通信状態を考慮した経路選択を可能にする アドホックネットワークプロトコルの提案

080425305　三鴨勇太
渡邊研究室

1. はじめに

モバイルアドホックネットワーク(MANET:Mobile Ad-hoc Network)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短となる経路(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の経路を選択するかは実装に任されている場合が多い．そのため，トラフィックが集中した中継ノードを経路として選択すると，パケットロスが多発し，結果的にスループットが低下してしまうという課題がある．本論文では MANET の中の代表的なプロトコルである OLSR(Optimized Link State Routing)[1] を拡張することにより，TCP，UDP の通信状態を考慮し，TCP，UDP それぞれの特性を活せる経路選択が可能な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．

2. OLSR

OLSR ではネットワーク内のノードは HELLO，TC メッセージといった制御メッセージを送受信することによって，RT(Routing Table)の生成に必要な情報をリポジトリに保存し，その情報を元に RT を生成する．

OLSR の RT は宛先ノード(Dest)，Dest への次ホップノード(Next)，Dest までのホップ数(hop)から構成され，各 Dest に対して 1 つの経路を保持する． 図 1 に示す破線矢印が OLSR によって生成される経路例である．OLSR では単純に，最初に見つかった最短経路が選択され，実装に依存したものとなる．図 1 での経路例ではノード b から m への最短経路例[b→d→g→k→m]を示している．このように経路選択時にトラフィック情報が考慮されていないため，トラフィックの高いノードが経路の中継ノードとして選択され，パケットロスが発生し，スループットが低下する可能性がある．

3. 提案方式

PD-OLSR では既存の OLSR の基本部分はそのまま用いる．制御メッセージに自身の通信状態を表す情報を載せ送受信する．受信したノードはその情報を元に UDP 通信用と TCP 通信用それぞれの専用 RT を生成する．それぞれの通信状態の指標は，各ノードが検出するネットワーク上のキャリアの総量(UDP トラフィック)と各ノードが検出する TCP セッション数の合計(TCP セッション数)である．図 2 に PD-OLSR の経路生成手順と生成される経路例を示す．各ノードは制御メッセージによって情報を共有し，各ノードのトラフィック情報からダイクストラ法での経路探索に用いる

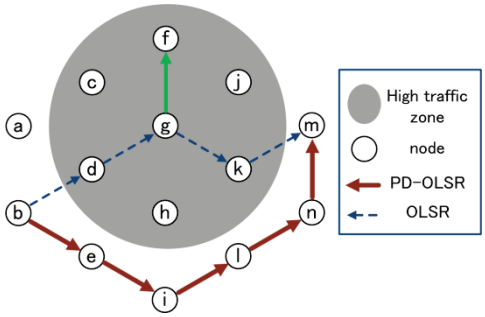


図 1 OLSR と PD-OLSR の経路例

各ノードの通信状態

node	UDP traffic
a	0
b	0
c	4
d	4
E	0
f	4
g	4
h	4
i	0
j	4
k	4
l	0
m	0
n	0

ノードbのRMT

Dest	Cost	hop	hop1	hop2	hop3	hop4	hop5	hop6
a	0	1	a					
c	4	2	a	c				
d	4	1	d					
e	0	1	e					
f	8	3	a	c	f			
g	8	2	d	g				
h	4	2	e	h				
i	0	2	e	i				
j	4	6	e	i	l	n	m	j
k	4	4	e	i	l	k		
l	0	3	e	i	l			
m	0	5	e	i	l	n	m	
n	0	4	e	i	l	n		

ノードbのRT

Dest	Next	hop
a	a	1
c	a	2
d	d	1
e	e	1
f	a	3
g	d	2
h	e	2
i	e	2
j	e	6
k	e	4
l	e	3
m	e	5
n	e	4

図 2 RMT を元にした RT 生成

双方向で異なるリンクメトリックへと変換する．双方向で異なるメトリックを用いることでメトリックの更新に必要な情報を最低限にすることができる．ダイクストラ法によって求められた経路は新たに定義した経路計算用テーブル(RMT:Route Metric Table)に保存する．RMT は Dest，経路の合計コスト(Cost)，hop，Dest までの経路で構成される．この方法により，ノード b から m への経路[b→e→i→l→n→m]が生成され，トラフィックの高いノードを回避し，ホップ数を増やした冗長経路を選択することができる．

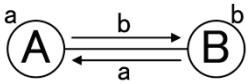


図 3 双方向で異なるメトリック

4. むすび

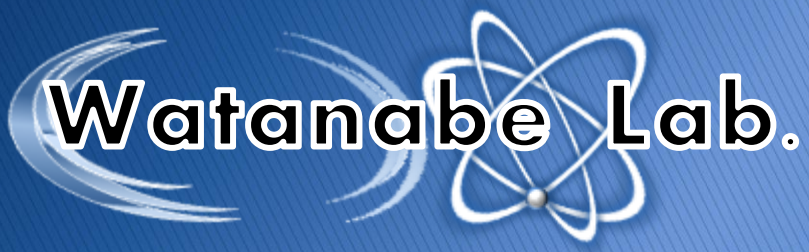
OLSR を拡張し，TCP/UDP それぞれに別々の RT を生成し，ノードのトラフィック状況を考慮した経路選択が可能となるプロトコル PD-OLSR を提案した．今後は検討結果に基づきシミュレーションを実施し，動作検証を行う．

参考文献

[1] P. Jacquet, Ed.， October 2003 RFC3626(OLSR).

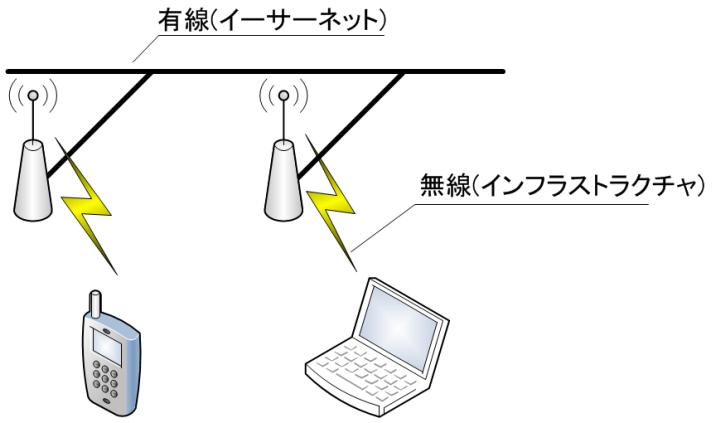
通信状態を考慮した経路選択を可能にするアドホックネットワークプロトコルの提案

名城大学 理工学部 情報工学科 渡邊研究室
080425305 三鴨勇太



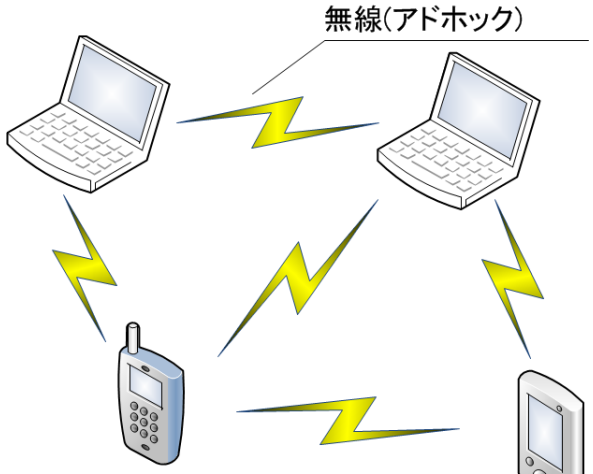
背景　–無線LANについて–

- インフラストラクチャモード
  - AP(Access Point)を中継点として各端末が通信を行う通信方式
  - 現在普及している形



インフラストラクチャーモード

- アドホックモード
  - 中継装置を介さず各端末が直接通信を行う通信方式



アドホックモード
（アドホックネットワーク）

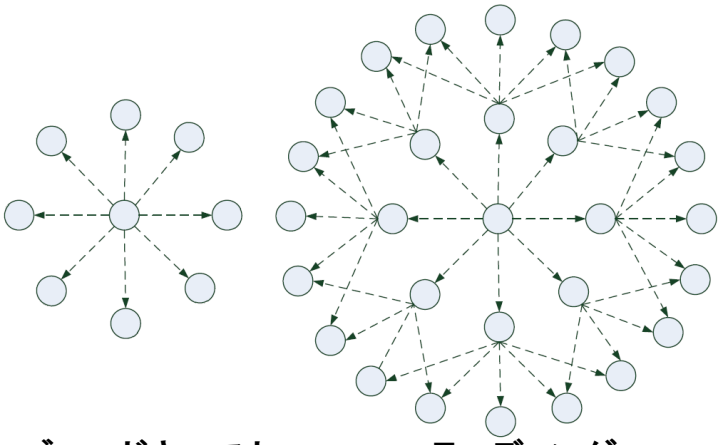
背景

- MANET(Mobile Ad-hoc Network)
  - ノード同士がアドホックモードで接続しネットワークを構成
    - ノードはルータとして機能，中継機能を持つ
    - 遠隔のノードとはマルチホップ通信
  - 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
    - 周辺ノードとやりとりしRT(Routing Table)を生成
- 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

OLSRの概要
(Optimized Link State Routing)

- 通信要求発生前からRTを生成しておくProactive型のプロトコル
- 各ノードは定期的に制御メッセージを送受信し，周辺ノードの情報を収集することによってRTを生成
- 制御メッセージ
  - HELLOメッセージ
    - 各ノードが持つ情報を通知
    - 2秒毎に隣接ノードへブロードキャスト
  - TCメッセージ
    - ネットワークトポロジーを通知
    - 5秒毎にネットワーク全体にフラッディング

制御メッセージにトラフィックの情報は含まれていない

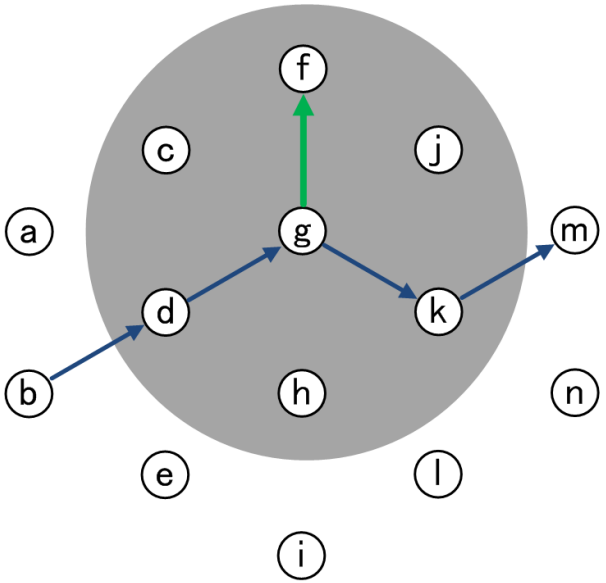


ブロードキャスト　　フラッディング

OLSRのRT

Dest：宛先ノード
Next：次ホップノード
hop：宛先ノードまでのホップ数

- 制御メッセージのやりとりによってRTが生成されていく



OLSRで生成される経路例

ノードbのRT

Dest	Next	hop
a	a	1
g	d	2
h	d	2
i	e	2
j	d	3

ノードbのRT

Dest	Next	hop
a	a	1
g	d	2
h	d	2
i	e	2
j	d	3
		3
		3
		4
	d	4

ノード数　：14台
電波到達範囲：1hop先まで
既に行われている通信：g→f

ホップ数を基準に経路が選択されるため，最短経路が複数存在する場合においても，高トラフィックのノードを経由する経路が生成される可能性がある

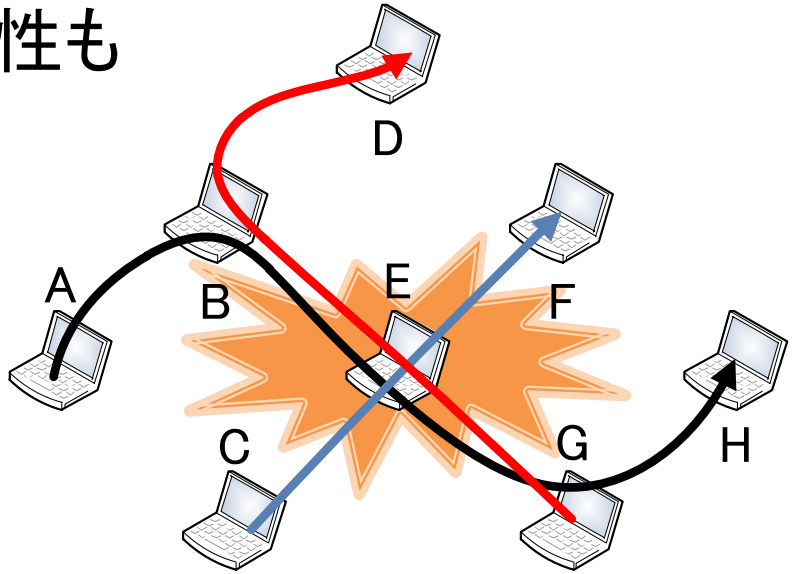
課題

- 多くのアドホックルーティングプロトコルは，経路の中継ホップ数が最小となる経路を選択
- 最短ホップ数の複数の経路の中からどの経路が選ばれるかは実装に任されている
- 複数の通信で同一のノードを経由する経路が選択され，トラフィックが集中する可能性も

パケットロスが多発

↓

スループットが低下



提案方式:PD-OLSR

提案方式：PD-OLSR（Protocol Dependent-OLSR）

- OLSRを改造
- TCP用とUDP用別々にRTを生成
- トラフィックの高いノードを避けた経路選択可能
- 経路選択指標
  - UDP:UDP Traffic
    - 自身が検出するネットワーク上のキャリアの総量
  - TCP:TCP Session
    - キャリアとして検出するTCPセッション数と実際に自身が処理しているTCPセッション数の合計

提案方式：PD-OLSR (Protocol Dependent OLSR)

- UDP通信
  - 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通信
  - 輻輳制御によって順調にACKが返ってきた場合はウィンドウサイズを拡大し帯域を使いきろうとする

UDP通信とTCP通信が混在するネットワークのトラフィックは，送出されるUDPパケットの合計からUDPが占めるトラフィック量が定まり，残りの余裕のある帯域分を複数のTCPセッションが分け合う

RTを分けることで性質を経路生成に反映

提案方式：PD-OLSR（Protocol Dependent-OLSR）

- OLSRを改造
- TCP用とUDP用別々にRTを生成
- トラフィックの高いノードを避けた経路選択可能
- 経路選択指標
  - UDP:UDP Traffic
    - 自身が検出するネットワーク上のキャリアの総量
  - TCP：TCP Session
    - キャリアとして検出するTCPセッション数と実際に自身が処理しているTCPセッション数の合計

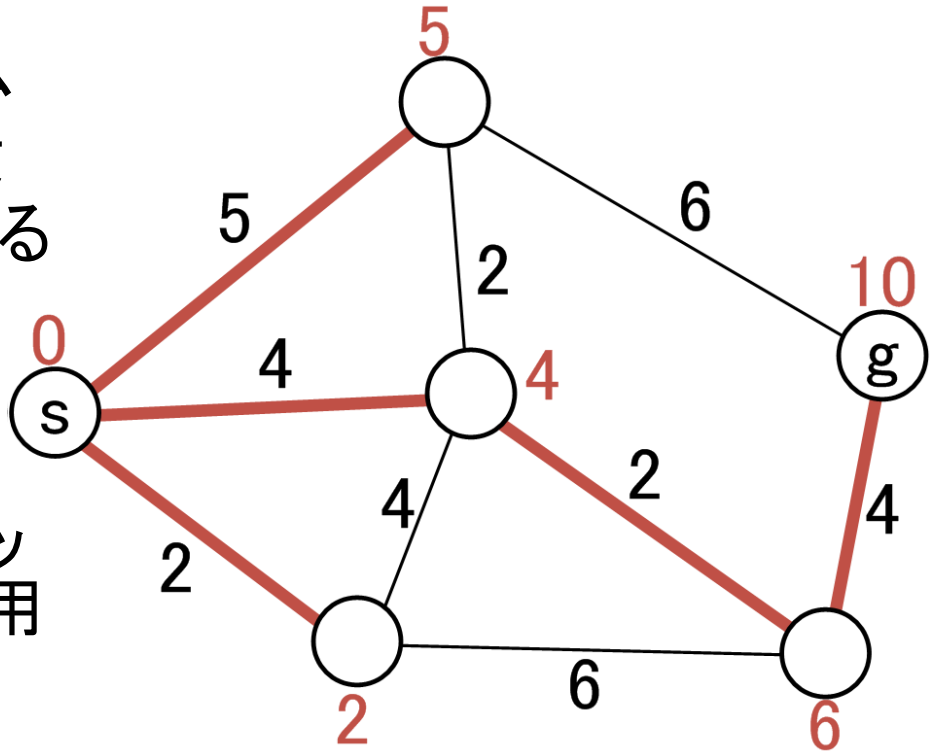
提案方式：PD-OLSR (Protocol Dependent-OLSR)

- トラフィックは各ノードが計算，更新する
  - トラフィック情報をHELLOメッセージ，TCメッセージに追加しネットワーク全体に通知
- ダイクストラ法を用いた経路探索
- ノードのトラフィックからノード間のリンクメトリックに変換
- RMT(Route Metric Table)を新たに定義し，探索結果を保存
  - RMTからRTを生成

今回はUDPについて説明

ダイクストラ法(Dijkstra's Algorithm)

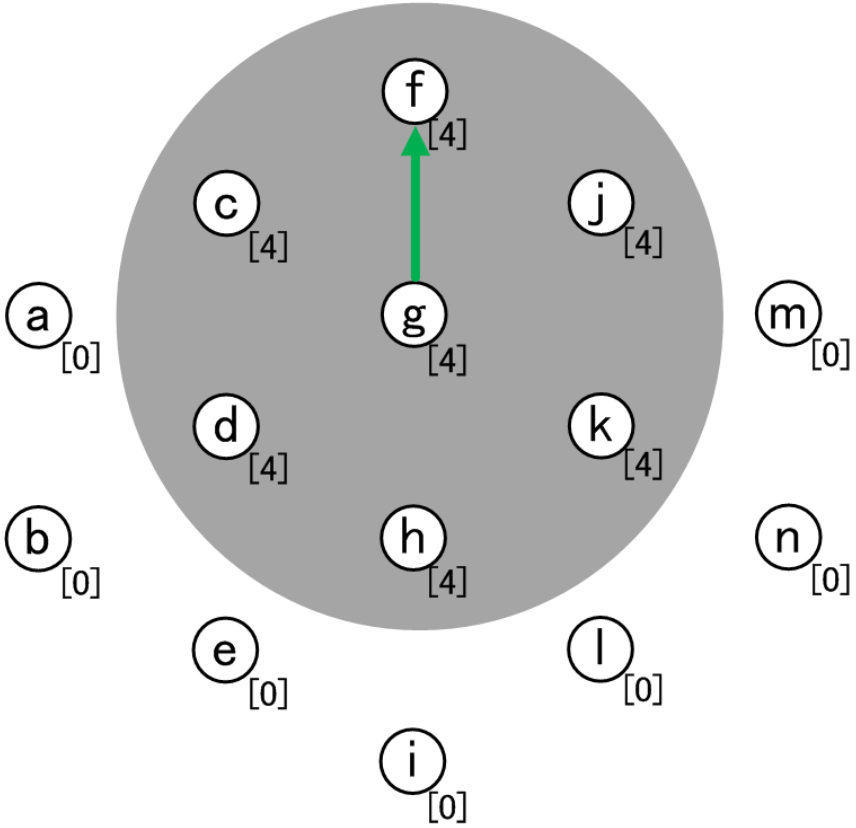
- 最短経路問題を効率的に解くグラフ理論におけるアルゴリズム
- スタートノードからゴールノードまでの最短経路とその距離を求めることができる
- PD-OLSRではノードごとのトラフィックを測定するため，トラフィックをリンクメトリックへ変換し，適用



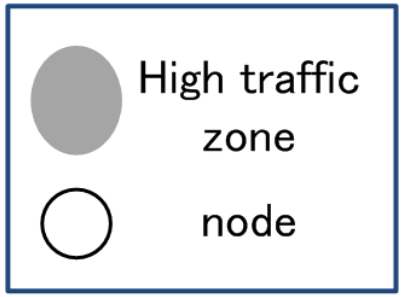
最短経路に限らずホップ数を増やした経路を選択可能に

数字(黒字)：各地点間の距離
数字(赤字)：その地点までの合計距離

PD-OLSR 動作



- 各ノードがトラフィックを計算
- HELLOメッセージ，TCメッセージにトラフィック情報を追加し，ネットワーク全体に通知
- 制御メッセージの仕組みはそのまま用いる
- 共有した情報を元に経路探索



[ ]内の数字は各ノードのトラフィック
g→fの通信のトラフィック量を4としている

PD-OLSR 動作

ノードbのRMT

Dest	Cost	hop	hop1	hop2	hop3	hop4	hop5	hop6
a	0	1	a					
c	4	2	a	c				
d	4	1	d					
e	0	1	e					
f	8	3	a	c	f			
g	8	2	d	g				
h	4	2	e	h				
i	0	2	e	i				
j	4	6	e	i				
k	4	4	e	i				
l	0	3	e	i				
m	0	5	e	i				
n	0	4	e	i	l	n		

ノードbのRT

Dest	Next	hop
i	e	2
j	e	6
k	e	4
l	e	3
m	e	5
n	e	4

RMT：Route Metric Table

新たに定義し，ダイクストラ法によって経路探索を行った結果を保存

Dest：宛先

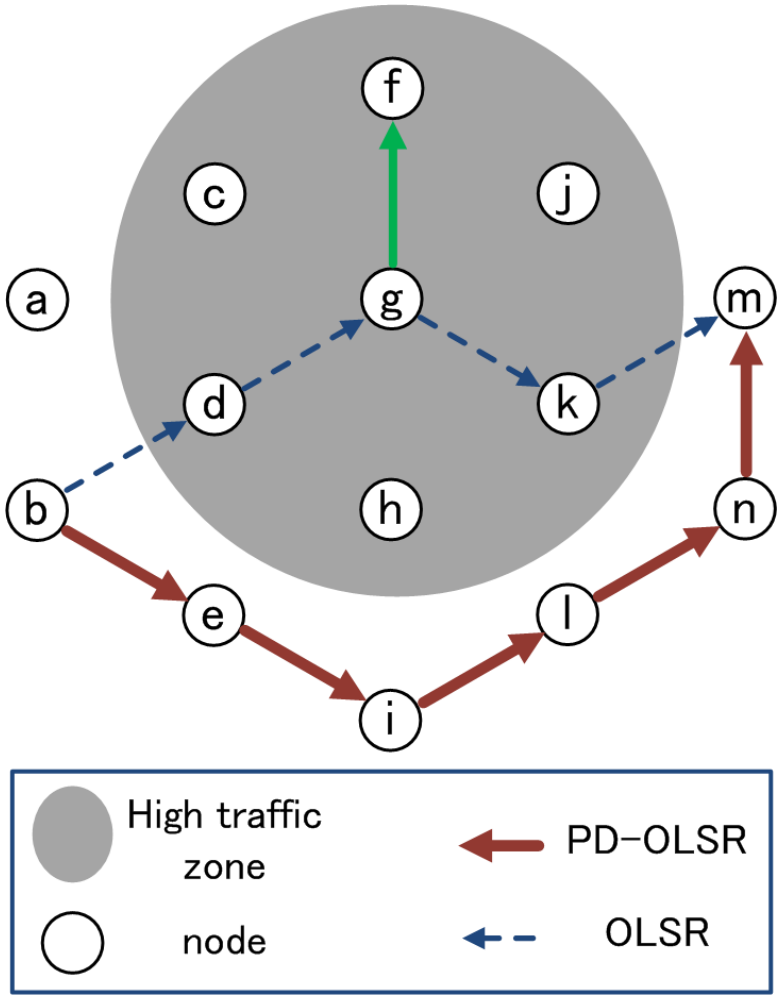
Cost：コスト(＝経路の合計メトリック)

hop：ホップ数

hop1,hop2・・・：中継ノード

Dest→Dest
hop→hop
hop1→Next
としてRTに保存

経路比較



- トラフィックの高いノードを避けた経路を生成可能
- 経路コストがより小さければホップ数を増やした経路を選択可能
  - 例での各経路のホップ数
    - OLSR：4hop
    - PD-OLSR：5hop

むすび

- 本発表
  - OLSRを拡張することによって，UDP用とTCP用それぞれのRTを別々に生成し，経路上の通信状態を考慮して経路生成ができるプロトコルPD-OLSRを提案した
  - ダイクストラ法を取り入れることで冗長経路の選択が可能となる
- 今後
  - 提案方式をシミュレータに実装し，RTをUDPとTCPで分けたことによる効果を検証する
  - 冗長経路についてホップ数増加をどの程度許すのかについて検討

補足資料

PD-OLSR

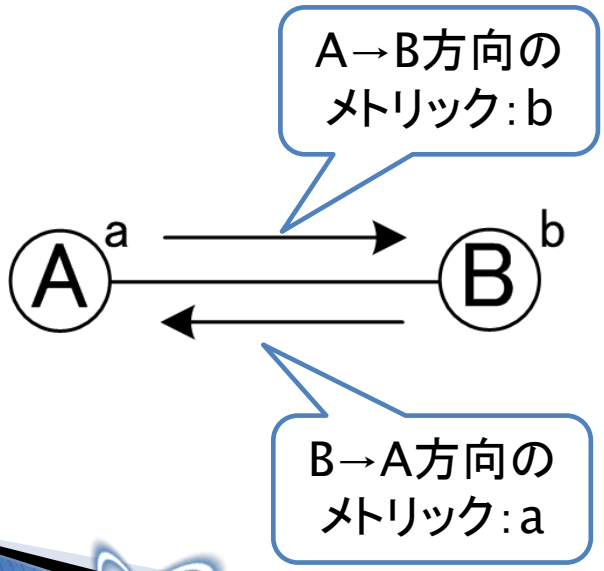
- 経路選択指標
  - UDP:UDP Traffic
    - 自身が検出するネットワーク上のキャリアの総量
  - TCP:TCP Session
    - キャリアとして検出するTCPセッション数と実際に自身が処理しているTCPセッション数の合計
- UDP通信用の経路
  - 単純にUDP Trafficが最小の経路を選ぶ
- TCP通信用の経路
  - TCP の特性を活かして TCP スループットの公平性がとれる経路選ぶため，TCP Sessionが最小の経路を選ぶ

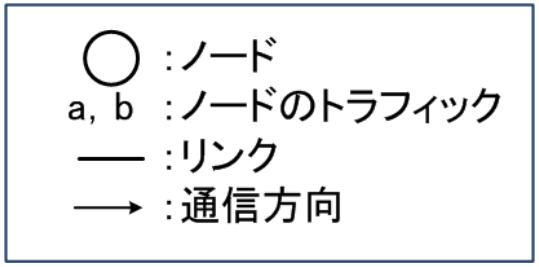
冗長経路についての検討内容

- ホップ数についてどのように上限を設けるのか
  - 固定値での上限
  - 経路のホップ数の一定割合
  - ネットワークの端末数

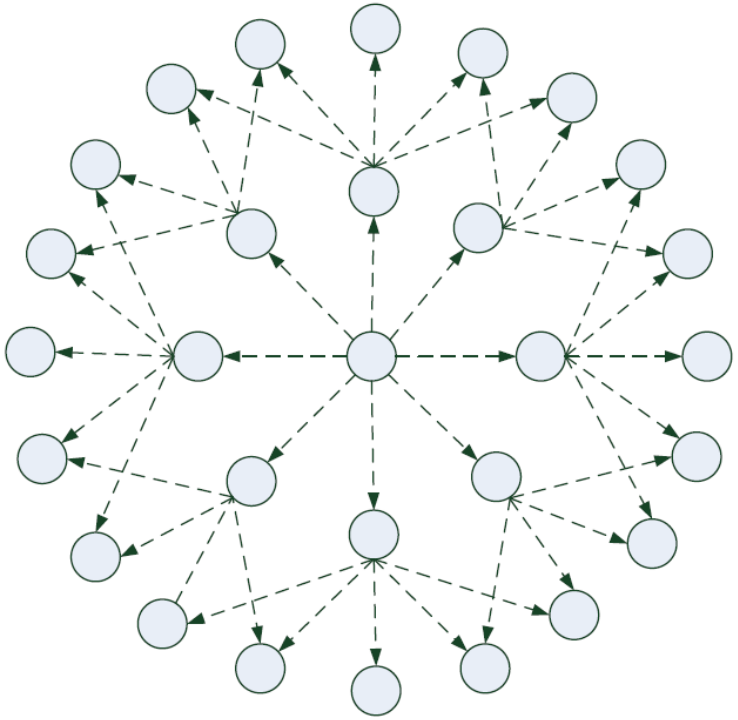
双方向で異なるリンクメトリック

- トラフィックの情報からダイクストラ法で用いるリンクメトリックへ変換
  - 双方向で異なるメトリックに変換
  - 双方向で同じメトリック(a+bなど)と比較して更新に必要な情報を少なくすることができる

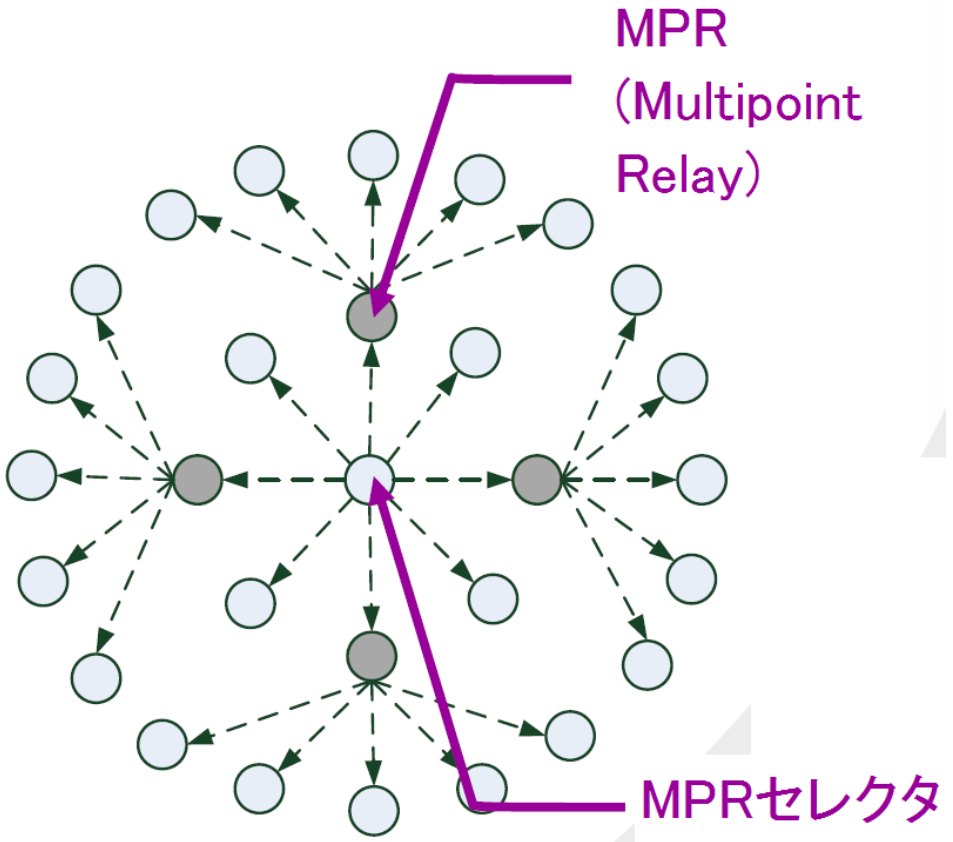




OLSRのフラッディング



通常のフラッディング



OLSRのフラッディング

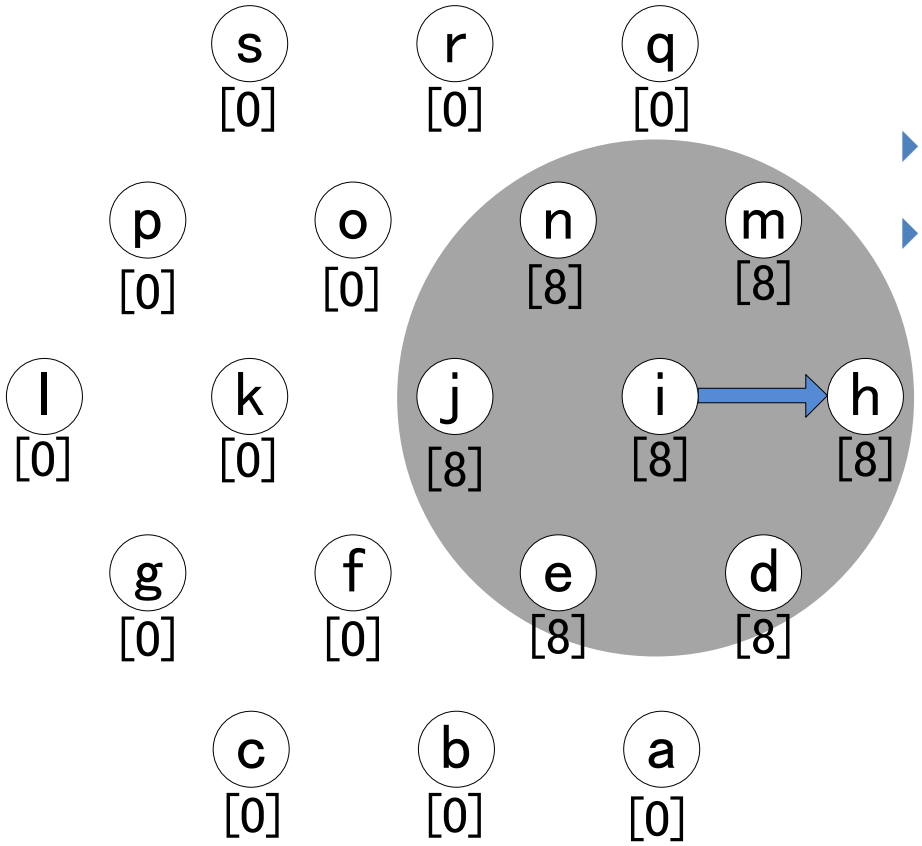
アドホックルーティングプロトコル

- プロアクティブ型
  - 通信要求が発生する前からRTを生成
  - ノードの移動が少なく，通信頻度の高いネットワークに適する
  - 例：OLSR(Optimized Link State Routing)

- リアクティブ型
  - 通信要求が発生した際にネットワーク内で経路を探索する
  - ノードの移動が頻繁なネットワークに適する
  - 例：AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)

トラフィックを考慮した
複数の最短経路からの経路選択

PD-OLSR 動作 1



- 各ノードがトラフィックを計算
- HELLOメッセージ，TCメッセージにトラフィック情報を追加し，ネットワーク全体に通知

[ ]内の数字は各ノードのトラフィック

PD-OLSR 動作 2

- RMT(Route Metric Table)を新たに定義
  - Dest, Next(Next node), hop数, Trafficから構成される
  - 1つのDestに対して全てのNextが保存される
- RMTからRTを生成

高トラフィックのノードを回避する経路の次ホップがRTに保存される

同一Destで複数の次ホップがある場合Trafficが最小となる次ホップを選択する

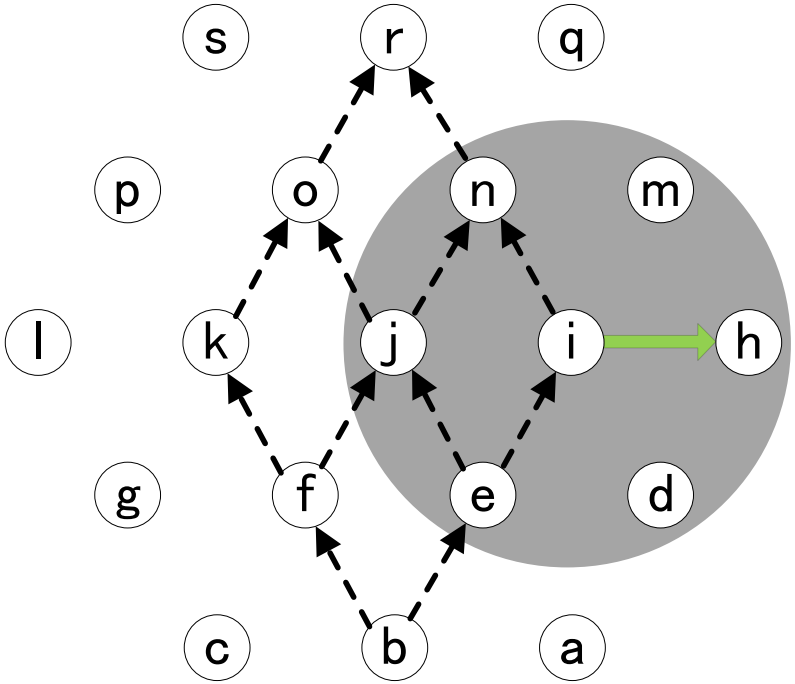
Dest	Next	hop	Traffic
a	a	1	0
c	c	1	0
d	a	2	0
d	e	2	8
e	e	1	8
f	f	1	0
省略			
q	e	4	8
q	f	4	0
r	e	4	8
r	f	4	0
s	e	4	8
s	f	4	0

ノードbのRMT

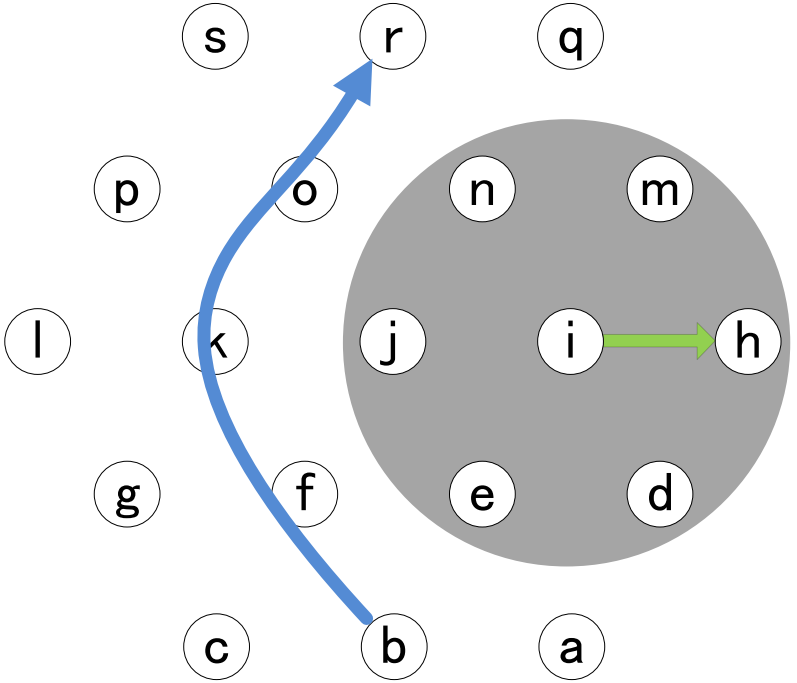
Dest	Next	hop
a	a	1
c	c	1
d	a	2
e	e	1
f	f	1
g	c	2
h	a	3
i	e	2
j	f	2
k	c	2
l	e	3
m	f	3
n	f	3
o	f	3
p	f	3
q	f	4
r	f	4
s	f	4

ノードbのRT

生成される経路の比較



OLSRによって生成される経路



PD-OLSRによって生成される経路

- トラフィックの高いノードを避けたルーティングを行うことができる

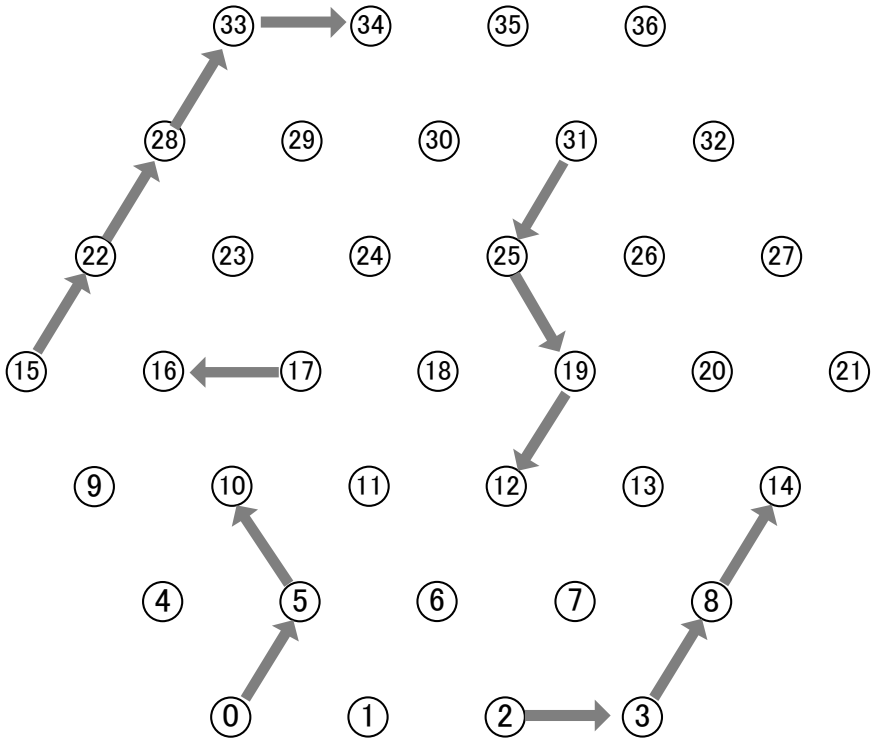
評価

- UDP用RT生成機能をネットワークシミュレータns-2に実装
- UDP通信のシミュレーション評価を行った

シミュレーション評価

- 環境

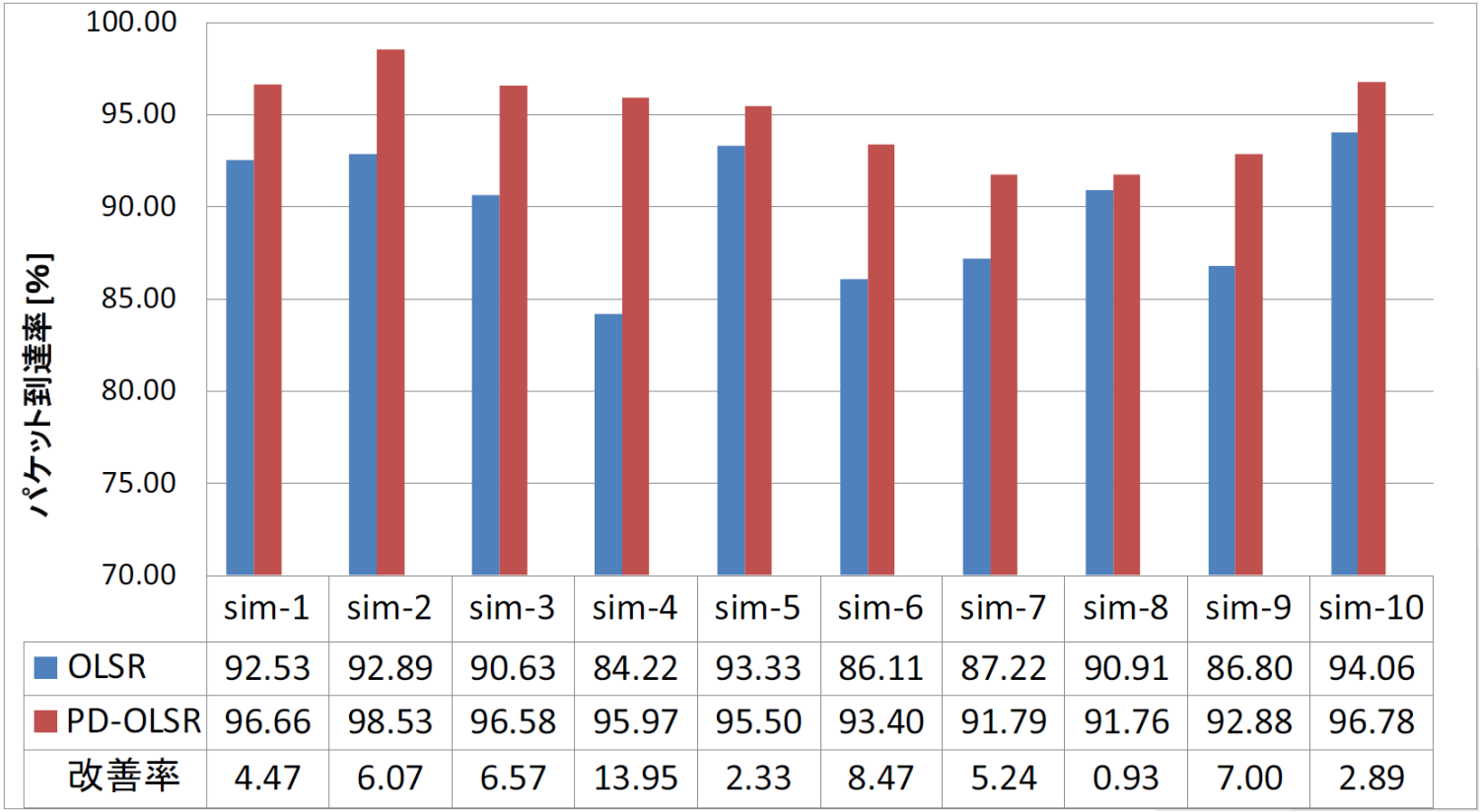
アドホック ネットワーク	ノード数 電波到達範囲 ノード間距離 ルーティングプロトコル 無線規格	37 [台] 100 [m] (1hop) 95 [m] OLSR, PD-OLSR 802.11g
VoIPを想定した UDP通信	台数 選び方 通信タイプ トランスポートプロトコル パケットサイズ データ転送量	2台1ペア ランダム CBR UDP 200 [Byte] 64 [Kbps]



シミュレーション開始30秒後からUDPセッションを10秒間隔毎に増加させていく
合計530秒間のシミュレーションをOLSRを使った場合とPD-OLSRを使った場合で10回ずつ行い，ネットワーク全体のパケット到達率を比較

シミュレーション評価

- 結果



	sim-1	sim-2	sim-3	sim-4	sim-5	sim-6	sim-7	sim-8	sim-9	sim-10
OLSR	92.53	92.89	90.63	84.22	93.33	86.11	87.22	90.91	86.80	94.06
PD-OLSR	96.66	98.53	96.58	95.97	95.50	93.40	91.79	91.76	92.88	96.78
改善率	4.47	6.07	6.57	13.95	2.33	8.47	5.24	0.93	7.00	2.89

・どのシミュレーションでもPD-OLSRによるパケット到達率の改善が見られた
・ PD-OLSRの方がOLSRに比べ，ネットワーク全体のパケット到達が平均で約6%改善された