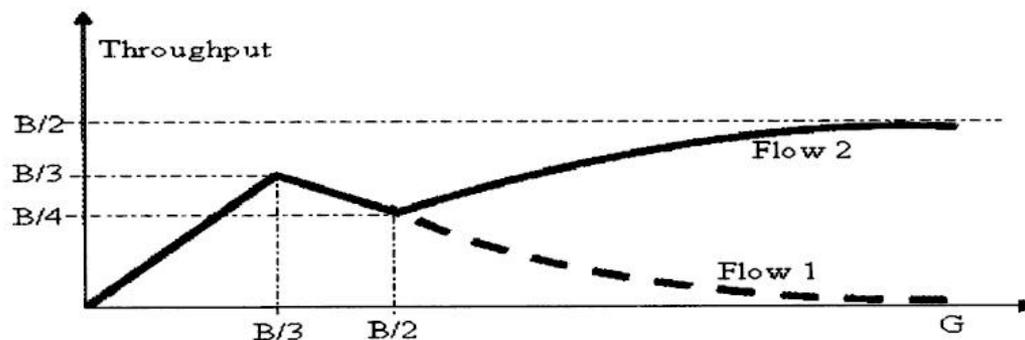
$$\begin{cases} Th(Flow1) = Th(Flow2) = G & (\text{if } G < (B - G)/2) \\ Th(Flow1) = Th(Flow2) = (B - G)/2 & (\text{if } (B - G)/2 \leq G < B/2) \end{cases}$$

- $G \geq B/2$

$$\begin{cases} Th(Flow1) = \frac{B^2}{2(B + 2G)} & (\text{if } G \geq B/2) \\ Th(Flow2) = \frac{BG}{B + 2G} & (\text{if } G \geq B/2) \end{cases}$$

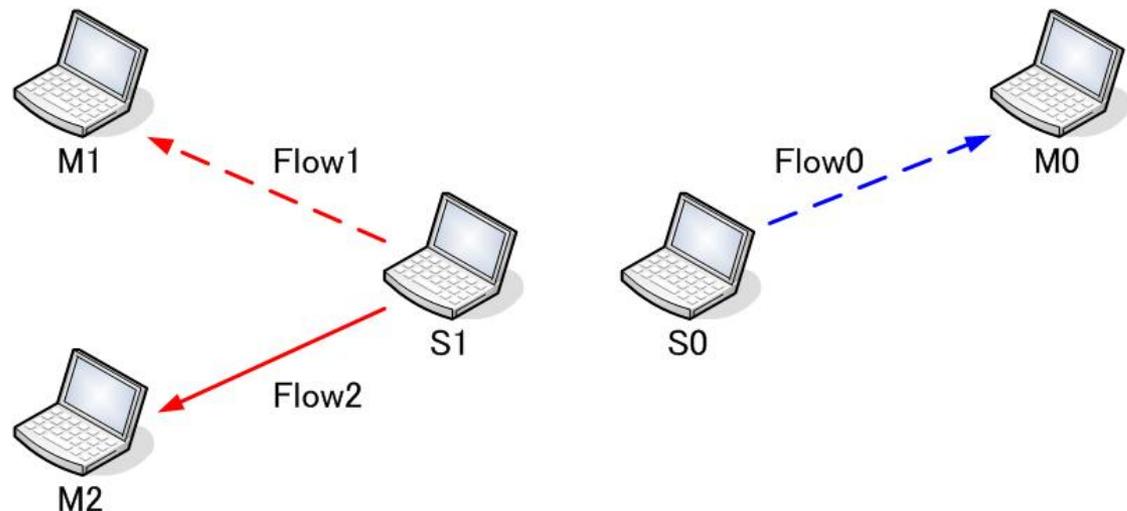
トラヒックのレート: G
無線リンク帯域幅: B

- 各フローのスループット

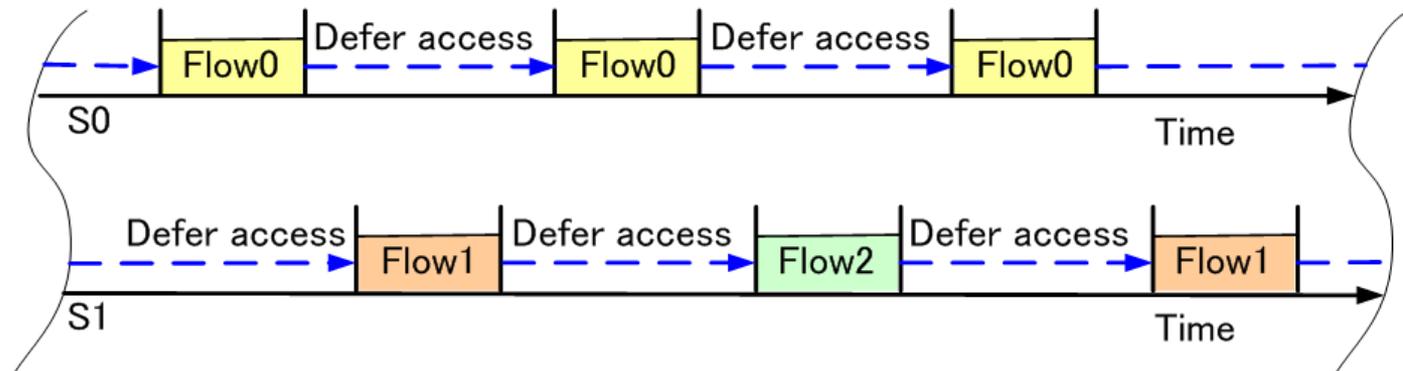


MAC層におけるフロー間の不公平の例

- トポロジー



- 802.11MACにおけるチャネル割当の様子



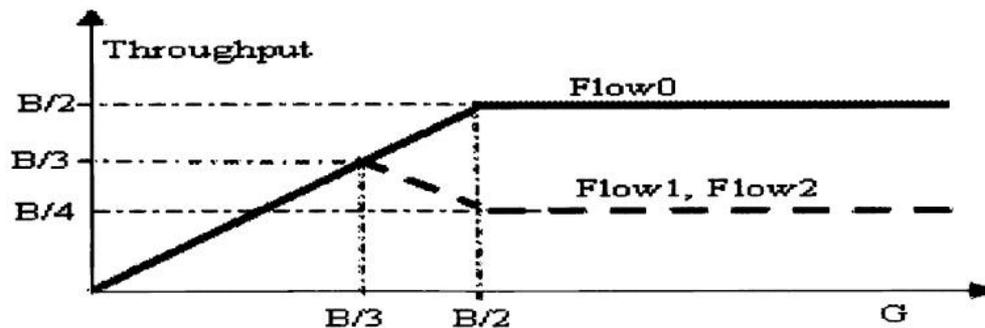
M A C層におけるフロー間の不公平の例

- スループットの式

$$\begin{cases} Th0 = Th1 = G & (\text{if } G < B/3) \\ Th0 = G, \quad Th1 = (B - G)/2 & (\text{if } B/3 \leq G < B/2) \\ Th0 = B/2, \quad Th1 = B/4 & (\text{if } G \geq B/2) \end{cases}$$

- 各フローのスループット

トラヒックのレート: G
無線リンク帯域幅: B



改善方法

- リンク層において、フローごとにバッファを設け、RR(Round Robin)スケジューラを用いることにより、各フローのパケットをMAC層へ平等に送信する
- MAC層での公平の実現のため、DCFチャンネルアクセス方式をもとに、各フローが同等なチャンネルアクセスを行う

→フロー間の公平性だけでなく、ネットワーク全体のパフォーマンス、チャンネルユーティリティなども改善できる

リンク層におけるフロー間の公平性の改善

- フロー間の公平性がリンク層における不公平が原因で劣る場合、公平性の問題を解決するためには、リンク層におけるフロー間の公平性を改善する必要がある
→RR(Round Robin)スケジューリング方式はFIFOスケジューリング方式より、リンク層におけるフロー間の公平性が改善できる

リンク層におけるフロー間の公平性の改善

- FIFO スケジューラは、パケットがバッファに格納された順で送信されるパケットがフロー間における不公平な状態でバッファに格納されていれば、パケットは不公平のままMAC 層へ送信されることとなる
- RR スケジューラは、フローごとに異なるバッファを設けることにより、パケットをMAC 層へ送信するとき、各バッファからパケットを1 個ずつ取り出して送信を行うため、リンク層においてフロー間の公平性を改善することができる

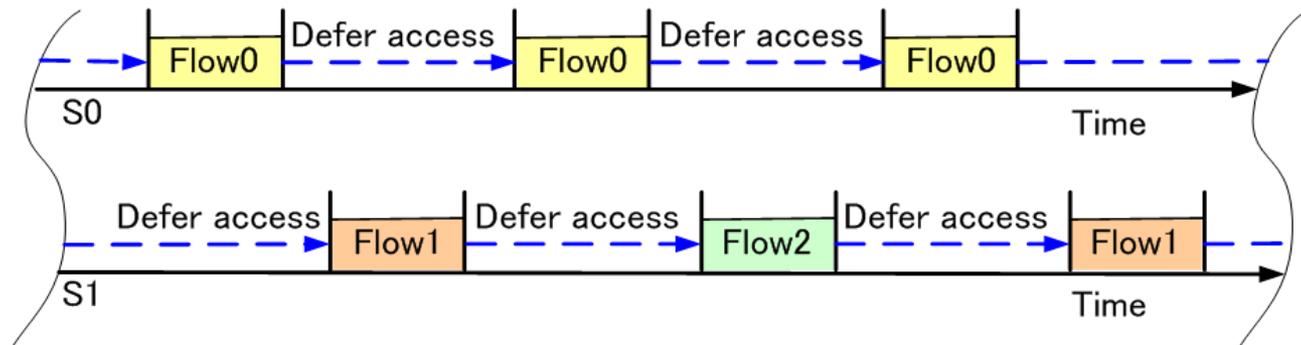
→リンク層におけるフロー間の不公平を改善するために、リンク層にRR スケジューラし、送信すべきパケットがリンク層に到着するとパケットに含まれるソケット情報(送受信端末のIP アドレスとポート番号)をもとに、どのフローのパケットであるかを識別し、異なるフローのパケットを異なるバッファに格納する

MAC層におけるフロー間の公平性の改善

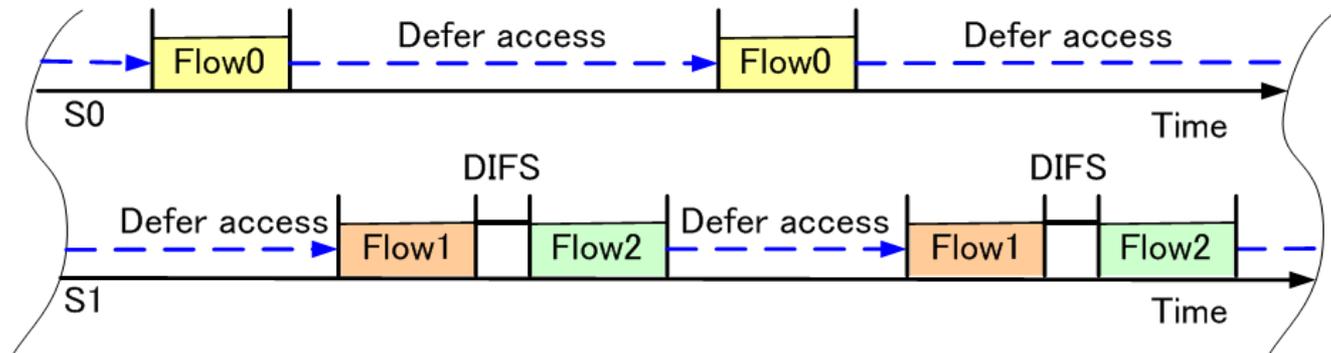
- 複数のフローをもつ無線端末は、チャンネルアクセス権利を獲得してから、フロー数に応じて複数のパケット送信を可能にする
 - 従来のDCF チャンネルアクセス方式においては、送信端末はパケット送信が成功すれば、ポストバックオフ処理（通信が成功した際、次に送信すべきパケットの有無にかかわらず、特定のバックオフ時間を待つ処理）に入るが、複数のフローのパケットをもつ送信端末は、パケット送信が成功した後にポストバックオフ処理を行わず、DIFS (DCF Inter Frame Space) 時間だけを待ってから、次の異なるフローのパケットを送信する

フロー間の公平性の改善

- 802.11MAC におけるチャンネル割当の様子



- 改善におけるチャンネル割当の様子



提案方式の特性と解析

- 提案方式の公平性に関する特性を検証するために、複数のフローからなるシステムの公平性を評価するパラメータである FairnessIndex を使用する
 - FairnessIndex は0 から1 の間の値をとり，その値が1 に近いほど、フロー間の公平性が優れていることを意味する

$$\text{FairnessIndex} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \text{Ave}|}{2(n-1)\text{Ave}}$$

n : 全フロー数

x_i : フロー i のスループット

Ave : ネットワークの平均スループット

提案方式の特性と解析

- 各端末が無線チャネルを共有する無線アドホックネットワークでは重要なパラメータであるチャネルユーティリティを評価するために下記の式を用いる

$$\text{ChannelUtility} = \frac{\text{使用時間}}{\text{トータル時間}} \times 100 [\%]$$

- 使用時間は干渉などによって失敗に終わった通信時間を除くチャネルを有効に活用した時間を表す

シミュレーション評価

- 評価する方式の特徴

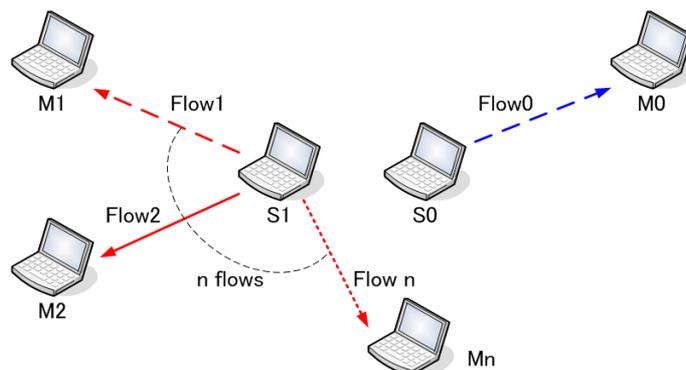
方式	リンク層	MAC 層
ori(FIFO)	FIFO スケジューリング方式	IEEE 802.11b
ori(RR)	RR スケジューリング方式	IEEE 802.11b
proposed	RR スケジューリング方式	提案方式

- シミュレーションのパラメータ

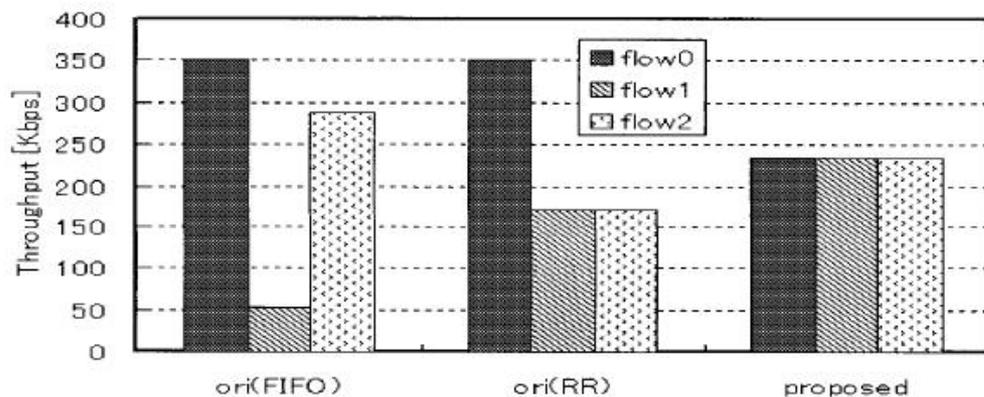
シミュレーション時間	50 [s]
アンテナ	Omni directional
無線伝搬モデル	Free space & Two-ray
通信範囲	250 [m]
MAC プロトコル	IEEE 802.11b (RTS/CTS 使用)
無線リンクの帯域	2 [Mbit/s]
バッファタイプ	FIFO, RR
バッファサイズ	50 [pkts]
ルーティングプロトコル	DSDV
トラヒックタイプ	UDP (CBR), TCP (FTP)
CBR パケット送信間隔	1~20 [ms]
TCP 最大ウィンドウサイズ	20 [pkts]
パケットサイズ	512 [Byte], 1 [kByte]

シミュレーション評価 1-シングルホップモデル

- トポロジ



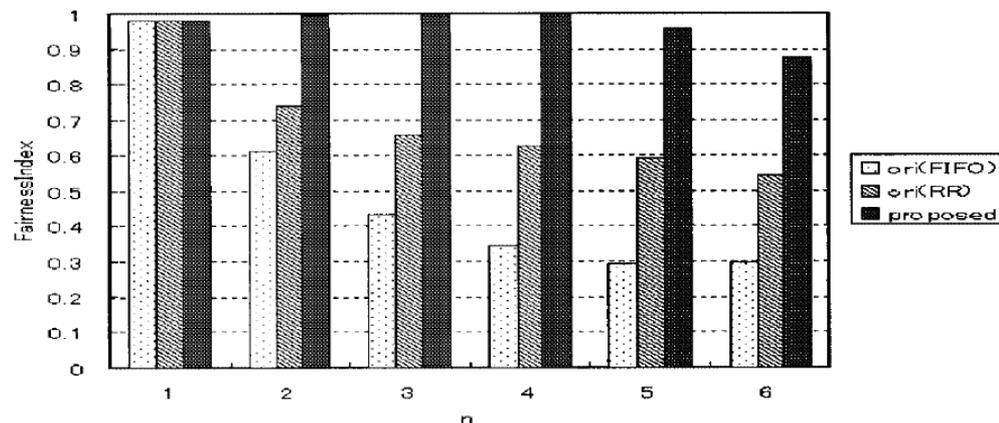
- 各フローのスループット (n=2の場合)



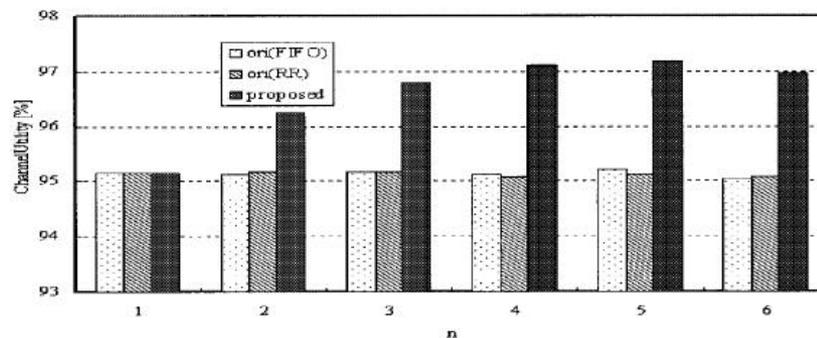
ori (FIFO)	691.49 [kbit/s]
ori (RR)	691.90 [kbit/s]
proposed	699.68 [kbit/s]

シミュレーション評価 1-シングルホップモデル

- FairnessIndexの比較

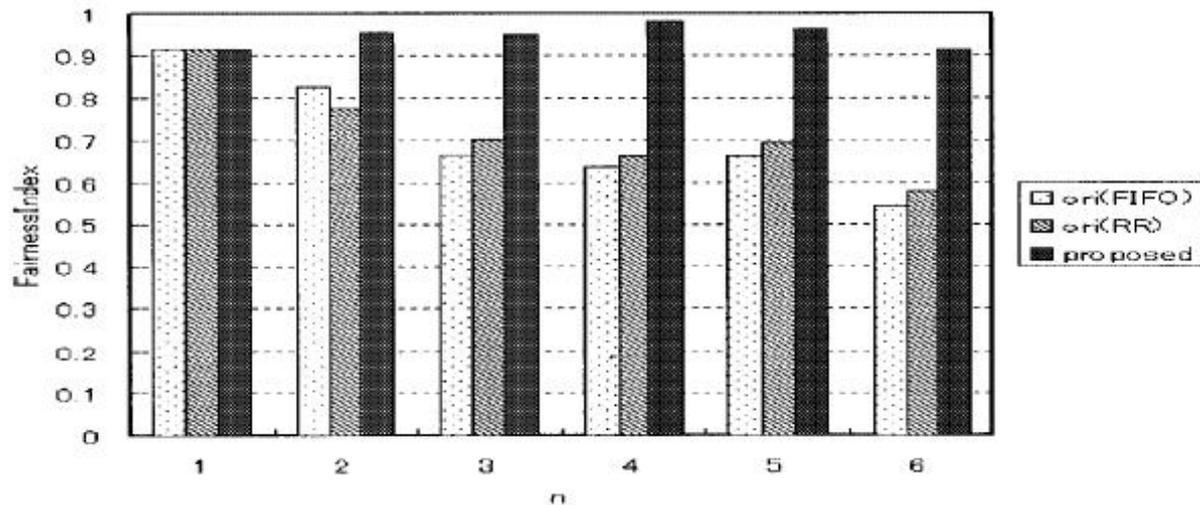


- ChannelUtilityの比較



シミュレーション評価 1-シングルホップモデル

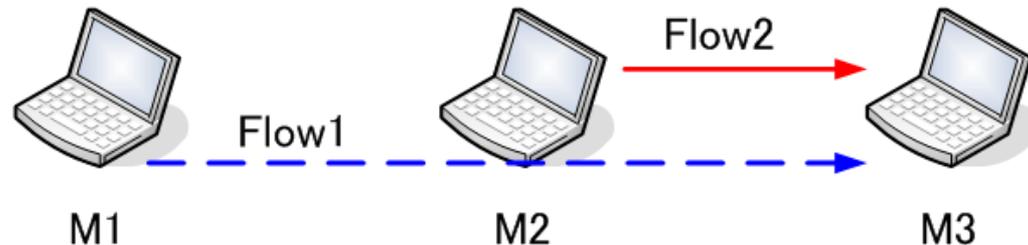
- FairnessIndexの比較 (TCP)



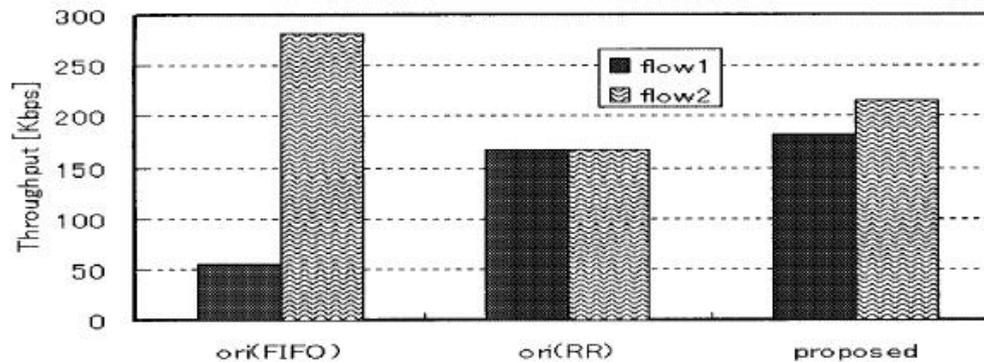
シミュレーション評価

2-マルチホップモデル

- トポロジー



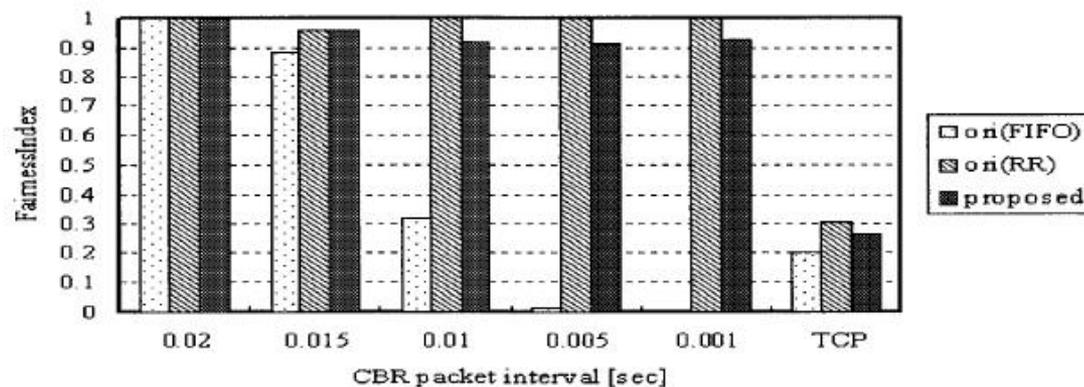
- 各フローのスループット



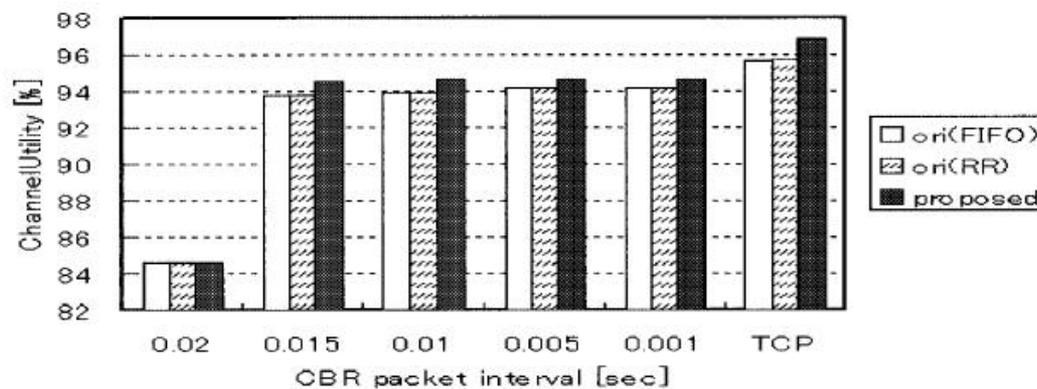
ori (FIFO)	334.48 [kbit/s]
ori (RR)	334.48 [kbit/s]
proposed	398.46 [kbit/s]

シミュレーション評価 1-シングルホップモデル

- FairnessIndexの比較



- ChannelUtilityの比較



検討

- トータルスループットの改善は、シングルホップモデルにおいてわずかであるが、マルチホップモデルにおいてその改善は非常に大きい
→それぞれのモデルのトータルスループットの改善分は下記式で表される

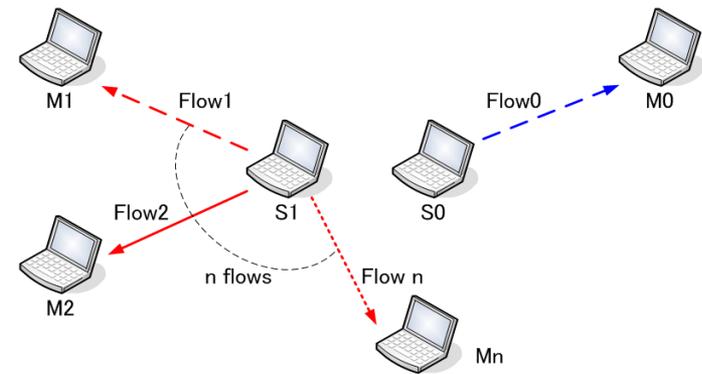
- シングルホップ

$$\Delta Total(SingleHop) = -\Delta Th + \Delta Th + \alpha = \alpha$$

- マルチホップ

$$\Delta Total(MultiHop) = \Delta Th + \alpha$$

検討



- シングルホップ

- S0 に割り当てられる帯域を減少させ、その分S1 に割り当てる帯域を増加させることになる

→S0 がもつFlow0 のスループットが ΔTh だけ減少し、S1 がもつFlow1 とFlow2 のスループットの和が ΔTh だけ増加することを意味する

- トータルスループットは、全フローのスループットの和で示されるため、得られるトータルスループットの改善分は下記式で表される

$$\Delta Total(SingleHop) = -\Delta Th + \Delta Th + \alpha = \alpha$$

- α はチャネルユーティリティの改善によるスループットの増加分

検討



- マルチホップ

- マルチホップモデルにおいても、提案方式はM1 に割り当てられる帯域を減少させ、その分M2に割り当てられる帯域を増加させる

→M1 とM2 間で転送されるFlow1 のスループットが ΔTh だけ減少し、M2 とM3 間で転送されるFlow1 とFlow2のスループットの和が ΔTh だけ増加することを意味する。

- このマルチホップモデルにおけるトータルスループットは、M2 が送信するFlow1 とFlow2のスループットの和で示されるため、トータルスループットの改善分は下記式で表される

$$\Delta Total(MultiHop) = \Delta Th + \alpha$$