

## 通信と測位の融合に向けた OLSR-L ネットワークプロトコルの評価

曾 我 和 由<sup>†1</sup> 竹 中 友 哉<sup>†2</sup> 寺 島 美 昭<sup>†3</sup>  
峰 野 博 史<sup>†4</sup> 水 野 忠 則<sup>†2</sup>

無線マルチホップネットワークにおいて、ノードの位置を推定するローカライゼーションプロトコルと、経路制御を行うルーティングプロトコルは重要な技術である。これまでの研究では、ローカライゼーションとルーティングプロトコルは別々に議論されてきた。本論文では、ローカライゼーションプロトコルである ROULA と、ルーティングプロトコルである OLSR との融合手法を示す。OLSR が経路制御を実現すると同時に、ROULA によるローカライゼーションを行う。別々のプロトコルが通信すると発生する通信オーバーヘッドと、処理手順の削減が実現できる。ROULA と OLSR の融合によって可能となるローカライゼーションとルーティングの融合する OLSR-L ネットワークプロトコルの実装詳細を示す。

### Evaluation of OLSR-L Network Protocol for Integrated Protocol for Communications and Positioning

KAZUYOSHI SOGA,<sup>†1</sup> TOMOYA TAKENAKA,<sup>†2</sup>  
YOSHIAKI TERASHIMA,<sup>†3</sup> HIROSHI MINENO<sup>†4</sup>  
and TADANORI MIZUNO<sup>†2</sup>

On wireless multi hop network, the routing technology that does the localization technology and the path control that presumes the position of the node is important technology. In a current research, localization and the routing protocol are examined, and the evaluation has been done separately. In this paper, the integrated protocol with OLSR that is ROULA, and is the routing protocol that is the localization technology is shown. Localization by ROULA is done at the same time preparing of OLSR the routing table. The reduction in the communication overhead and the processing procedure generated if a separate protocol communicates can be achieved. It becomes possible by the fusion of ROULA and OLSR, and a detailed implementation of the integrated protocol of localization and routing is shown.

#### 1. はじめに

近年、センサネットワークを含む無線マルチホップネットワークが頻りに研究されている。有線インフラの設置に掛かる莫大なコストの削減、有線による通信範囲限定の解消などが期待されている。

無線マルチホップネットワークにおいて、データ通信プロトコルと測位プロトコルは重要な技術であり、またお互いに強い関連性を持っている。図 1 にデータ通信プロトコルと測位プロトコルの関係を示す。例えば、

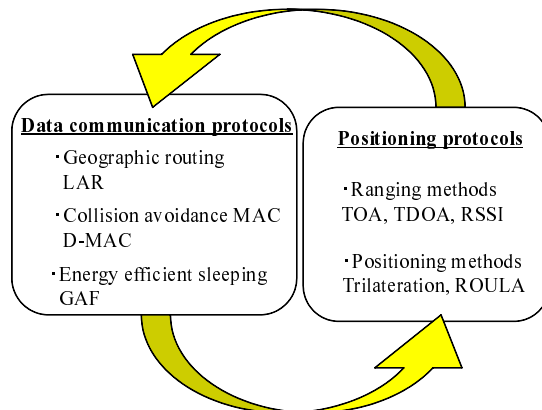


図 1 データ通信プロトコルと測位プロトコルの関係  
Fig. 1 Relationship between data communication and positioning protocols

Location Aided Routing (LAR)<sup>10</sup> では、端末の位置情報を知ることによって冗長なフラッドングを抑制する。

†1 静岡大学大学院情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Shizuoka University  
†2 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University  
†3 三菱電機株式会社  
Mitsubishi Electric Corporation  
†4 静岡大学情報学部  
Faculty of Informatics, Shizuoka University

また、Geographical Adaptive Fidelity (GAF)<sup>14)</sup>では、位置情報に基づいた仮想的なグリッドを定義し、データの配達に必要なノードを見つけ、冗長なノードをスリープすることで低消費電力化を実現している。さらに D-MAC<sup>15)</sup>では、指向性を持たせたアンテナを無線端末に取り付け、相手の位置を把握し、通信相手の方向へ通信範囲を絞ることで、MAC層での冗長な無線通信の干渉を抑制している。これらの研究に共通しているのは、位置情報を利用したデータ通信プロトコルの性能向上である。そのため、位置情報を取得するために Global Positioning System (GPS) 等が必要である。しかし、GPS は屋内では使えない点や、各端末に取り付けるにはハードウェアコストを強いるため、すべての端末に取り付けることは現実的ではない。そのため、GPS に依存せずに端末の位置を自律的に推定する測位プロトコルが必要となる。

測位プロトコルは測距（距離の推定）と測位（位置の算出）フェーズから成り立つ。測距方式には Time-Of-Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA), Received Signal Strength (RSS) などがある。いずれの方式も測距を実現するためにオーバーヘッドが発生する。測位方式には、三辺測量や我々が提案している ROULA<sup>1)</sup> などがある。測位を実現するためには、パケット交換などのオーバーヘッドが発生し、測位プロトコルを利用する際には、これらのオーバーヘッドを考慮しなければならない。そのため、位置情報を利用したデータ通信プロトコルは測位プロトコルを必要とし、測位プロトコルはその応用先として、データ通信プロトコルへの位置情報の供給が成り立つ（図 1）。

しかしながら、既存の研究では、データ通信プロトコルと測位プロトコルが別々で議論されている。我々は、そのような問題意識のもとに、通信と測位を融合する通信プロトコルを提案し、開発している<sup>2)</sup>。

本論文では、OLSR をベースにしたローカライゼーションプロトコル (ROULA)<sup>1)</sup> と、無線マルチホップネットワークのルーティングプロトコルである Optimized Link State Routing (OLSR) プロトコル<sup>3)</sup> を融合する OLSR and Localization (OLSR-L) ネットワークプロトコルについて述べる。ローカライゼーションプロトコルとルーティングプロトコルを融合させることにより、通信と測位を同時に実現し、通信オーバーヘッドを減らすことを示す。

本論文は次のように構成される。2 章で関連研究、3 章でローカライゼーションとルーティングの融合手法、4 章で基礎的な評価、5 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

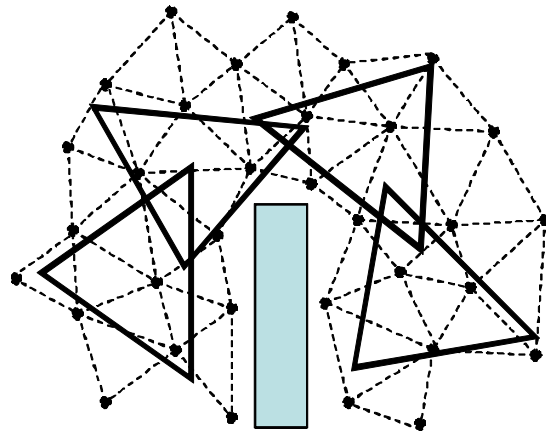


図 2 ROULA の概念図  
Fig. 2 Concept of ROULA

## 2. 関連研究

### 2.1 ローカライゼーションプロトコル

アドホックセンサネットワークなどの無線マルチホップネットワークにおいて、ノードの位置情報はイベントの発生場所を示すため、ローカライゼーションプロトコルはよく議論される研究テーマの一つとなっている。ローカライゼーションが有効な場面として、災害時の被災者の居場所、環境モニタリングなどが挙げられる。ローカライゼーションを行う最も単純な方法は GPS を利用することである。そこで、無線マルチホップネットワークのローカライゼーションの研究では測位デバイスに依存しない方法がいくつか提案されている。そのほとんどは近隣ノード情報を利用する。

測距デバイスに依存しない単純なローカライゼーション技術として、DV-HOP<sup>12)</sup>がある。DV-HOP は 3 台以上のアンカーノードとのホップ距離を算出して、多辺測量により位置を推定する手法である。アンカーノードとは、GPS 等によりあらかじめ位置が特定されているノードである。しかし、そのためにはネットワーク中にある程度のアンカーノードを必要とする。そこで、アンカーノードに依存しないローカライゼーションである ROULA を紹介する。

ROULA の基本的なアイデアは、各ノードが正三角形をマッチングし、重なり合う正三角形を再帰的にマージし、1 つのグローバルな位置座標にすることである。図 2 は ROULA の概念図であり、各点はノードを示し、それらのリンクは線で示されている。実際のノード配置では、ノードは理想的な正三角形に配置されたノードを見つける。正三角形のマッチングの近似はシミュレーションにて有効であることが確認されている<sup>1)</sup>。

ROULA は Multi Point Relay (MPR) ノードを

利用し、正三角形の頂点の候補, Farthest 2 ホップノードを選択する. 各ノードは, Farthest 2 ホップノードに選んだリストの情報を入れたパケット, TRLNORICE パケットをフラッディングする. 各ノードは, TRLNORICE パケットの情報を元に正三角形をマッチングすることにより, ローカルな位置座標を得る. 様々なネットワークシナリオで ROULA の性能評価を行い, ROULA がアンカーノードに依存せず, 不規則なネットワークポロジに耐久性があることを示している.

## 2.2 ルーティングプロトコル

無線マルチホップネットワーク上での経路制御は複雑であり, ルーティングもよく議論される研究テーマの一つである. 多くのルーティングプロトコルでは, ルーティングを行う際に近隣ノード情報を利用している.

無線マルチホップネットワークでは一般的なネットワークとは異なり, 次の2つの特徴があるため専用のルーティングアルゴリズムが必要となる. 一つは, ノードはネットワークの情報を事前に知ることができず, また事前に設定もできないことである. もう一つは, ルーティング経路の切り替えが発生することである.

無線マルチホップネットワークには多くのネットワークプロトコルが存在する. IETF Mobile Ad-hoc Networks (MANET) Working Group (WG)<sup>13)</sup> では, 経路制御技術に関する標準化が議論されている. MANET-WG は, OLSR, AODV<sup>7)</sup>, DSR<sup>8)</sup>, TBRPF<sup>9)</sup> の4つのルーティングプロトコルを RFC 化した. ここでは, ROULA と親和性のあるルーティングプロトコルについて考察する.

無線マルチホップネットワークにおいて代表的なルーティングプロトコルとして, Reactive 型, Proactive 型, 位置情報型が挙げられる. Reactive 型ではノードが通信の要求を出すとルーティングプロトコルが動作し, 周りのノードの存在を電波を出して確かめ, 経路表を作成していく. AODV, DSR が Reactive 型のルーティングプロトコルに属する. 経路表が作られるのは通信の要求が発生した後なので, 実際に通信が始まるまでには遅延が発生する. Reactive 型プロトコルは, ノードが通信を要求してから, 通信可能になるまでの時間が長くて構わないようなネットワークに適している.

Proactive 型のルーティングプロトコルでは, ノードはあらかじめ経路表を作成しておく. したがって, 通信要求が発生するとすぐに通信を開始できる. OLSR, TBRPF が Proactive 型のルーティングプロトコルに属する. あらかじめ経路表を作成するためには, 制御情報のやり取りが必要になる. 常にパケットを送出し, 周辺に存在するノードの確認を行わなくてはならない. Proactive 型は, 通信が頻繁に行なわれるネットワークに有効である.

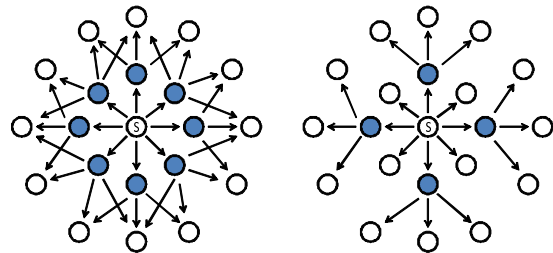


図3 MPR 集合による再送信ノードの減少  
Fig. 3 Using MPR nodes to decrease retransmissions

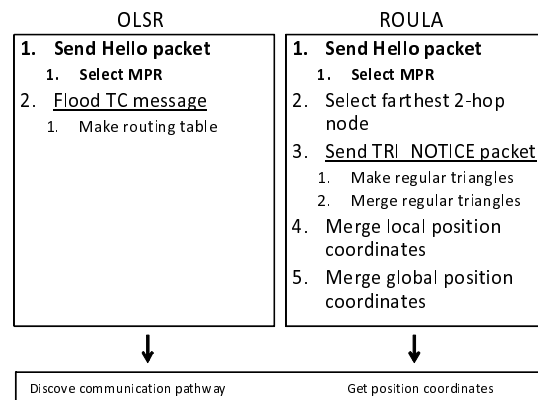


図4 OLSR-L プロトコルの流れ

Fig. 4 Flow of OLSR-L

位置情報型のルーティングプロトコルでは, ノードは送り先の位置情報をあらかじめ把握しており, その情報を基にしてメッセージを送信する. 位置情報を事前に把握していることが前提となるので, ローカライゼーションを行う ROULA との親和性は低い.

ローカライゼーションとルーティングを同時に行うことを想定したときに, ともに利用する近隣ノード情報と, 同じ動作を一つにすることでオーバーヘッドの減少が期待できる. ROULA は近隣ノードとの情報のやり取りをするので, Proactive 型のルーティングプロトコルと親和性があるといえる. また, ROULA は OLSR の MPR を利用しているので, OLSR のルーティングオーバーヘッドにより, ローカライゼーションを実行しているといえる. MPR とは再送信ノードのことであり, 図3の青いノードを再送信ノードとする. 左から右へと減っているのがわかるように, 効率よく再送信するためのノードである. 以上より, ROULA と融合させる適当なルーティングプロトコルは OLSR だと思われる.

## 3. ローカライゼーションとルーティングプロトコルの融合 (OLSR-L)

これまでの研究では, ローカライゼーションとルー

表 1 ローカルリンク情報

ローカルリンク情報名	説明
リンク集合	直接的に電波が届くノードの集合
隣接ノード集合	各隣接ノード、そのノードの Willingness などによって構成される
2 ホップ隣接ノード集合	2 ホップノード集合、そのノードに繋がるノードなどによって構成される
MPR 集合	MPR 選択した集合
MPR セレクタ集合	自分を MPR にえらんだノードの集合

ティングプロトコルの検討、評価は別々に行われてきた。しかしそれは、2つのプロトコルが別々に通信するという事なので、単純に考えれば、コストが2倍かかるということである。ローカライゼーションプロトコルとルーティングプロトコルが融合できれば、通信コストを減少させることができる。そこで本研究では、OLSR に ROULA のソースを組み込み、ローカライゼーションとルーティングを同時に実現する OLSR-L ネットワークプロトコルを提案する。

OLSR ではノードは常に Hello メッセージをフラッディングすることで最新の 2 ホップノード情報と MPR ノードを proactive に保持している。そのため、メッセージのフラッディングや MPR 選択の演算はネットワーク層の処理を利用することで統合することができると考えている。これらの特性は ROULA がネットワークプロトコルと親和性があることを示しており、無線マルチホップネットワークで効率的なローカライゼーションを実現できる。

二つのプロトコルの流れを図 4 に示す。ROULA の Farthest2 ホップノードの選択は、Topology Control (TC) メッセージを受け取ることによって、各ノードの中で行う。TC メッセージは定期的にフラッディングされるので、TRINOTICE パケットは TC メッセージに含めることとする。各ノードはルーティングテーブルの作成とともに、正三角形のマッチング、マージを行えるよう実装する。

ROULA では、各ノードが生成した正三角形のマッチング、マージの結果をシンクノードに送る。シンクノードはその結果を元に全体の正三角形をマージし、全体のローカライゼーションをし、その結果をフラッディングすることとしている。各ノードのマッチング、マージの結果の送信と、全体のローカライゼーションの結果も TC メッセージに含めることとする。

以上のように、ROULA を OLSR に組み込む。

### 3.1 Hello メッセージ

OLSR において Hello メッセージは定期的に送信されるメッセージであり、各ノードの持つ情報の送信を目的としている。各ノードには表 1 のように、ローカルリンク情報をプロアクティブに保持している。Hello メッセージはこの情報の生成、送信を行うためのメッセージである。ローカルリンク情報にはリンク集合、

隣接ノード集合、2 ホップ隣接ノード集合とそれらのノードへのリンク集合、MPR 集合、MPR セレクタ集合の 5 つが含まれている。リンク集合は直接的に電波が届くノードの集合へのリンクのことであり、各リンクは 2 ノード間のアドレスの組と有効時間によって表わされている。有効時間はそのリンクが短方向なのか双方向なのかを表すためにも利用される。隣接ノード集合は各隣接ノードのアドレス、そのノードの再送信への積極度 (Willingness) などによって構成されている。その他、隣接ノード集合のさらに先に存在するノード集合、MPR として選択された隣接ノードの集合、もし自分が MPR として選択されている場合には自分を MPR として選択しているノードの集合 (MPR セレクタ集合) などの情報がローカルリンク情報として各ノードが保有している。

Hello メッセージによってローカルリンク情報が構築される様子を追ってみる。Hello メッセージは初期段階では自分の存在をアピールするために自分のアドレスの入った Hello メッセージを隣接ノードへ向けて送信する。これをすべてのノードが行い、各ノードは自分の周りにどんなアドレスを持ったノードがいるのかを知る。こうしてリンク集合と隣接ノード集合が生成されていく。しかし、この時点ではそれぞれのリンクが双方向かどうかは不明で、送信元から自分のノードへのリンクがあるということしか分らない。ローカルリンク情報のほとんどは、再び Hello メッセージによって定期的に送り続けられる。これを繰り返すことで、各リンクが双方向であるか、隣接ノードの先にはどんなノードがあるのかが明らかになる。これらの情報もローカルリンク情報として蓄えられる。

ROULA においても Hello メッセージを定期的に送信している。ROULA では Hello メッセージの情報によって、2 ホップノード集合の中から Farthest 2 ホップノードを選択する。Farthest 2 ホップノードの選択において、OLSR のローカル情報は MPR 集合、2 ホップ隣接ノード集合で選択することができるので、それ以上の情報を必要としない。

ROULA を OLSR に組み込む過程で、Hello メッセージに改良は加えない。

### 3.2 MPR ノード

OLSR では、MPR に関する情報も Hello メッセージで定期的に送信さる。上記のように、各ノードは自分が送信するパケットの再送信を以来するノードとして、いくつかの MPR を隣接ノードの中から選択している。この情報は Hello メッセージによって隣接ノードに送信されるので、これを受け取ったノードは、自分が MPR として選択されたことを知ることができ、自分を MPR として選択してきたノードの集合を MPR セレクタ集合として管理しておく。こうすることで、どのノードから来たパケットを再送信すればよいのかわかる。

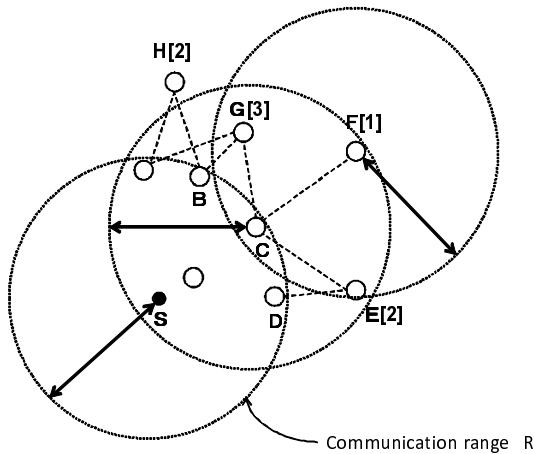


図 5 Farthest 2 ホップノードの選択

Fig. 5 Selection of farthest 2-hop node. The number surrounded in a parenthesis is the number connected to the MPR node of s node.

OLSR で利用されている MPR 選択は、測位デバイスを利用しないローカライゼーションに対して、距離誤差を低減する特性をもつ。そのため、ROULA では、MPR 選択に特別な変更を加えることなく、1 ホップノードとして正確に MPR ノードを測位する。ROULA ではノードはネットワーク層に OLSR プロトコルを持つことを想定している。そのため、Hello パケットのフラッディングや MPR 選択にかかる演算はネットワーク層の処理を利用することで、統合することができる。つまり、OLSR の MPR 選択において、変更を加えることなく ROULA を動作させることができる。

OLSR には MPR\_COVERAGE という値があるが、ROULA ではローカライゼーションするためにその値を 1 から 3 に設定している。文献 1) では、1 ホップノードの中に平均していくつかのノードが接続されているかを示す接続性とノード距離との関係を明らかにし、MPR ノードの数を制御可能な MPR\_COVERAGE を特定している。

### 3.3 Farthest 2 ホップノード

ROULA は、Farthest 2 ホップノード選択では、各ノードはすべての 2 ホップノードの中から最もソースノードから遠い 2 ホップノードを見つける。Farthest 2 ホップノードとは、自分を含めた正 3 角形の頂点候補ノードである。各ノードは Farthest 2 ホップノード集合と、Farthest 2 ホップセレクター集合をローカルリンク情報に追加する。各ノードは Farthest 2 ホップノードを選択したら、Farthest 2 ホップノード集合に情報を追加する。ローカルリンク情報に加えられた Farthest 2 ホップノード集合の情報は TC メッセージに組み込み送信することとする。また、TC メッセージにより自分を Farthest 2 ホップノードに選んだノードを確認し、Farthest 2 ホップセレクター集合に情報

A advertised Neighbor Sequence Number	Reserved
Advertised Neighbor Main Address	
...	

図 6 元の TC メッセージのケットフォーマット

Fig. 6 Packet format of original TC message

A advertised Neighbor Sequence Number		Reserved	
Number of MPR selector nodes	Number of farthest 2 hop nodes	Sink of not sink	Volume of information
Advertised Neighbor Main Address			
...			
Farthest 2 hop node Address			
...			
Information of sink node (or not sink node)			
...			

図 7 変更した TC メッセージのケットフォーマット

Fig. 7 Packet format of changed TC message

を追加する。

図 5 のノード S が計算ノードとする。小さい円がノードで、大きな円を中心ノードの通信範囲とする。Farthest 2 ホップノード選択では、MPR ノードと 2 ホップノードとの接続性を利用する。2 ホップノードの上を書いてある数字がノード S の MPR ノードと何個つながっているか、という数字である。Farthest 2 ホップノード選択では、ノードは MPR 選択以上の接続情報を必要しない。図 5 に示されるように、もしノード S からのノード距離が、例えばノード S, F 間のように、遠ければ数字は小さくなる。これは、ノードの密度が均一のととき、2 ホップノードと S ノードの接続性が小さきとき、ノードの距離が遠くなるからである。この特性に基づき、ノードは Farthest 2 ホップノードを選択する。

上記のように、Farthest 2 ホップノード選択は OLSR に特別な変更を加える必要がない。必要なのは MPR 集合と 2 ホップノード集合なので、MPR 選択が終了すると同時に、Farthest 2 ホップノード選択をできるよう組み込んだ。

### 3.4 TC メッセージ

OLSR プロトコルでは、Hello メッセージとは別に、TC メッセージというメッセージも頻繁に行き交わしている。各ノードが Hello メッセージを送るのは隣接ノードだけだが、TC メッセージはネットワーク全体へフラッディングされる。このフラッディングには MPR 集合が利用されるので、効率的なメッセージ転送が行なわれる。TC メッセージの役割は、ネットワーク全体のトポロジーを各ノードに連絡することである。各ノードはそのトポロジー情報を基にして実際の通信経路を計算し、経路表を構築する。実際に存在するすべてのリンクから構成されるトポロジーではなく、基本的には各ノードの MPR セレクタ集合から構築されるトポロジーであるため、管理するリンク数は実際のリンク数よりもかなり少なくなる。TC メッセージは MPR

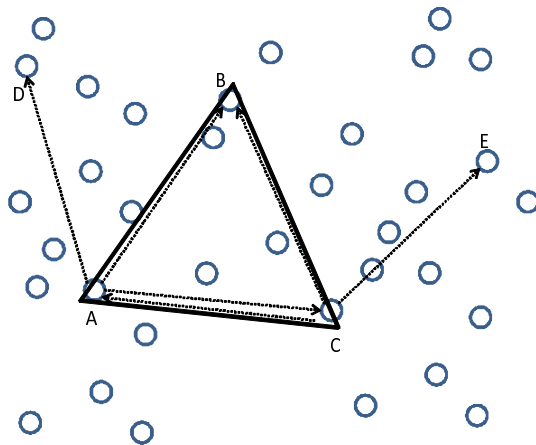


図 8 正三角形のマッチング  
Fig. 8 Matching of regular triangle

として選択されているすべてのノードが定期的に発信する。その中身には、最低でも自分自身と MPR セレクタ集合間のリンクが含まれている。こうしてネットワーク上のすべてのノードはすべての MPR とその MPR セレクタ集合を知ることができ、それを基にしてネットワーク全体のトポロジーを知ることができる。各ノードはそのトポロジーを用いて最短経路を計算し、それに基づいて経路表を作成する。このようにして、各ノードは全ノードと自由に通信ができる状態になる。図 6 に元の TC メッセージのパケットフォーマット、図 7 に変更した TC メッセージのパケットフォーマットを示す。

TC メッセージに自分を MPR に選んだノードの数、Farthest 2 ホップノードの数、Farthest 2 ホップノードのアドレス、シンクの判定、シンクノードか、シンクでないノードからの情報と情報量を TC メッセージに組み込む。Farthest 2 ホップノードは、正三角形の生成、マージに必要な情報である。MPR セレクターの数、Farthest 2 ホップノードの数はいくつのいくつまでのアドレスがどちらかを判定するために必要である。シンクの判定は、シンクノードからの送信なのか、そうでないかの判定に必要である。シンクノードか、シンクでないノードからの情報と情報量は各ノードでのマップ作成に必要な情報である。よって、TC メッセージを図 7 のように改良する。

### 3.5 正三角形及びローカルマップの生成

図 8 で、どのように正三角形に配置されているノードを見つけるかを説明する。ここでは、ノード B が三角形 ABC をマッチングすることに焦点を置く。図 8 の各矢印は Farthest 2 ホップノードの方向を示す。例えば、ノード A は 3 つの Farthest 2 ホップノード AB, AC, AD を持つ。ノード A, C は自身の Farthest 2 ホップリストを含む TRILNOTICE パケットを自身の Farthest 2 ホップノード宛にフラッディング

する。ノード B はノード A, C がノード B を Farthest 2 ホップノードとして選択したことを知る。次に、ノード B は三角形 ABC の 2 つの組み合わせ AC, CA を受信した Farthest 2 ホップノードリストの中でマッチングすることで、正三角形を見つける。

正三角形は頂点と辺上にある Farthest 2 ホップノードと MPR ノードで構成される。正三角形の頂点と辺上にあるこれらのノードは相対的な正三角形の位置座標によってローカルな位置座標が割り当てられる。すなわち、Farthest 2 ホップノードは理想的には  $R \times 2$  で測位され、MPR ノードは  $R$  で測位される。ここで、 $R$  通信範囲の長さを示す。しかし、この単純な相対位置座標の割り当ては現実的なノードの密度には適さない。MPR ノードと Farthest 2 ホップノードの距離の近似関数を導入し、それを正三角形の相対位置座標の割り当てに適用する。

ローカルマップの生成は以下のように行う。正三角形を含める、2 つの、ローカルマップを構成するノードの 3 点以上が重なるとき、1 つのマップとなるようマージする。元のマップは消去し、作成したローカルマップを新たなローカルマップとして登録する。2 つのローカルマップを一つのマップにする、ということを再帰的に繰り返す。1 つのローカルマップになるか、もうそれいじょうマージできない、というところまで行う。最終的にできたマップを、そのノードのローカルマップとする。

上記のように、正三角形、ローカルマップの生成はそれぞれのノードの中で行うので、通信オーバーヘッドは発生しない。また、生成されたローカルマップは TC メッセージによりシンクノードに送られるので、ローカライゼーションにおいて発生する通信オーバーヘッドは、最小限に抑えることができる。正三角形、ローカルマップの生成は TC メッセージに組み込まれた Farthest 2 ホップ情報により生成されるので、ルーティングテーブルが TC メッセージに含まれる情報で生成されるように、TC メッセージを受け取ったタイミングで行う。以上により、ルーティングテーブルを作成すると同時に、ローカライゼーションを行う。

## 4. 基礎的な評価

### 4.1 動作確認

これまで ROULA では OMNeT++<sup>5)</sup> を利用して実装と評価をしてきたが、OLSR は ns-2<sup>4)</sup> で実装されている。本研究では ns-allinone-2-OLSR<sup>6)</sup> のソースに ROULA を移植することで、ローカライゼーションとルーティングを同時に実現可能なプラットフォームを開発する。

図 9, 図 10 に ns-2 で移植中の実行画面を示す。正三角形生成の確認は、図 9 のようなトポロジーで、図 10 のような結果が得られた。図 9 のノード 0 とノード

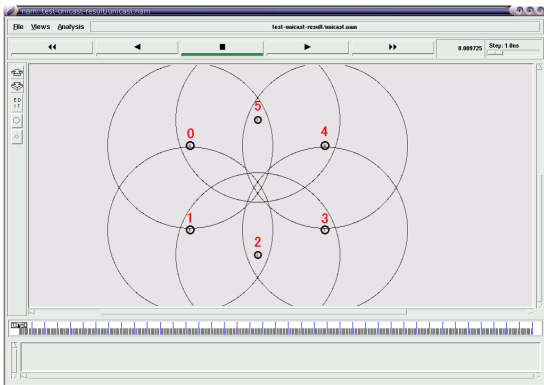


図 9 正三角形の生成の動作確認 (GUI)

Fig. 9 Check of regular triangle generation (GUI) using ns-2

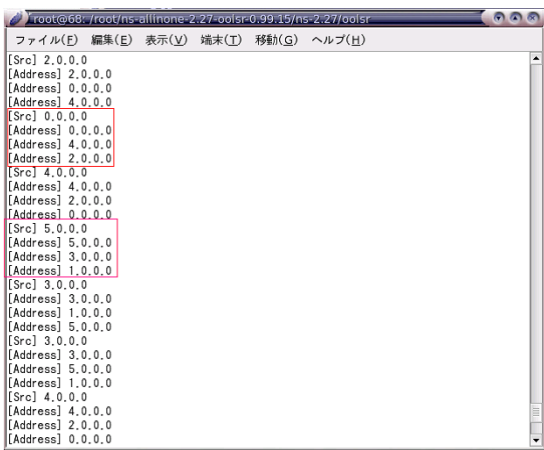


図 10 正三角形の生成の動作確認 (CUI)

Fig. 10 Check of regular triangle generation (CUI)

5 について考える．ノード 0 にとって，1 ホップノードかつはノード 5 とノード 1 であり，Farthest 2 ホップノードはノード 4 とノード 2 である．ノード 5 とノード 1 は MPR ノードでもある．同じ理由でノード 2 とノード 4 は，お互いを Farthest 2 ホップノードとするので，ノード 0 はノード 0, 2, 4 の正三角形を生成する．同様に，ノード 5 はノード 5, 1, 3 の正三角形を生成する．図 10 の赤色の四角と，桃色の四角で確認した．同じようにすべてのノードについて確認し，すべてのノードの動作が間違っていないことを確認した．

#### 4.2 オーバヘッドの評価

次に，TC メッセージのオーバヘッドについて評価する．図 11 において，TC メッセージの生成回数の減少を示す．評価方法は，フィールド  $1000 \times 1000$ ，ノード数 100，トポロジ は格子状 ( $10 \times 10$ ) と網目状 ( $10 \times 10$ )，通信範囲 250 で行った．網目状とは，格子状のノードの偶数の行を奇数行と半分ずらしたト

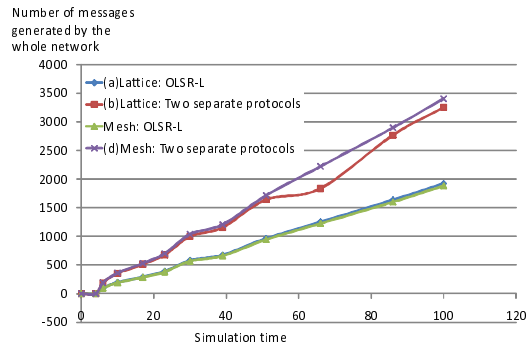


図 11 TC メッセージの生成回数

Fig. 11 Number of TC messages generated by various protocols

ポロジ である．

OLSR には MRR\_COVERAGE という MPR 数に影響するパラメータ値がある．デフォルトでは 1 となっている．ROULA では MPR\_COVERAGE を 3 とすることで，MPR を若干増やして精度を上げている．MPR\_COVERAGE のパラメータ値を変えることでのルーティングに対する影響はないので，融合したプロトコルも値を 3 で動かす．2 つのプロトコルを別々に動かした場合は，MPR\_COVERAGE を 3 の時のメッセージの生成回数と，MPR\_COVERAGE を 1 の時のメッセージ生成回数を足す．融合したプロトコルは MPR\_COVERAGE を 3 とし，2 つのプロトコルを別々に動かした場合と比較する．

図 11 の A, B は格子状のトポロジ，C, D は網目状のトポロジ で評価した結果である．A, C は融合したプロトコルの TC メッセージの生成回数を表したものである．また B, D は 2 つのプロトコルを別々に動かしたことを想定したものの TC メッセージの生成回数を表したものである．格子状の場合も網目状の場合も二つプロトコルを想定した場合より，融合したプロトコルのほうが TC メッセージの生成回数が少ないことがわかる．TC メッセージは定期的を送られるので，図 11 において時間がたっても，このまま推移していく．TC メッセージの生成回数としては，4 割程度の削減に成功した．

#### 5. おわりに

本論文ではローカライゼーションとルーティングを融合する OLSR-L について述べ，動作確認を行い，基礎的な評価を行った．

本研究における最終的な評価は，ns-allinone-2<sup>4),6)</sup> プラットフォームで行う予定である．評価項目として，MPR\_COVERAGE の増減による通信オーバヘッドの影響，ローカライゼーションの精度，ルーティングの精度，オーバヘッドの増減などがあげられる．

また、OLSRのMPR\_COVERAGEのようなオプションパラメータが、ローカライゼーションとルーティングプロトコルの融合時に、どのような値が適切であるか検討する。これからの動作確認として、シンクノードがネットワーク全体をマージする動作があげられる。

その後、OLSR-Lネットワークプロトコルの性能評価を行う予定である。OLSR-Lネットワークプロトコルと、OLSRとROULAを別々のプロトコルとして動かした場合と比べる。ローカライゼーションとルーティングの融合により、どれぐらいのオーバーヘッドが軽減できるかを評価する。

### 参 考 文 献

- 1) T. Takenaka, H. Mineno, Y. Tokunaga, N. Miyauchi and T. Mizuno, "Performance Analysis of Optimized Link State Routing-based Localization," *In journal of Information Processing Society of Japan (IPSS)*, Vol.48, No.9, pp.3286-3299, Sep.2007.
- 2) T. Takenaka, H. Mineno, and T. Mizuno, "A Study on Integrated Protocol for Communications and Positioning," *Proc. of International Workshop on Informatics (IWIN)*, pp.17-23, Sep.2008.
- 3) T. Clausen, and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," *IETF RFC 3626*, 2003.
- 4) The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- 5) OMNeT++ Discret Event Simulation System, <http://www.omnetpp.org/>.
- 6) Implementation code of OLSR, <http://hipercom.inria.fr/olsr/>.
- 7) C. E. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," *IETF RFC 3561*, Jul. 2003.
- 8) D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," *IETF Internet-Draft draft-ietf-manet-dsr-10.txt*, Jul. 2004.
- 9) R. Ogier, F. Templin, M. Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)," *IETF RFC 3684*, Feb. 2004.
- 10) Y. Ko, N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. of ACM/IEEE MobiCom*, Oct. 1998.
- 11) B. Karp, H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," *Proc. of ACM/IEEE MobiCom*, Aug. 2000.
- 12) D. Nicolescu, and B. Nath, "Ad-Hoc Positioning Systems (APS)," *Proc. of IEEE Globecom*, 2001.
- 13) IETF Mobile Ad-hoc Networks (MANET), <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- 14) Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing," *Proc. of ACM Mobicom*, pp. 70-84, 2001.
- 15) Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," *Proc. of IEEE Infocom*, vol. 1, pp. 13-21, 2000.