

# 通信状態を考慮した アドホックルーティングプロトコルの提案と評価

123430038 三嶋 勇太  
渡邊研究室

## 1. はじめに

無線 LAN を標準搭載した端末の普及に伴い、無線端末のみでネットワークを構築するアドホックネットワーク (Ad-hoc Network) に注目が集まっている。アドホックネットワークでの通信経路生成には、アドホックルーティングプロトコルを用いる。しかし、これまで提案されている多くのアドホックルーティングプロトコルは、経路生成の際に中継ホップ数が最小となる経路 (最短経路) を探索することが目的となっており、最短経路が複数存在する場合にどれが選択されるかは実装に任されている。この場合、特定のノードが複数の通信の経路として選択されると、パケットロスが多発し、スループットが低下してしまうという課題がある。また、IP ネットワークでは、TCP と UDP という性質の異なる 2 種類の通信が存在する。既存のプロトコルでは、両者に対して同一の制御が行われるため、性質の違いを経路生成に生かし切れていない。本論文では、OLSR (Optimized Link State Routing) [1] を拡張し、通信状態を考慮し、TCP と UDP の特性を活かす経路選択を可能にするアドホックルーティングプロトコル PD-OLSR (Protocol Dependent - OLSR) を提案する。また提案方式を実装し、評価を行った。

## 2. TCP と UDP の特性の違い

IP ネットワークには、TCP と UDP という特性の全く異なる 2 種類の通信が存在する。TCP では、輻輳制御により、順調に ACK が返ってきた場合には、ウィンドウサイズを大きくし、帯域を有効に使おうとする。パケットロスが発生すると、ネットワークに輻輳が発生したと判断し、ウィンドウサイズを小さくする。このようにしてウィンドウサイズが適切な大きさに調整され、ネットワークがさらに輻輳することを防止する。それに対し、UDP は端末側が意図した流量のトラフィックがそのままネットワークへ送出される。ネットワーク内でパケットロスが発生してもそれは変わらない。このような特性の違いは、マルチホップ通信時のスループット変化として表れる。

図 1 と図 2 にシミュレーションで測定した、マルチホップ通信時の TCP と UDP それぞれのスループットの変化を示す。ノードを一直線上に並べ、1~10 ホップの場合のスループットの変化を測定した。TCP では、輻輳制御により各ホップで帯域を分け合うため、ホップ数に反比例する形でスループットが低下する。これに対し、UDP では帯域に余裕がある限り、ホップ数が増加してもスループットの低下は見られない。このことから、UDP では最短経路よりもホップ数を伸ばした冗長経路が許容できると考えられる。

## 3. PD-OLSR

### 3.1 概要

PD-OLSR は、次のような特徴を持つアドホックルーティングプロトコルである。

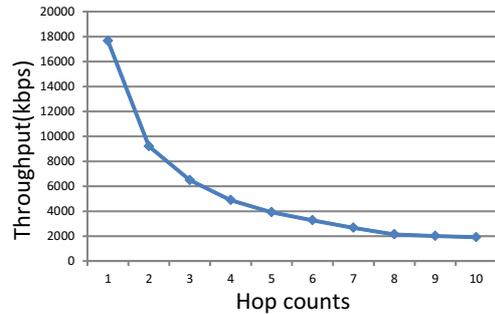


図 1: マルチホップ通信時の TCP スループット変化

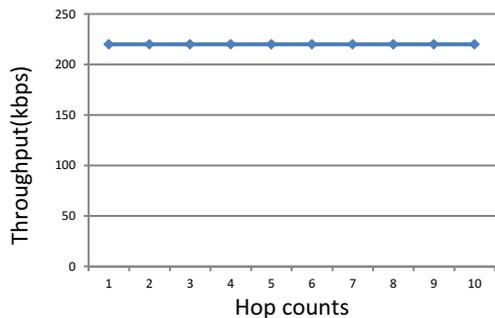


図 2: マルチホップ通信時の UDP スループット変化

### (1) TCP と UDP で別々の RT を生成

異なる特性を持つ TCP と UDP に対し、別々の RT を用いて通信制御を行うことにより、通信特性を活かした経路選択を行う。PD-OLSR では、TCP では最短経路の中から最適な経路を、UDP では取り得るすべての経路の中から最適な経路を選択する。

### (2) 通信状態による経路選択

ノードのトラフィック情報を計測し、ノードへのトラフィック集中を抑制する。各ノードは、トラフィック情報を常に計測する。計測した情報は制御メッセージに載せ広告、共有することで経路選択に用いる。このとき、制御メッセージの送受信、ノードが保持する情報の更新といった基本部分は OLSR のものをそのまま利用し、制御メッセージにトラフィック情報を追加するものとする。TCP と UDP についてそれぞれ異なる方針により経路探索を行い、RT を生成するために、経路選択に用いるトラフィック指標を別々に計測する。TCP では 1 秒間に検出する TCP セッション数。UDP では 1 秒間に検出するキャリア UDP トラフィックとする。

### 3.2 経路生成

PD-OLSR では、各ノードが測定し、制御メッセージによって共有したトラフィック情報をもとに経路生成を行う。TCP では、OLSR の RT 生成動作を拡張し、複数の最短

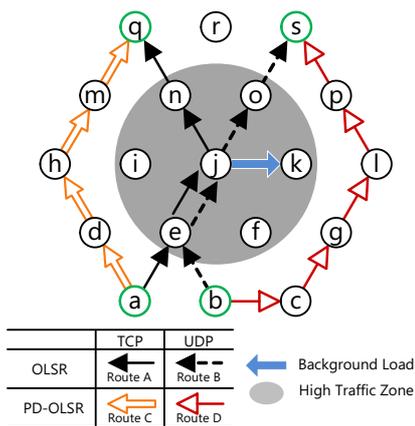


図 3: OLSR と PD-OLSR の経路例

経路の中から経路中の合計トラフィック情報が最も小さくなるものを選択する。UDP では、最短経路探索アルゴリズムであるダイクストラ法 [2] を用いて、トラフィック情報をリンクメトリックとすることによりすべての経路の中から経路中の合計トラフィック情報が最も小さくなるものを選択する。

図 3 に OLSR と PD-OLSR の経路例を示す。ネットワーク構成は、ノード 19 台が等間隔で配置されており、電波到達範囲は隣接ノードまでとする。また、背景負荷としてノード j から k に TCP または UDP による通信が行われており、隣接ノード e, f, i, n, o では TCP セッション数または UDP トラフィックが検出されているものとする。図中では、ノード a から q への TCP、ノード b から s への UDP の 2 つの経路が生成される例を示している。

OLSR の場合、経路 A および B のような、ホップ数を基準とした最短経路が選択される。最短経路が複数存在する場合、どの経路を選択するかは規定されていない。このため、OLSR では特定のノードに負荷が集中することにより、パケットロスが多発し、スループットが低下する可能性がある。PD-OLSR では、ノードが計測したトラフィック情報をもとに経路選択を行うことにより、TCP では経路 C のような最短経路の中から、UDP では経路 D のようなすべての経路の中から負荷の高いノードを避けた経路を選択する。

#### 4. 性能評価

TCP 用と UDP 用 RT 生成機能を ns-2 に実装し、性能評価を行った。以下に内容を示す。

##### 4.1 シミュレーション条件

図 3 のネットワークのノード数を 37 台に増やし、ランダムな通信組の負荷を 10 本から 40 本まで増やしたときの TCP と UDP それぞれの通信性能を OLSR と PD-OLSR の場合について 10 回ずつ行い比較を行った。UDP の通信は、VoIP を想定したものであり、経路の過剰な迂回を防止するための係数  $\alpha$  をリンクメトリックに導入し、 $\alpha$  を変化させたときの性能の違いを確認した。ここで、 $\alpha$  が大きくなるほど、経路の迂回度は小さくなるものとする。

##### 4.2 シミュレーション結果

図 4 と図 5 にそれぞれ各方式における TCP スループットと UDP パケット到達率の比較を示す。

TCP では、OLSR と比べてどの負荷状況でも、特に低負荷時に大きくスループットが低下した。これは、PD-OLSR では最新のトラフィック情報に合わせて経路を切り替える

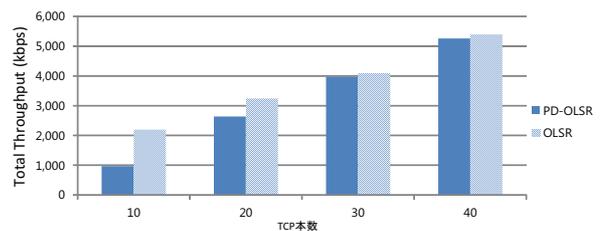


図 4: TCP スループット比較

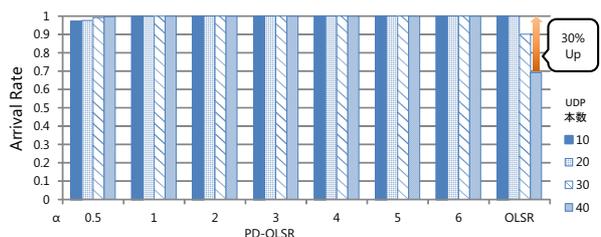


図 5: UDP パケット到達率比較

ことに原因があると考えられる。TCP において、通信中に経路を切り替えることは、パケット追い越しなどの発生の原因となり、スループットが低下する。通信中は同じ経路を使い続けるようにすることでこの課題は解決できると考えられる。

UDP では、今回測定した係数  $\alpha$  の範囲 0.5~6 では、1~6 の範囲で UDP が 10~40 本の場合についてパケット到達率がほぼ 100% となり、OLSR の場合の約 70% から劇的に改善することができた。しかし、 $\alpha$  を 0.5 とした場合、低負荷時のパケット到達率が低下した。これは、経路の迂回度が大きくなった場合であり、過剰な迂回は到達率を低下させることがわかった。

#### 5. まとめ

OLSR を拡張することにより、TCP 用と UDP 用の別々の RT を生成し、特性の違いを活かした経路選択が可能なプロトコル PD-OLSR を提案した。TCP 用と UDP 用の RT 生成機能を実装し、性能評価を行った。結果として TCP では、PD-OLSR の方がスループットが低くなった。TCP スループットの低下の要因は、通信中に経路を切り替えることにあると考えられ、通信中は同じ経路を使い続けるよう改良が必要である。UDP では、高負荷時のパケット到達率をほぼ 100% にすることができた。今後は、TCP 用 RT 生成機能の改良、および TCP と UDP の混在環境での評価、さらにトラフィック情報以外の要素をメトリックとして組み合わせる検討を行う。

#### 参考文献

- [1] E. T. Clausen, "Optimized link state routing protocol (olsr)," IETF, RFC 3626, 2003.
- [2] E. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," Numerische Mathematik, vol. 1, no. 1, pp. 269-271, December 1959.

# 通信状態を考慮した アドホックルーティングプロトコルの提案と評価

名城大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

渡邊研究室 123430038

三嶋 勇太



# はじめに

---

- ▶ 研究背景
- ▶ 提案方式：PD-OLSR
  - トラフィック情報・メッセージによる共有
  - TCP用RT
  - UDP用RT
- ▶ 評価
- ▶ まとめ

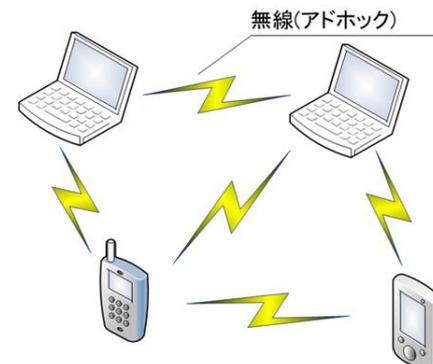
# 研究背景

## ▶ アドホックネットワーク

- 無線端末が直接通信・自律的に構成するネットワーク
- 利用形態
  - インフラを利用できない環境
  - 災害時, イベント会場など一時的な通信需要

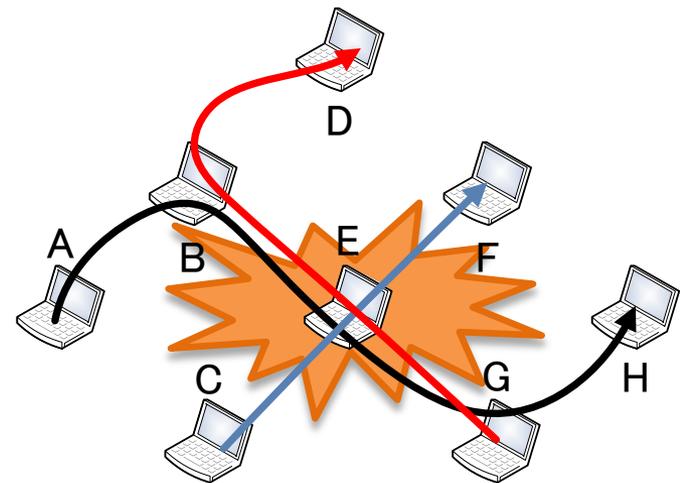
## ▶ アドホックルーティングプロトコル

- アドホックネットワークに特化したルーティングプロトコル
- 制御メッセージにより情報を共有し経路制御表 : RT (Routing Table) を生成



# 課題

- ▶ 負荷集中によるパケットロス多発
    - 中継ホップ数が最小となる経路（最短経路）を選択
    - 複数の最短経路が存在する場合の選択方法は未定義
- ➡ 複数の通信で経路として選択：トラフィック集中  
パケットロス多発によるスループット低下



# 課題

- ▶ 負荷集中によるパケットロス多発
  - 中継ホップ数が最小となる経路（最短経路）を選択
  - 複数の最短経路が存在する場合の選択方法は未定義
- ▶ 複数の通信で経路として選択：トラフィック集中  
パケットロス多発によるスループット低下

通信状態をもとにした動的な経路探索

## IDEA

- ▶ アドホックに限らず既存のルーティングプロトコル
  - 単一のRTを生成
  - IP網：TCPとUDPに対し同一の経路制御

TCPとUDPでRTを別々に生成し独立した経路制御

# PD-OLSR (Protocol Dependent – OLSR)

---

- ▶ OLSRを拡張
  - OLSR (Optimized Link State Routing)
    - 標準化されている代表的なプロトコル
    - 最短経路を選択
  - 制御メッセージの仕組み等の基本部分はそのままだ
- ▶ TCPとUDPで別々のRTを生成
  - 特性の違いに着目
- ▶ 通信状態を考慮した動的な経路生成
  - 各ノードが常に自身の通信状態を計測

# TCPとUDP（トラフィック）

---

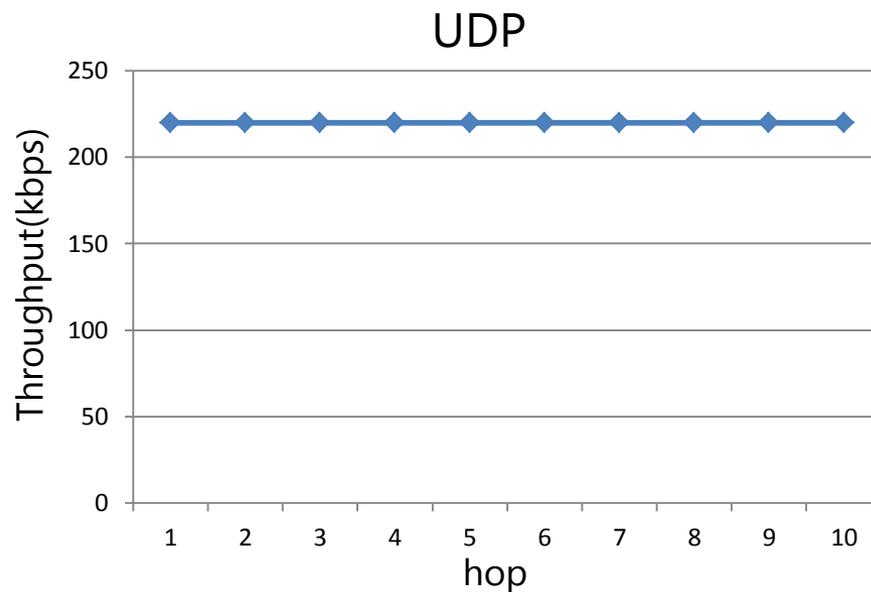
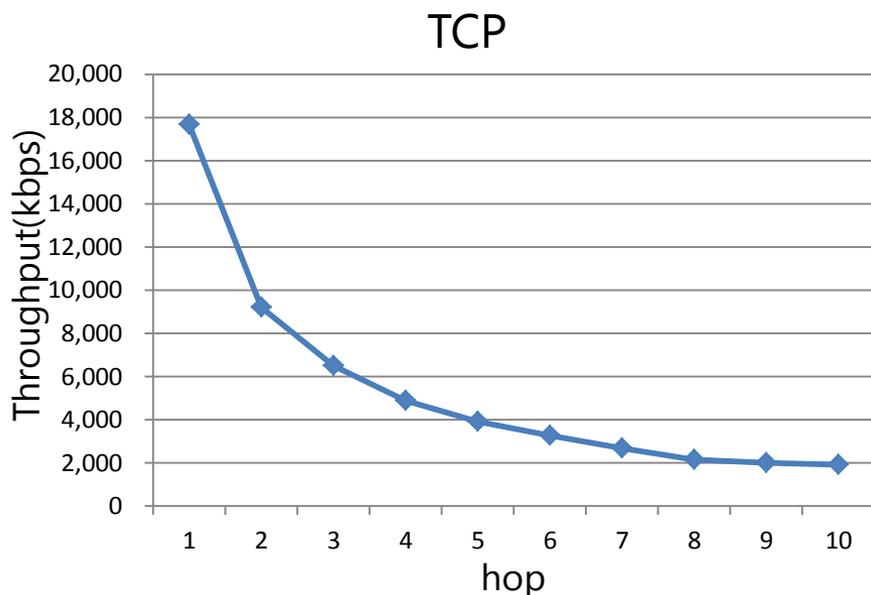
## ▶ TCP

- 輻輳制御によって順調にACKが返ってきた場合には、ウィンドウサイズを拡大し、帯域を使い切ろうとする

## ▶ UDP

- 端末側が意図した流量のトラフィックがそのままネットワークへ送出

# TCPとUDP（マルチホップスループット）



- ▶ 1~10ホップのスループット変化をシミュレーションで測定
- ▶ ホップ数増加時
  - TCP：ホップ数に反比例して減少
  - UDP：変化なし

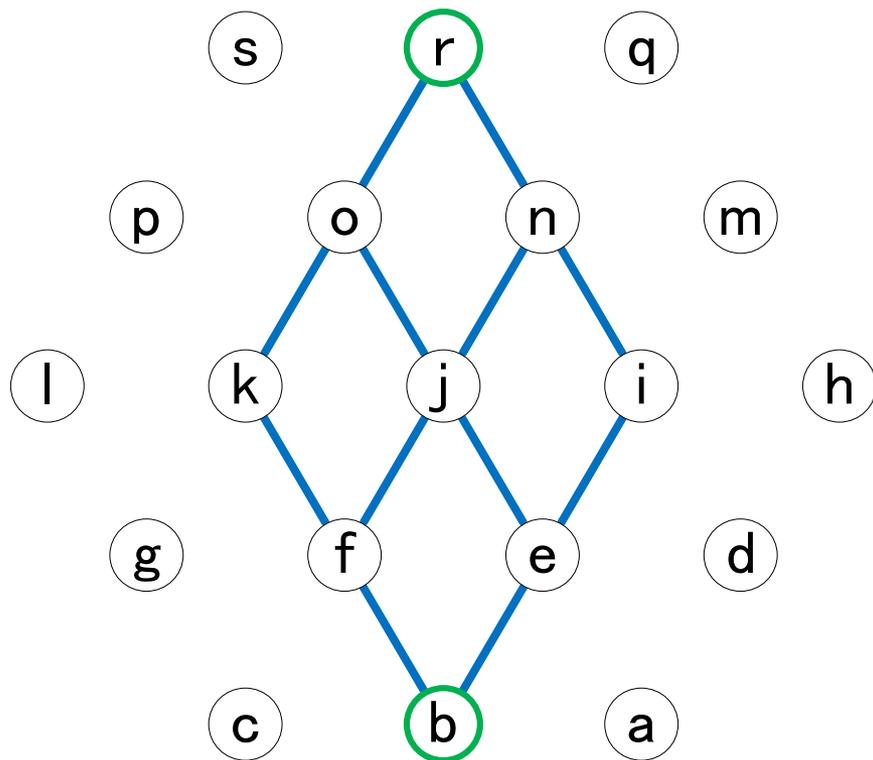
輻輳制御により  
各ホップで帯域を分け合う

UDPでは最短経路よりもホップ数を増やした経路  
（冗長経路）が許容できる

# 経路選択範囲

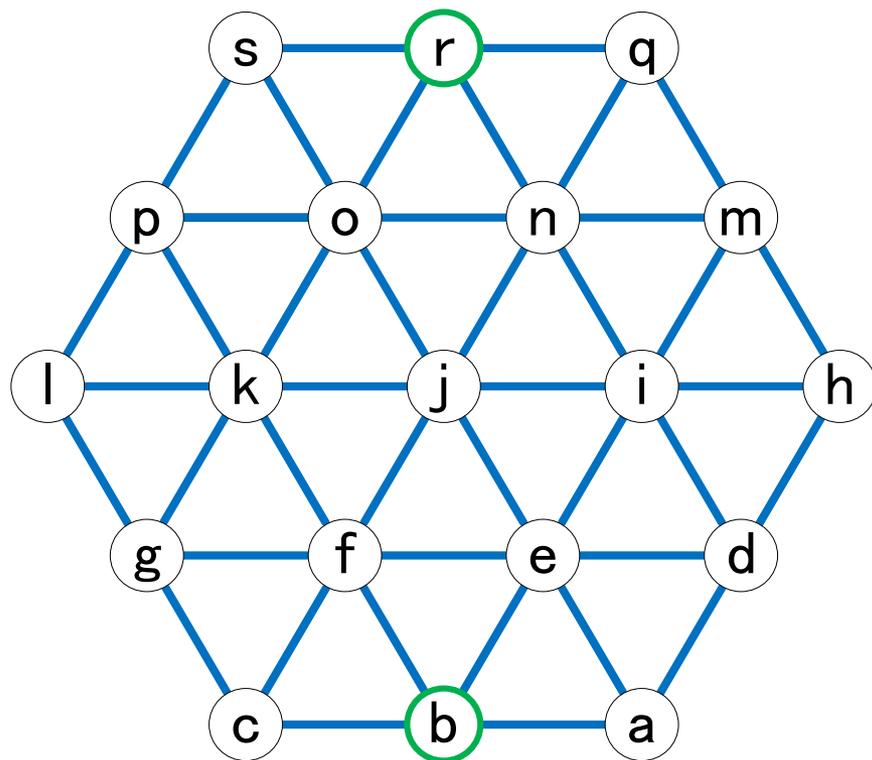
TCP

最短経路



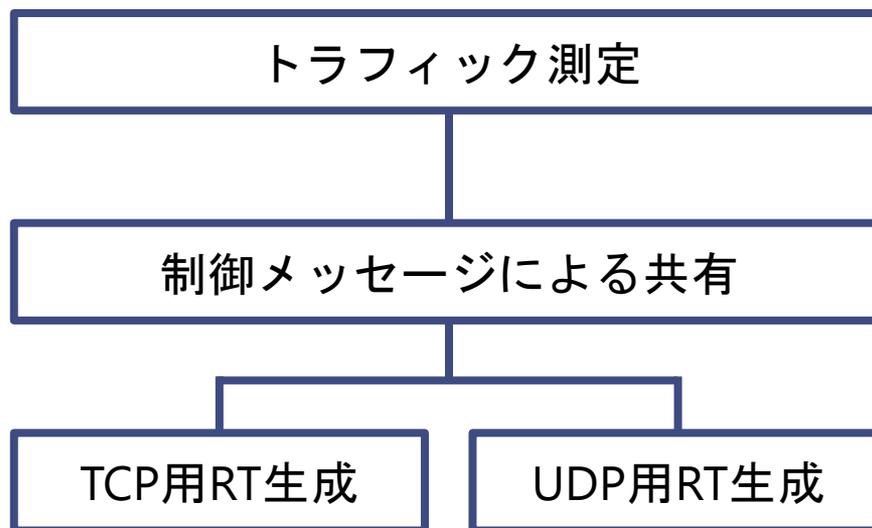
UDP

すべての経路

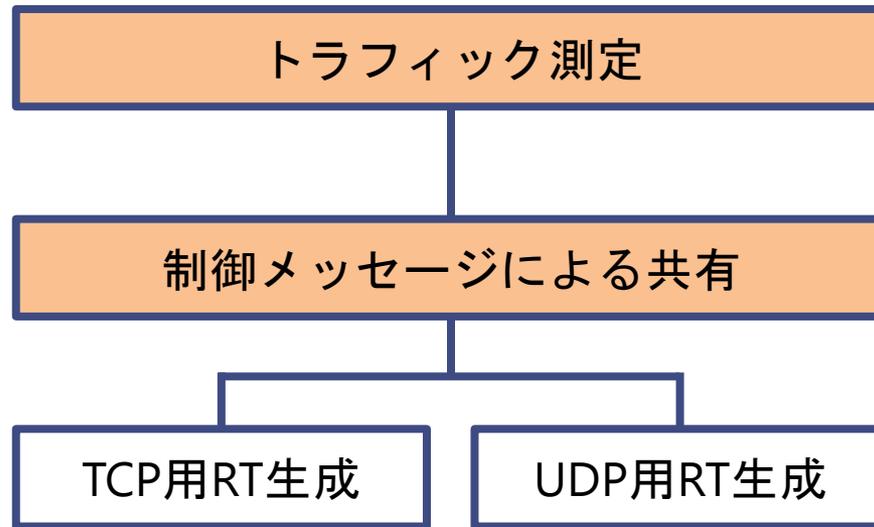


# PD-OLSRの処理フロー

---



- 1 トラフィック測定
  - 2 制御メッセージによる共有
- 



# トラフィック情報・メッセージによる共有

---

## ▶ トラフィック情報

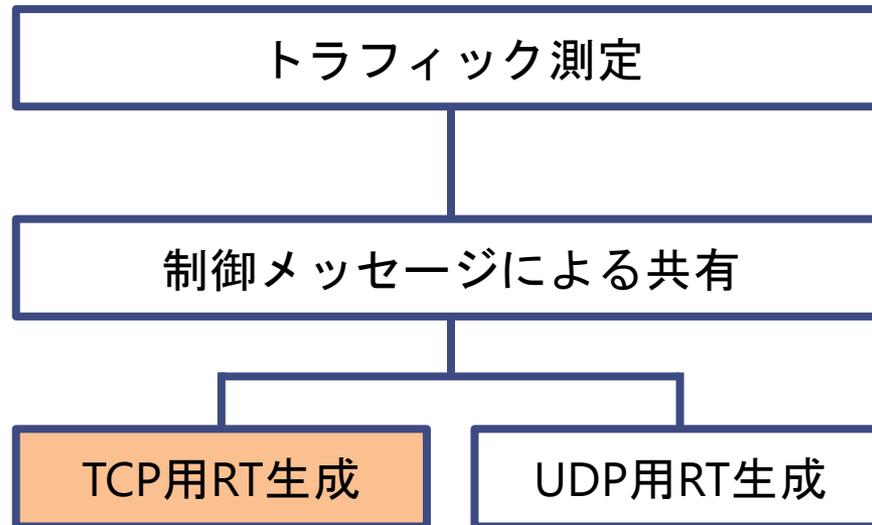
- 各ノードが自身のトラフィックを常に計測
- TCP : TCPセッション数
  - 検出するTCPセッション数 (本/sec)
- UDP : UDPトラフィック
  - 検出するUDPキャリアの総量 (bps)

## ▶ メッセージによる共有

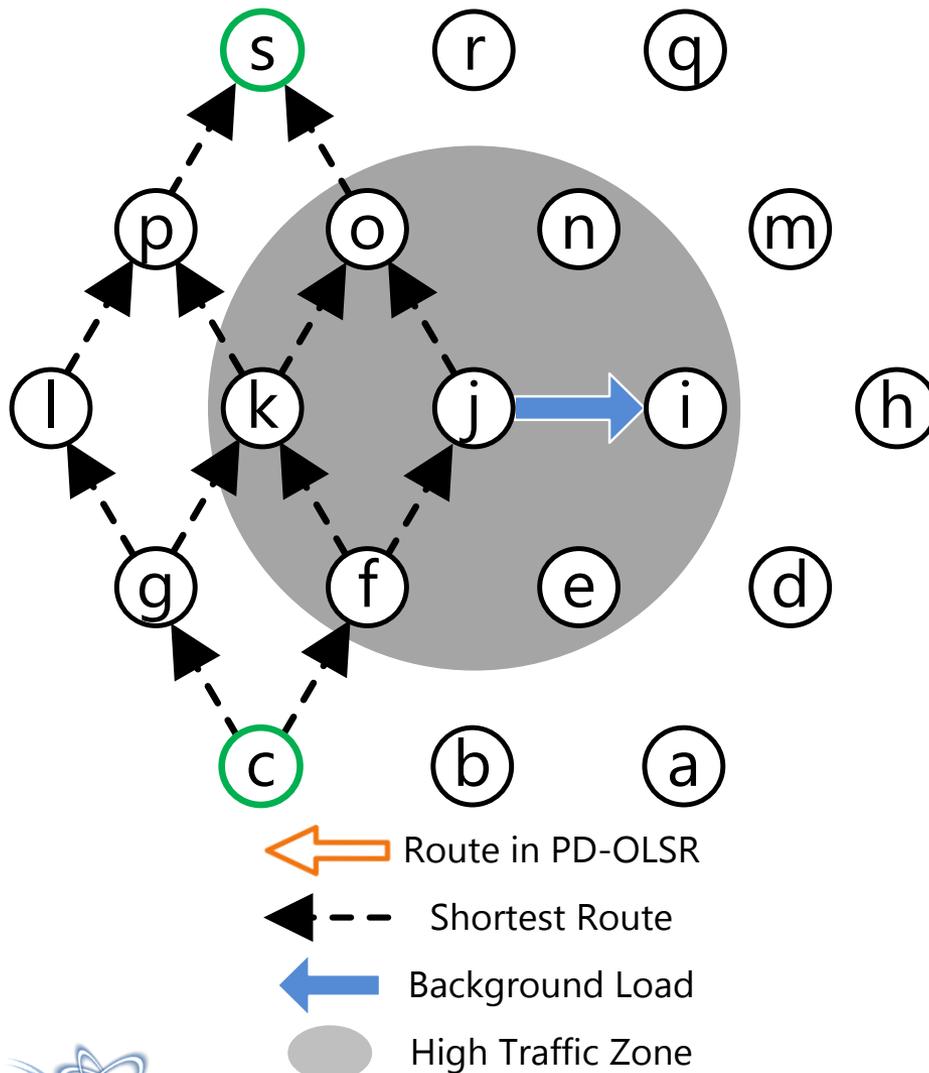
- 送信元トラフィック情報を制御メッセージに追加
- リンク情報を管理するリポジトリ集合にトラフィック情報を追加

## 3-(1) TCP用RT生成

---



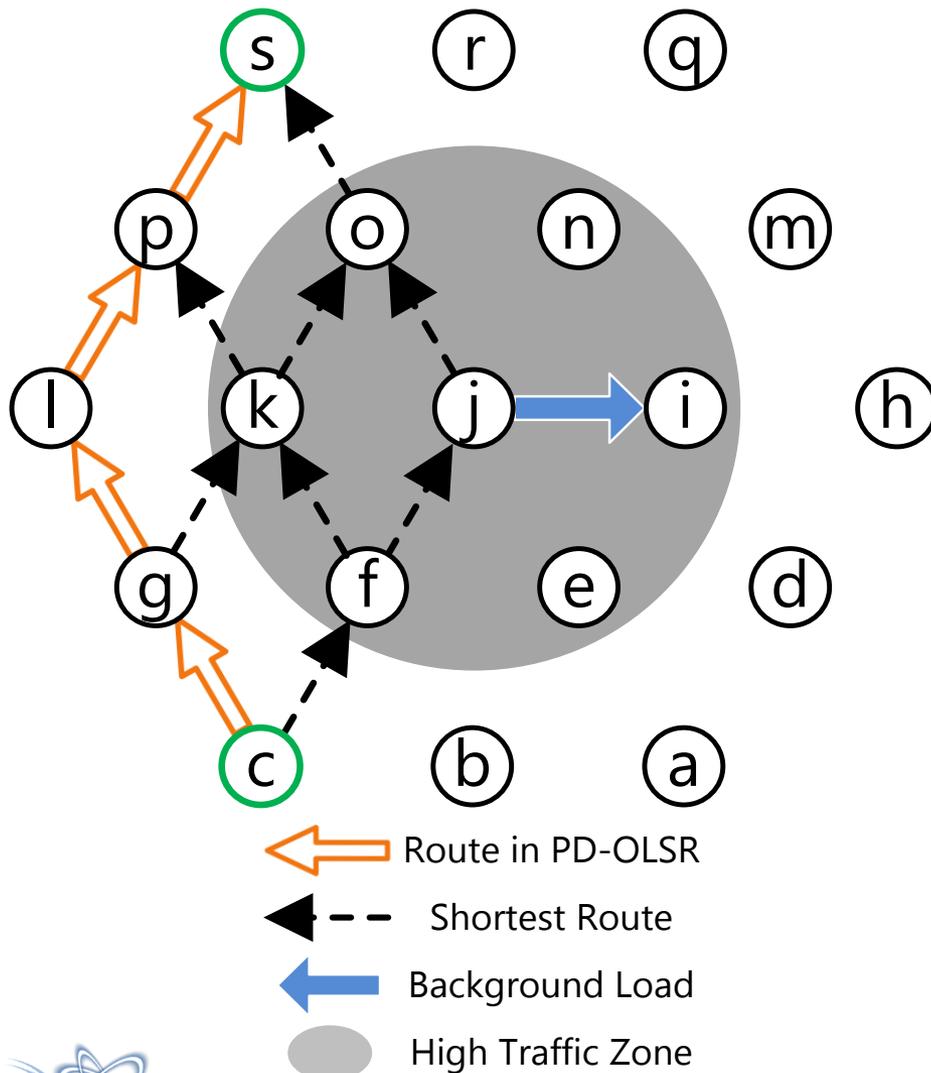
# TCP用RT生成 (1/2)



▶ c→sに複数の最短経路

OLSR : TCP/UDPともに  
複数の最短経路の中から  
どれかが選ばれる

# TCP用RT生成 (2/2)



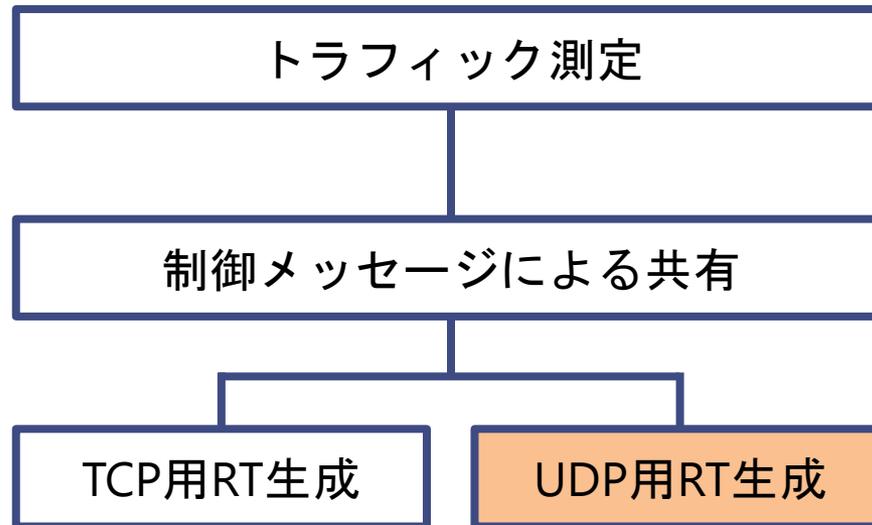
▶ c→sに複数の最短経路

OLSR : TCP/UDPともに  
複数の最短経路の中から  
どれかが選ばれる

PD-OLSR :  
経路中のトラフィックが最も少ない  
最短経路を選択

## 3-(2) UDP用RT生成

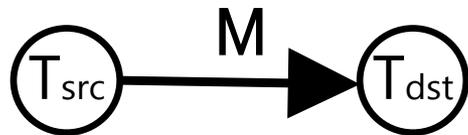
---



# UDP用RT生成 (1/2)

## ▶ ダイクストラ法<sup>†</sup>

- リンクメトリックをもとに最小コストの経路を選択



## ▶ ホップ数コスト $H$

- 1ホップ分のコスト
- 経路の過剰な迂回を防止
  - トラフィックの増加防止
- $\alpha$ を十分大きくすることで複数の最短経路の中から選択
  - 係数：大 → 迂回：小
  - 係数：小 → 迂回：大

## ▶ 経路探索結果をもとにRT生成

$n$ ホップ経路コスト

$$C = \sum_1^n M_i + nH = \sum_1^n (M_i + H)$$

リンクメトリック

$$M = T_{src}$$

$$M_{new} = T_{src} + H$$

$T_{src}, T_{dst}$  : リンク両端ノードのトラフィック

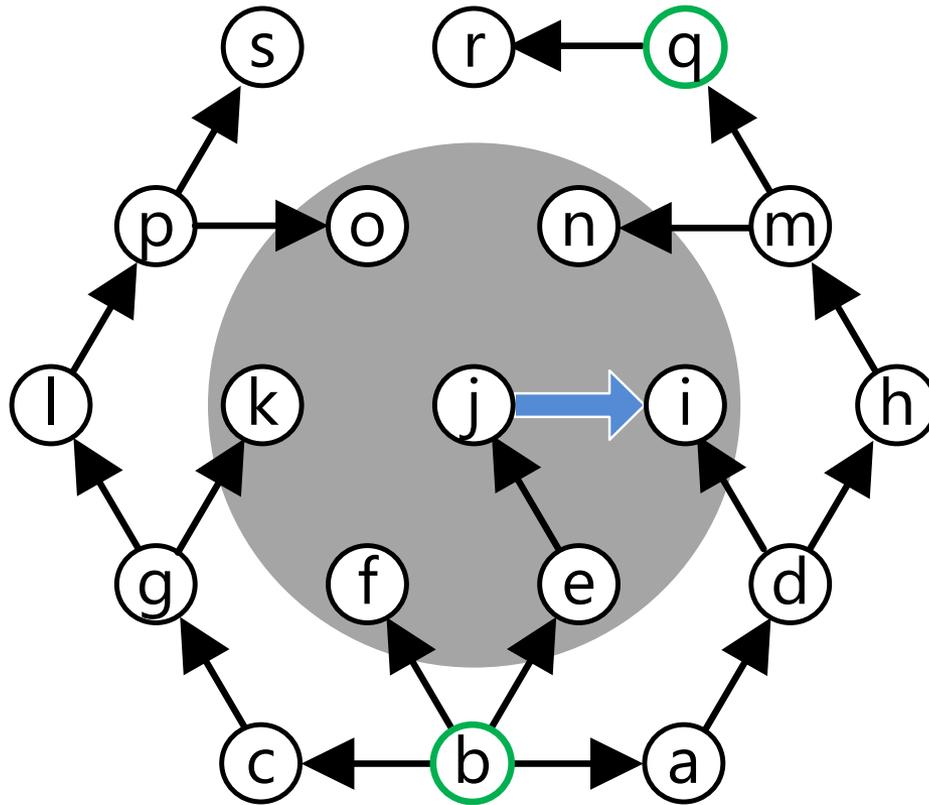
$$H = \alpha T_{max}$$

$T_{max}$  : ネットワーク全体のノードのトラフィックの最大値

$\alpha$  : 係数

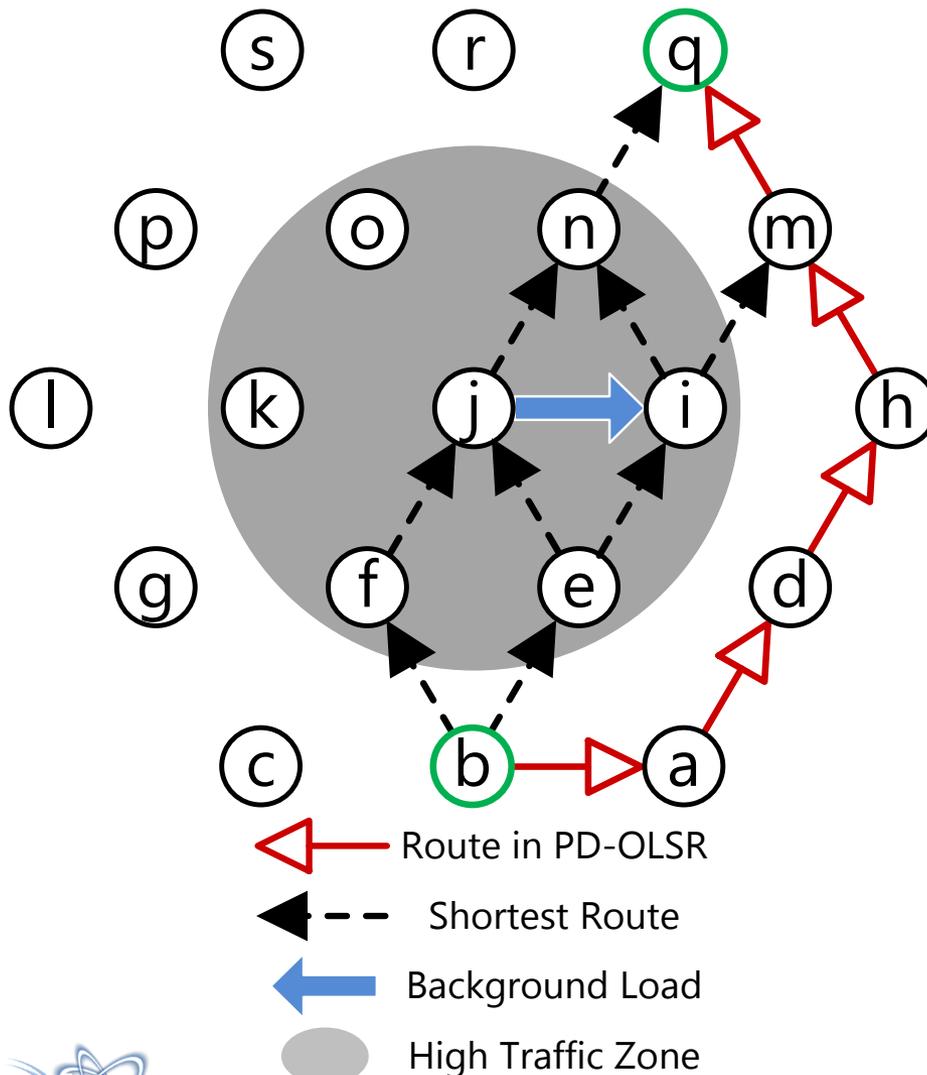
$\alpha$ によって迂回を調整

## UDP用RT生成 (2/2)



- ▶ すべての経路の中からコストの最も小さい経路が得られる
  - 最短経路に限定しない

# UDP用RT生成 (2/2)

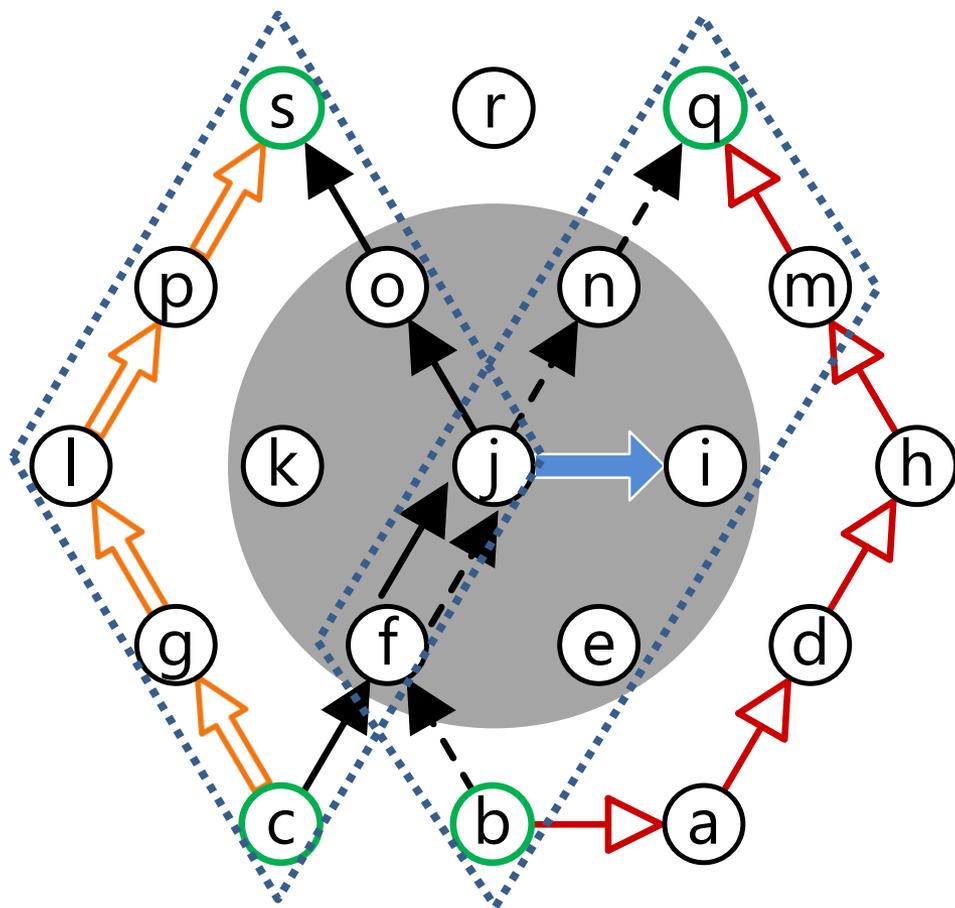


▶ b→qに複数の最短経路

OLSR :  
複数の最短経路の中から  
どれかが選ばれる

PD-OLSR : すべての経路の中から  
経路中のトラフィックが最も少ない  
経路を選択

# 生成経路



	TCP	UDP
OLSR	← Route A	← - - Route B
PD-OLSR	← Route C	← Route D

← Background Load  
 ● High Traffic Zone

□ Shortest Route Area

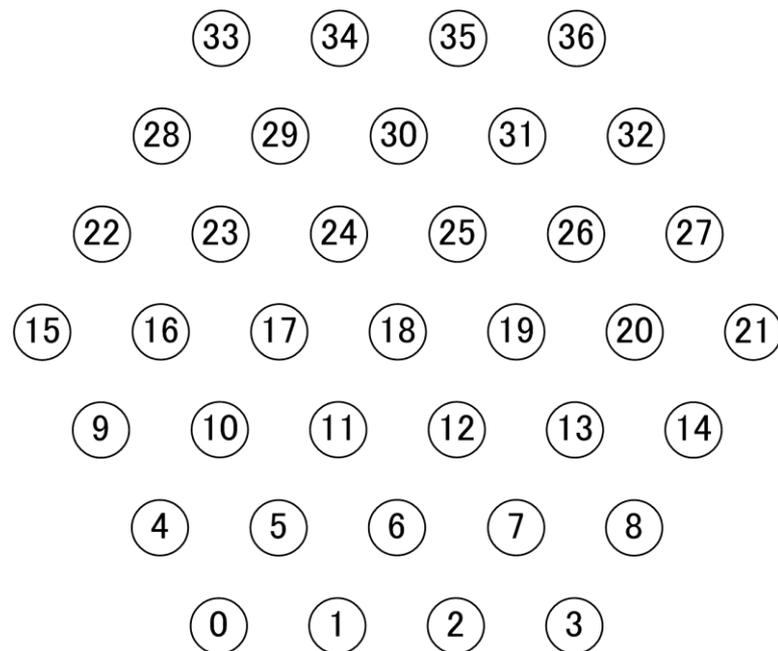
トラフィックの高い部分を迂回した経路を生成

---

# シミュレーション評価

# シミュレーション環境

- ▶ ネットワークシミュレータ : ns-2に実装
- ▶ 負荷ごとのOLSRとPD-OLSRのパケット到達率比較
  - TCPおよびUDP
  - 10~40セッション
- ▶ UDP
  - PD-OLSR迂回度係数 $\alpha$  : 0.5, 1~6
- ▶ 1分ごとに10セッション増加
- ▶ 計5分間



# ネットワーク設定

無線規格	IEEE802.11g
ノード数	37台
通信組	2台1組 (ランダム)

## TCP

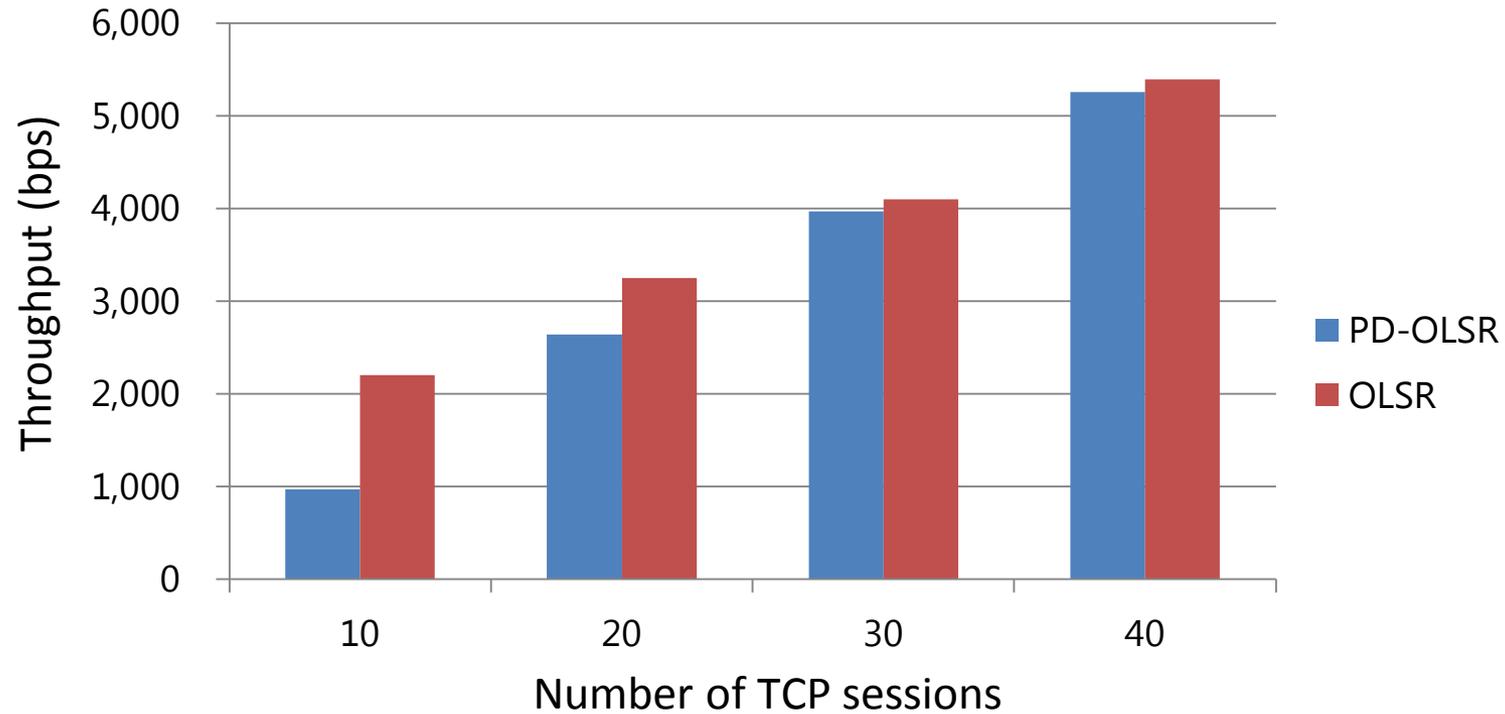
通信タイプ	FTP
パケットサイズ	1000Byte
ウィンドウサイズ	15~1023

## UDP

通信タイプ	CBR
パケットサイズ	200Byte
レート	64kbps

# TCP : スループット

- ▶ PD-OLSRのスループット低下
  - 低負荷時には50%以下



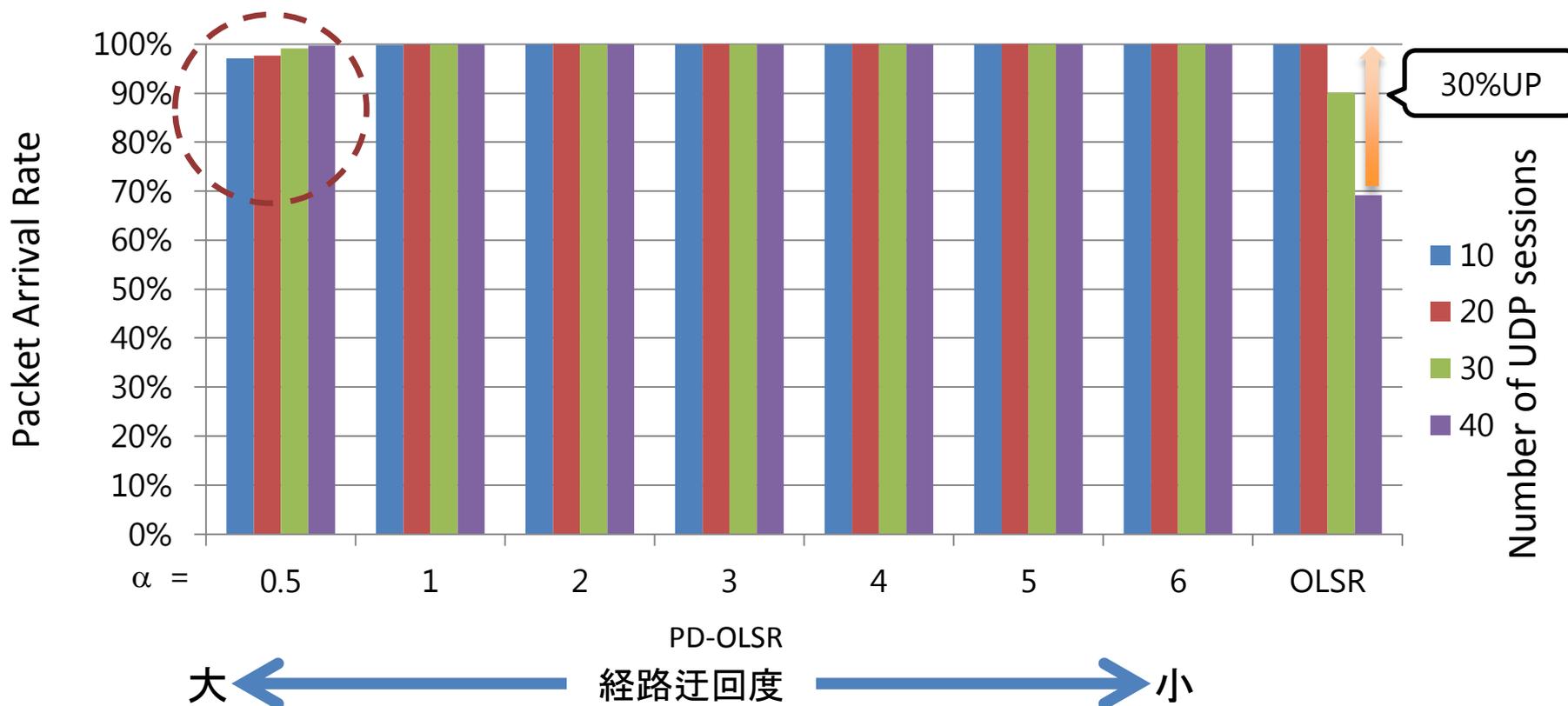
# TCP : ドロップパケット

- ▶ ドロップ数はPD-OLSRの方が小さい



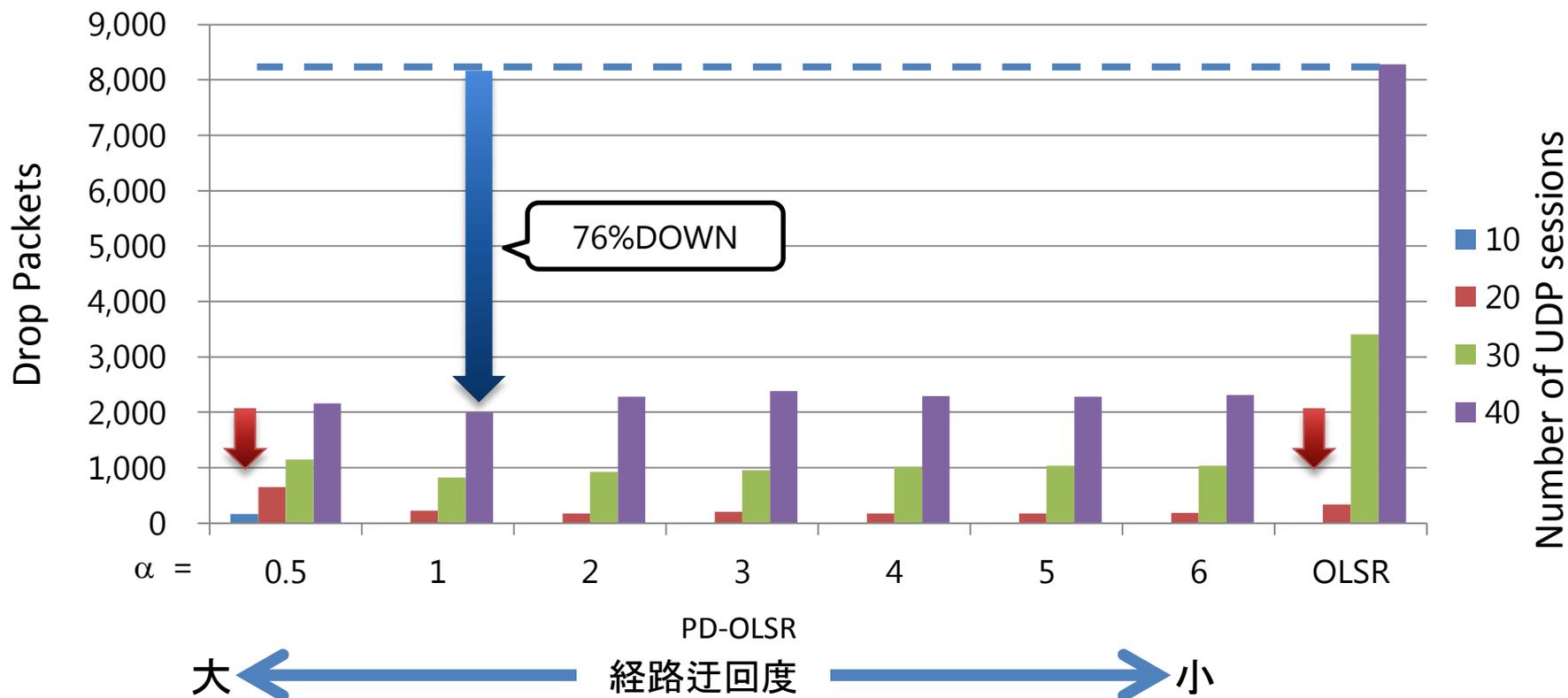
# UDP : パケット到達率

- ▶ UDP40本 : OLSRと比較して30%改善
- ▶ 過剰に迂回すると低負荷での到達率低下



# UDP : ドロップパケット

- ▶ PD-OLSR :  $\alpha=1$ のとき最大の改善率76%
- ▶ 過剰に迂回すると低負荷でのパケットロス増



# まとめ

- ▶ 通信状態を考慮したアドホックルーティングプロトコル PD-OLSRを提案
  - 通信状態をもとTCPとUDPの特性を活かした経路生成
- ▶ シミュレーション評価
  - TCP
    - 通信中の経路切替によるスループット低下
  - UDP
    - 高負荷時のパケット到達率：70%→ほぼ100%
    - 迂回度を調整しパケットロスを最大で約76%改善
- ▶ 今後
  - TCP用RT生成機能の改良
  - TCPとUDP混在環境での評価
  - 様々なメトリックの検討
    - バッテリー，隣接ノード数，移動速度

