

# OLSRにおける迂回路構築法に関する一考察

湯川 陽平<sup>1</sup> 吉廣 卓哉<sup>1,a)</sup>

**概要:** MANET においては電波干渉等により無線リンクが容易に不安定になるため、無線リンクの品質が大きく変動する前提で高信頼な通信を実現することは重要課題の一つである。アプローチの一つとして、マルチパスルーティングが挙げられる。マルチパスルーティングは、最短路だけでなく複数の経路を用いてパケットを転送することにより、通信の信頼性を向上する。例えば、送信元から宛先までの複数経路を同時に用いて負荷分散を行う、或いは、次ホップリンクが使用できない時に、予め計算された予備経路を用いて即時に通信を継続することが可能である。これまでに数多くのマルチパスルーティング法が提案されているが、そのほとんどはリアクティブ型経路制御法に基づいている。その一方で、リンク状態型の経路制御法では、ネットワーク全体のトポロジ情報が利用できるためより柔軟な経路制御が可能であると考えられるが、リンク状態型の経路制御法に基づいたマルチパスルーティングは少ない。本稿では、リンク状態型の経路制御法 OLSR においてマルチパスルーティングを実現する方法について議論する。また、有線ネットワークにおいて活発に研究されている耐故障化技術である IP Fast Reroute 法の OLSR への適用を試みたので、その結果を報告する。

**キーワード:** MANET, プロアクティブ型ルーティング, リンク状態型ルーティング, マルチパスルーティング, 耐故障性

YOHEI YUKAWA<sup>1</sup> TAKUYA YOSHIHIRO<sup>1,a)</sup>

**Abstract:** Due to the nature of wireless communication, it is important in MANET to realize highly-reliable communication under the assumption that the link quality easily changes over time. One of the approaches to this end, many multi-path routing schemes have been proposed so far. In these multipath routing proposals, they use multiple paths rather than the single shortest path to improve the reliability of communication, e.g., some of them use multiple paths between a pair of source and destination nodes to distribute traffic among them, or some others use a pre-computed alternative path when the next-hop link fails. However, most of the multi-path proposals appeared in the past are based on reactive distance-vector routing schemes, rather than proactive link-state schemes. There is a few study of multi-path routing that is based on proactive link-state schemes, although computing more efficient multi-paths seems to be possible by making use of network topology information. In this article, we discuss the methodology to realize multi-path routing over proactive link-state routing protocol OLSR. Further we report our attempt that implement and test a multi-path routing over OLSR.

**Keywords:** MANET, Proactive Routing, Link-State Routing, Multi-path Routing, Fault-tolerance

## 1. はじめに

有線ネットワークにおいては、マルチパスルーティングは広く研究されており、複数経路を用いて負荷分散や耐故障性の向上を図る数多くの試みがなされている。それらの多くは、各ノードがネットワーク全体のトポロジを把握できるリンク状態型の経路制御法を前提としており、トポロ

ジを基に効率の良いマルチパスを計算する様々な手法が提案されてきた。しかし、これらの手法を MANET に適用することは、現在の技術状況では難しいと言わざるを得ない。

実際には、MANET 上でも多数のマルチパスルーティング法が提案されている。しかし、それらは距離ベクトルを基にしたリアクティブ型経路制御プロトコルである DSR[3] や AODV[2] を拡張することで実現される。一般的にリアクティブ型経路制御法では、通信要求が発生してから隣接ノードに RREQ メッセージを送信し、経路探索を開始す

<sup>1</sup> 和歌山大学システム工学部  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University  
<sup>a)</sup> tac@sys.wakayama-u.ac.jp

る．典型的には，この経路探索アルゴリズムを工夫することで通信要求を発生したノードが複数の経路を把握できるようにする方法がとられる．リアクティブ型経路制御法を基にしたマルチパスルーティングは，マルチパスの利用方法によって2種類に分類できる．一つは，複数経路を同時に利用することで負荷分散を行う手法であり [22][20][15]，もう一つは次ホップリンクが使用不能になった場合に即時に予備経路を利用することによって耐故障性を向上する手法である [21][14]．どちらの手法も，これまでに数多く研究がなされている．しかし，リアクティブ型経路制御法ではネットワーク全体のトポロジを利用することができないため，経路の選択に限られるという限界がある．

一方，プロアクティブ型（リンク状態型）経路制御法を基にしたマルチパスルーティング法は，これまでごく少数 [13] しか提案されていない．経路計算のためにネットワークトポロジが利用できるうえに，有線ネットワークの分野ではネットワークトポロジを基にマルチパスを計算する手法が数多く提案されているにもかかわらず，である．その理由の一つとして，制御メッセージによるネットワークへの負荷が大きいたことが挙げられる．特に MANET では，ノードの位置に制約が少ないことから，場合によってはノード密度が非常に高いネットワークも扱う必要がある．そのような場合には，通常のリンク状態型の経路制御プロトコルでは隣接ノード数が膨大になり，またメッセージの広告においては各ノードがこれを中継するため，ネットワークへの負荷が非常に大きくなる．特に高密度なネットワークにおいて，メッセージの負荷を低減できる手法は本質的に重要である．

メッセージの負荷を低減する代表的な方法として，標準化されているプロアクティブ型経路制御プロトコル OLSR [1] が備える MPR (Multi-Point Relay) が挙げられる．MPR の中心的なアイデアは，メッセージの広告時に，メッセージがネットワーク全体に届く限りにおいて，これを中継するノードの数を減らすことである．しかし，さらにこれに加えて，経路計算が可能な限りにおいて広告するリンクを間引く処理を行い，メッセージの負荷をさらに減少させている．つまり，MPR の下でネットワーク全体に広告され，全ノードが共有するトポロジ（以下，広告トポロジと呼ぶ）は，実際のトポロジから一部のリンクが間引かれたものである．

MPR は，特に高密度なネットワークにおいて，メッセージ広告の負荷を大幅に削減することができる．しかし，以下に示すように，マルチパスによる経路制御を考える場合には不都合な性質を持つ．

- (1) 広告トポロジは，複数の経路を計算するのに十分な冗長性を持っていない．MPR は，1 ノード或いは 1 リンクの故障時でも，これに対応する迂回路の存在を保証できない．

- (2) 各ノードが経路を計算するトポロジが，ネットワーク全体で同期されていない．各ノードは最短路を計算する時でも，自身の隣接ノードの情報を広告トポロジに加えたトポロジから最短路を計算する．これにより，最短路は正しく計算することができる．しかし，マルチパス計算においては，各ノードが異なるトポロジから経路計算をすることになるため，各ノードが計算した経路の間で一貫性が保てない可能性がある．

これに対して我々は，MPR を拡張し，上記 (1)(2) の問題を解決するような広告トポロジを提供するような広告リンク選択手法を提案した [24]．この広告トポロジ上には，任意の 2 点間に点を共有しない独立した経路が存在することが保証される．また，全てのノードはこの広告トポロジから経路を計算できるため，ノード間での経路の一貫性が失われることもない．この手法により，有線ネットワークを対象に提案されたマルチパスルーティング手法を MANET に適用することが可能になる．

本稿では，OLSR に文献 [24] で提案した広告トポロジを適用し，その上で任意のノード故障に対応できる IP Fast Reroute 法である SBR-NP を適用することで，輻輳時に予備経路を用いて通信を分散させる負荷分散手法を提案する．この提案手法をネットワークシミュレータ上に実装し，簡単な性能評価を行った．有線ネットワーク向けに提案された IP Fast Reroute 法を MANET 上で動作させた試みは，これまでには見られない．

本論文の構成は以下の通りである．2 章では，有線及び無線ネットワークにおけるマルチパスルーティングに関する関連研究を紹介する．3 章では提案手法を述べ，4 章ではシミュレーション評価結果を示す．5 章でまとめとする．

## 2. 関連研究

### 2.1 リアクティブ型ルーティングに基づいたマルチパス法

MANET を対象とした，リアクティブ型ルーティングに基づいたマルチパスルーティング手法は数多く提案されている．これらは，リアクティブ型ルーティングプロトコルである DSR [3] や AODV [2] を拡張して設計されている．これらは共通して，通信要求の発生時に実行される経路探索アルゴリズムを変更する．経路探索においては，送信元ノードは RREQ と呼ばれる経路探索要求パケットを発行し，宛先まで順に伝搬させることで経路を探索する．この処理を工夫することにより，様々なマルチパスの探索を可能にする．

1 章で述べたように，これらはマルチパスの使い方によって 2 種類に分類できる．一つは，マルチパスを同時に使い負荷分散を行う利用方法であり [22][20][15]，もう一つは次ホップの故障時に予備の経路に切り替えることで耐故障性を向上する利用方法である [21][14]．

また，マルチパスの計算方法による分類も可能である．

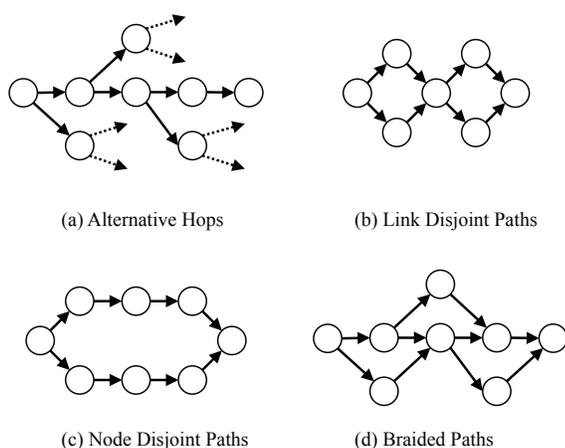


図 1 マルチパスの分類

まず、最も単純な方法は、各ノードが各宛先に対して、予備の次ホップを保持する方法である(図 1(a)).つまりこの方法では、代替ホップが存在する限りにおいて、各ノードが主と副の 2 つの次ホップを保持することになる。少し発展させた方法として、リンク、或いはノードを共有しない経路の集合を用いる方法もある [15][20](図 1(b)(c)). 負荷分散を行うならば、この方法が適している。さらに、センサネットワーク等を対象として、編み紐 (Braid) 状の経路を用いることで耐故障性を向上する方法も提案されている [25](図 1(d)). このように、様々なマルチパスルーティング法が提案されているが、リアクティブ型ルーティングを基にする限りはネットワークのトポロジ情報を利用できるわけではなく、計算できるマルチパスは柔軟性や最適性の観点から限界があると言わざるを得ない。

## 2.2 有線ネットワークにおけるマルチパス法

負荷分散及び耐故障性向上のためのマルチパスルーティング法は、有線ネットワークの分野では長く研究されてきた [17][18][9][10]. IP ネットワークでは、多くのマルチパスルーティング法はリンク状態型ルーティングを想定して提案されてきた。つまり、ネットワーク全体のトポロジが利用できる前提下で、そのトポロジから複数の経路を計算する。これらの手法は、全ノードが共通に保持するトポロジを保証さえできれば、MANET にも適用することが可能である。

有線ネットワークにおける負荷分散手法から紹介する。代表的なリンク状態型ルーティングプロトコルである OSPF[23] は、コストが同じ複数の経路間での負荷分散 (Equal-Cost Multi Path) をサポートする。Mishra らは、さらに柔軟な負荷分散法として、ループを発生させない限りにおいてパケットを隣接ノード全てに分散させる負荷分散手法 S-OSPF を提案した [17]. さらに、Antić らは、パケットを隣接ノードだけでなく、任意の中継ノードに分散

させる手法を提案した [18]. つまり、送信元ノードから、まず複数の中継ノードに IP トンネル技術を用いてパケットを転送し、中継ノードからは最短路を通って宛先に届くように経路を制御する。これらの方法では、それぞれの経路にどれだけの量のパケットを送るのかを決める必要があり、この最適化のためにネットワークのトポロジ情報と各リンクの負荷を知る必要がある。

リンクやノードの故障時に備えて予備の経路を計算しておく手法も、長い研究の歴史を持つ。IP ネットワークにおいて、予め予備の経路を計算しておき、故障時に即時に経路を切り替える手法は IP Fast Reroute (IPFRR) と呼ばれる。[9], [10], [12]. IPFRR も、そのアプローチによっていくつかに分類できる。NotVia[9] はノードがパケットの次ホップリンクが利用できないことを検知すると、IP トンネルを使ってパケットを別の中継ノードに転送し(ノード故障に対応する場合には、中継ノードは最短路に沿った次々ホップノードである)、中継ノードからは最短路を通って宛先に転送する。FIFR[10] は、第二の経路表を用意しておき、次ホップリンクの故障を検出したときにはこれを用いてパケットを転送し、故障したノードやリンクを避ける。FIFR では、単に 1 ホップだけを第二の経路表で転送するのではなく、パケットを受信したインタフェースによって故障から迂回されてきたパケットを認識し、さらに第二の経路表で転送することにより、任意のノード故障に対応することができる。SBR-NP[12] は、FIFR のように第 2 の経路表を用いて任意の 1 ノード故障に対応する IPFRR 法の一つであり、パケットヘッダ上の数ビットの領域を使うことで、SBR-NP では対応できない広範囲の故障が起きた際にも、パケットのループを防ぎ、被害を抑えることができる手法である。上記 NotVia, FIFR や SBR-NP を含め、代表的な IPFRR 手法の多くは、インターネット上で発生する故障の中で高い割合を占める 1 ノード・1 リンク故障に対応できることを保証しており、比較的低いオーバーヘッドでこれを実現できる。

当然であるが、MANET では、インターネットに比べて、はるかにリンクやノードが到達不能になる頻度が高い。しかし、それらはリンク故障やノード故障の連続であると考えると、IPFRR は MANET にも有効であろう。Hansen らは、いくつかの著名な IPFRR 法をノードがモビリティを持つ MANET に適用し、経路の切断を防ぐために IPFRR が効果的であるかを評価した [19]. しかし、彼らのシミュレーションは自作のシミュレータを用いて経路計算のみを模倣したものであり、干渉を含むパケット転送を考慮した評価は行っていない。IPFRR 法を MANET に適用し、パケット転送を模倣するシミュレーションを行った例は、筆者らが知る限りにおいては存在しない。

### 2.3 プロアクティブ型ルーティングにおける状況

最短路のみを用いた経路制御においても，MPR の広告トポロジを冗長化することで，ネットワークの耐故障性を向上することができる．このために，OLSR では広告トポロジの冗長性を制御するために，2つの設定パラメータ MPR\_COVERAGE と TC\_REDUNDANCY が用意されている [1]．

Clausen らは，これらのパラメータの値を変えたときの広告トポロジの冗長性を評価し，モビリティがあるシナリオにおいては冗長性が高いほどパケット到達率が高くなることを示した [6]．Villanueva-Peña らもモビリティのあるシナリオにおいてこれらのパラメータを変動させたときの通信性能を調査した．彼らは TC\_REDUNDANCY に関する新たな動作を提案し，これについても評価している [7]．Huang らも同様にモビリティのあるシナリオにおいてネットワークの冗長性について評価を行い，冗長な広告トポロジは特に低いノード密度のシナリオにおいて有効であると結論付けている [8]．

これらの結果は，OLSR の広告トポロジ冗長化のパラメータはモビリティによってリンク切断が発生するシナリオに効果があることを示している．しかし，これらには理論的な冗長性の指標が与えられておらず，マルチパス計算にあたって必要となる冗長性を保証できない．我々は，MPR を拡張し，任意の1リンク・1ノード故障に対応できる，すなわち任意の2ノード間に2本のノードとリンクを共有しない広告トポロジを保証する手法を提案した [24]．この研究は，理論的基準に基づいて広告トポロジの冗長性を保証する初めての結果である．

ところで，MANET におけるプロアクティブ型ルーティングプロトコルを基にしたマルチパスルーティング法もないわけではない．Yi らは OLSR をマルチパス拡張した MP-OLSR (Multi-Path OLSR) を提案した [13]．この手法では，送信元ノードから宛先まで複数の経路を用いて負荷分散と耐故障性の向上を行っている．しかし，MP-OLSR はソースルーティングを用いてパケットを転送するため，相応のオーバーヘッドがかかると同時に，スケーラビリティの問題が指摘される．

### 3. 提案手法

本研究では，文献 [24] で提案された，任意の1ノード故障に対応できる広告トポロジの上で，有線ネットワークを対象に提案された IPFRR 法 SBR-NP を動作させることで，より効率的な MANET 上の経路制御を目指す．SBR-NP では，全てのノードにおいて，どの宛先ノードに対してもその次ホップノードを通らない迂回路を保証できる．このために，第二の経路表の追加と，パケットヘッダ上への2ビット領域の利用というオーバーヘッドを必要とする．SBR-NP を OLSR 上で動作させるためには，文献 [24] の適用が必要である．

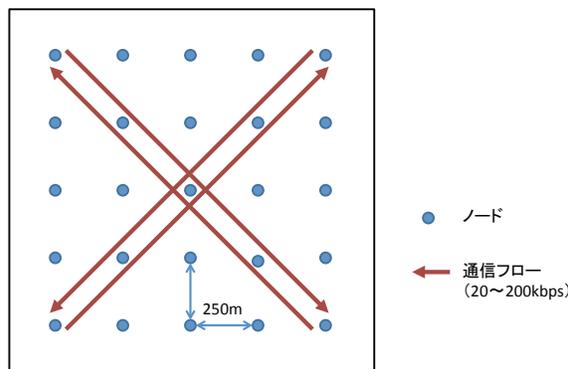


図2 シミュレーションシナリオ

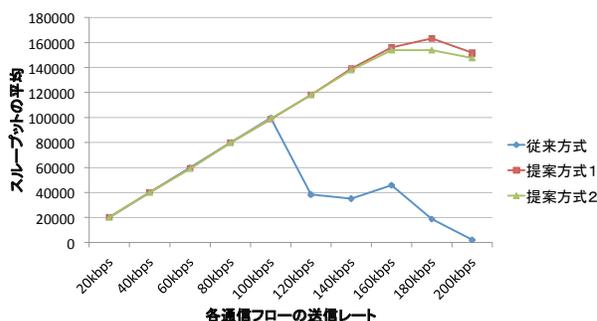


図3 平均スループット

提案手法では，各ノードが IEEE 802.11 に準拠したインタフェースを一つ持ち，ノード上ではルーティングプロトコル OLSR が動作することとする．OLSR には文献 [24] が適用され，さらに SBR-NP [12] が実装されることで，任意のノードから次ホップノードを通らない迂回路が利用できる．マルチパスは，負荷分散の用途で使用する．各ノードは，次ホップリンクに輻輳が発生した場合に，迂回路にパケットを転送することで輻輳を緩和した負荷分散の動作を行う．具体的には，過去  $k$  個のパケットのリンク層 (IEEE 802.11) における再送回数の平均を計算しておき，その値がしきい値  $T_k$  以上であれば輻輳が発生したと判断し，以後一定時間はパケットを迂回路に転送する．

### 4. 評価

#### 4.1 方法

本評価では，提案手法をネットワークシミュレータ Scenarie に実装し，通信性能の評価を行った．Scenarie ver.1.6 に付属している OLSR モジュールである mrlolsr に提案手法を実装した．

シミュレーションシナリオは次の通りである．実験に使用するノード数は25個とし，それらを図2のように250m 間隔で 5x5 の格子状に配置した．ノード間の通信可能距離はおよそ 300m 強である．各ノードの通信規格は IEEE802.11g を使用し，各リンクの通信速度は 6Mbps に

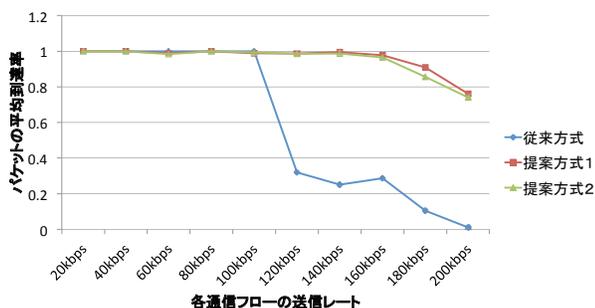


図 4 パケット到達率

設定した．今回はノードは移動しないものとした．CBR (Constant Bit Rate) 通信を図 2 のように，四隅のノードからその対角線上のもう一端のノードへの双方向に発生させた．パケットのペイロードサイズは 512byte に設定し，送信レートを変動させた．シミュレーション時間は 360 秒とし，ルーティングプロトコルの動作が安定するのを待って開始 60 秒時点から終了まで計 300 秒間の CBR 通信を発生させた．通信の送信レートを 20kbps から 200kbps まで 20k ごとに段階的に変化させた．各送信レートにおいて 5 つの乱数 seed 値で 5 回ずつ実験を行い，その平均値を結果とした．本実験では，スループットとパケット到達率の 2 つの評価指標を用いた．いずれも，フロー毎に算出したうえで，全てのシナリオの値の平均を用いた．

提案手法として，文献 [24] で提案されている広告リンク選択手法と IP Fast Reroute 手法 SBR-NP を適用したうえで，提案する負荷分散法を実装したものをを用い，OLSR を改変しない従来手法と比較した．提案手法は，文献 [24] に提案されている 2 つのアルゴリズム (Algo1 及び Algo2) の両方を試すこととし，それぞれを提案手法 1，提案手法 2 と呼ぶ．つまり提案手法 1 と 2 は，適用する広告リンク選択手法のみが異なり，その他は同じである．提案手法 1 の広告リンク選択手法では，直径 2 ホップ以上のネットワークにおいて任意の 1 ノード故障に対応できる広告トポロジを提供できる．提案手法 2 は，任意のネットワークにおいて任意の 1 ノード故障，及び 1 リンク故障に対応できる広告トポロジを提供できるが，少しネットワークへの負荷が高い．なお，OLSR の他の設定値は OLSR の RFC[1] を参照し，標準値を使用した．

#### 4.2 結果

図 3 にスループットについての結果を示す．この値が高いほど通信性能が高いことを意味する．図では，送信レートが 100kbps 以下のときには，送信レートが上昇するにつれてスループットも上昇している．しかし，送信レートが 120kbps 以上になると，従来手法ではその通信性能が大幅に下がった．それに対して，2 つの提案方式は送信レートが 120kbps を超えてもスループットが上昇し続け，

160kbps を超えた付近からはほぼ上昇せず，その後には減少するという結果となった．なお，20kbps から 100kbps の間では，従来方式の値が最も高く，また 2 つの提案方式では，全体的に提案方式 1 の方が性能が高かった．

次に，図 4 にパケットの平均到達率についての結果を示す．図について，送信レートが 120kbps 以上では，パケットの平均到達数のグラフで見られたように，従来方式の値が大幅に減少している．2 つの提案方式ともに，送信レートが 120kbps の時点から少しずつ減少し始めている．しかし従来方式よりその減少は緩やかであった．また，提案方式 1 を適用した場合の方が全体的に優れた結果が得られた．

#### 4.3 考察

本シミュレーション実験では，ノード間に双方向の通信フローを発生させているため，パケット送信の衝突が発生しやすい．そのため，経路上に輻輳が発生しやすいが，迂回路を用いない従来方式ではその輻輳を回避することは難しい．よって，送信レートが高くなり輻輳が発生するようになると，従来方式を用いた場合においては，輻輳が回避できずパケットの損失が増加する結果となった．それに対して，提案方式を用いた場合には，リンクの輻輳を検知して迂回路を用いる仕組みがあるため，輻輳箇所では片方の通信フローが迂回され，通信による負荷が分散されたと考えられる．その結果，2 つの提案方式では，従来の OLSR と比べて大幅に良い結果が得られた．また，そのように通信の負荷が分散されたとしても，送信レートが 160kbps 以上の場合には輻輳が発生し，送信レートが上がる毎にパケットの損失が増加する結果となった．

次に，2 つの提案方式については，全体的に提案方式 1 を適用した場合の方が優れた結果が得られている．これは主に制御メッセージの負荷による差であると考えられる．提案方式 1 ではリンク切断に対応しないことから，提案方式 2 に比べて広告されるリンク数が少なく，その迂回路は提案方式 2 に比べて遠回りに迂回する傾向がある．そのため，提案方式 1 を適用した場合ではより通信の負荷が分散され，通信が安定したと考えられる．

以上により，提案手法と IPFRR 手法の併用により，従来の OLSR を超える通信性能が得られることが判明した．また，提案手法 2 つのアルゴリズムについては，リンク及びノード故障に対応できるアルゴリズム 2 の方が理論的には耐故障性能が高いが，実際に通信を行う際には，ネットワークにかかる負荷の差によって，アルゴリズム 1 を適用した方がわずかに通信性能が高いことが明らかになった．

#### 5. おわりに

本稿では，MANET 上のマルチパスルーティングについて概観し，プロアクティブ型 (リンク状態型) ルーティング

はネットワークポロジから経路計算できるため効率的な経路計算をするうえでは潜在能力が高いと考えられるものの、マルチパス法の設計にあたっては広告トポロジの問題があることを指摘した。また、この問題を解決するために我々が提案した広告トポロジ上で1ノード、及び1リンク故障に耐えられる広告リンク選択手法を用いて、有線ネットワーク向けに提案されたIPFRR法であるSBR-NPをOLSRに適用できることを示した。さらに、ネットワークシミュレータScenargie上にこれを実装し、簡単なシミュレーション実験により、提案手法の有効性を示した。

今後は、より包括的な提案手法の評価を行うことが課題の一つである。また、MANETにおける効率的なマルチパスの利用法について検討をしたい。

謝辞 本研究はJSPS科研費24700069の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing," IETF RFC3626, 2003.
- [2] C. Perkins and E. Belding-Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC3561, 2003.
- [3] D. Johnson, Y. Hu and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," IETF RFC4728, 2007.
- [4] R. Ogier, F. Templin and M. Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)," IETF RFC3684, 2004.
- [5] R. Diestel, "Graph Theory Second Edition," Springer-Verlag New York, pp.50, 2000.
- [6] T. Clausen, P. Jacquet, and L. Viennot, "Investigating the Impact of Partial Topology in Proactive MANET Routing Protocols," Proc. 5th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Comm., Oct. 2002, pp. 1374-1378.
- [7] P. E. Villanueva-Peña, T. Kunz, and P. Dhakal, "Extending network knowledge: Making OLSR a Quality of Service Conducive Protocol," Proc. 2006 Int. Conf. on Comm. and Mobile Computing, Vancouver, Canada, pp. 103-108, July 2006.
- [8] Y. Huang, S. Bhatti, and S. Sorensen, "The Impacts of Spatial Topology Redundancy on Proactive MANET Routing Performance," Technical Report RN/07/16, UCL (2007).
- [9] M. Shand, S. Bryand and S. Previdi, "IP Fast Reroute Using Not-via Addresses," draft-ietf-rtgwg-ipfr-ntvia-addresses-04.txt, 2009.
- [10] Z. Zhong, S. Nelakuditi, Y. Yu, S. Lee, J. Wang, and C.N. Chuah, "Failure inferencing based fast rerouting for handling transient link and node failures," in Proceedings of IEEE Global Internet, Mar. 2005.
- [11] T. Yoshihiro, "A Single Backup-Table Rerouting Scheme for Fast Failure Protection in OSPF," IEICE Transactions on Communications, Vol. E91-B, No. 9, pp.2838-2847, 2008.
- [12] T. Yoshihiro and M. Jibiki, "Single Node Protection without Bouncing in IP Networks," IEEE 13th Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR2012), pp. 88-95, 2012.
- [13] J. Yi, A. Adnane, S. David, B. Parrein, Multipath opti-

- mized link state routing for mobile ad hoc networks, Ad Hoc Networks, Volume 9, Issue 1, Pages 28-47, 2011.
- [14] S. J. Lee and M. Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks," IEEE ICC2001, 2001.
- [15] K.K. Marina, and S.R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad hoc Networks," In Proc. of IEEE ICNP, pp 14-23, 2001.
- [16] J. Raju and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "ROAM: A New Approach to On-Demand Loop-Free Multipath Routing," in Proc. of IEEE IC3N, 1999.
- [17] A.K. Mishra and A. Sahoo, "S-OSPF: A Traffic Engineering Solution for OSPF based Best Effort Networks," In Proc. IEEE Globecom 2007, pp.1845-1849, 2007.
- [18] M. Antić and A. Smiljanić, "Oblivious Routing Scheme Using Load Balancing Over Shortest Paths," In Proc. IEEE ICC 2008, pp.5783-5787, 2008.
- [19] A.F. Hansen, G. Egeland, and P. Engelstad, "Could Proactive Link-State Routed Wireless Networks Benefit from Local Fast Reroute?," 6th Annual Conference on Communication Networks and Services Research (CNSR2008), pp. 453-462, 2008.
- [20] Z. Ye, L.V. Krishnamurthy, and S.K. Tripathi, "A Framework for Reliable Routing in Mobile Ad hoc Networks," In Proc. of IEEE INFOCOM2003, 2003.
- [21] S.J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks," In Proc. of IEEE WCNC2000, 2000.
- [22] C. Balasubramanian and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Shortest Multipath Routing Using Labeled Distances," The 1st IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2004.
- [23] Moy, J., "OSPF Version 2", IETF RFC 2328, 1998.
- [24] Y. Yukawa and T. Yoshihiro, "Selecting Advertising Links to Guarantee Detour Path against Single Node and Link Failure in OLSR," International Workshop of Informatics (IWIN2012), 2012.
- [25] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, "Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," Mobile Comput. Commun. Rev. Vol.5, pp.11-25, 2001.