

ドローネーオーバーレイネットワークにおける接続の迂回路を用いた後追い構成法の検討

大西真晶[†] 原井洋明[†]

地震、台風などの広域災害発生直後でも健全である無線アクセス網の構成法として無線メッシュ網の基地局の位置に基づいて局所分散構成可能なネットワーキング手法として迂回路を用いたドローネーオーバーレイ網構成手法が提案されている。本研究報告ではこの詳細な実装方針について検討する。まず、ローレイヤと迂回路レイヤ、ドローネーオーバーレイネットワークレイヤにおける接続の関係について整理する。また、各層の関係に基づいた接続の確立手順についても検討する。具体的には既存の接続を最大限に利用した安定的な迂回路の確立を優先し、確立の可否が不明な層の接続の確立を後回しにする。迂回路による接続の確立後、この接続を用いて制御メッセージを交換し他の層の接続を確立する迂回路の後追い接続構成法の手順について検討する。また、簡易なシミュレーションの実行により、構成手順の動作を確認する。

A study of Delaunay overlay network follow-up construction method using detour paths

MASAAKI OHNISHI[†] HARAI HIROAKI[†]

In the wide-area disaster situation, preserving access network's soundness is very important. Delaunay overlay network distributed construction method using detours for such type of wireless access network is suggested. In this paper, we describe the method implementation policy. Firstly, we organize relations between connections of low layer, detour layer, and Delaunay overlay network layer. Secondly, a detours construction method is described. Thirdly, a low layer connections construction sequence by exchanging control messages using detours is described. And we confirm the behavior of suggested method by a simple simulation.

1. はじめに

大地震、台風などの広域災害発生直後にアクセスネットワークが健全に保たれていることは、避難活動、救助活動、救命活動などにおいて極めて重要である。

特に近年の日本では、大きな被害をもたらす地震が約8年に一度の頻度で起こっており(兵庫県南部地震(1995), 新潟県中越地震(2004), 東北地方太平洋沖地震(2011)), 耐広域災害ネットワークの研究開発と普及は急務である。

著者らはこのような広域災害に耐えるアクセス網としてネットワーク構造の観点から防災無線システムに相当する無線メッシュ網に注目している[1,2].

広域災害時に展開される無線メッシュ網は以下の特徴を持つことが望ましい。

- 中枢的な役割を果たす機器が無い。
 - 無線を主とした通信リンク。
 - 回路を連結した冗長経路の多数存在するリンクトポロジ。
 - 省電力な機器で構成され小さな独立電源での動作が可能。
 - 専門家の移動、専門家による指導の困難に対処する為、自律分散的に全自動でのネットワーキングが可能。
- また、各無線メッシュ基地局は、常設もしくは災害直後

に分散的に設置展開、相互に接続されることによる非常に広範囲(県横断規模)のカバーを想定する。

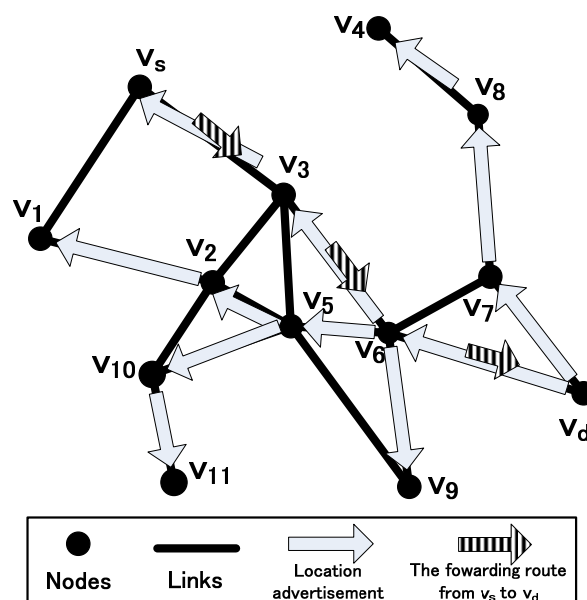


図1 ロケーション広告を用いた一般的なネットワーキング手法

しかし、広域災害時は無線リンクの品質がどの程度保証できるか不明であり、図1の様なロケーション広告のシグナルがネットワーク全体に及ぶような一般的なネットワーキング方式では、ネットワーキングに必要なリンク品質が

[†] 独立行政法人 情報通信研究機構

得られず動作しない可能性がある。

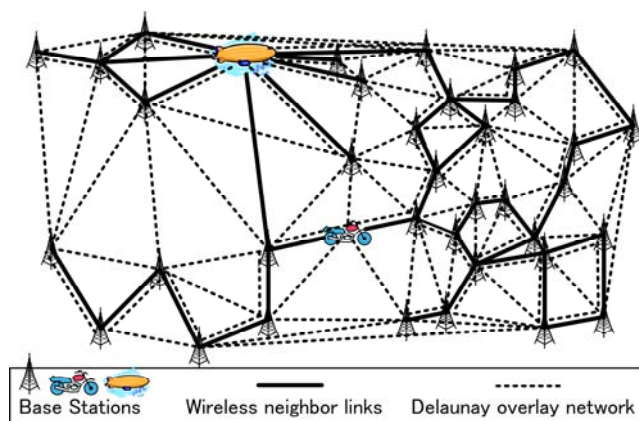


図 2 被災地に展開する無線メッシュ基地局とドローネーオーバーレイ網

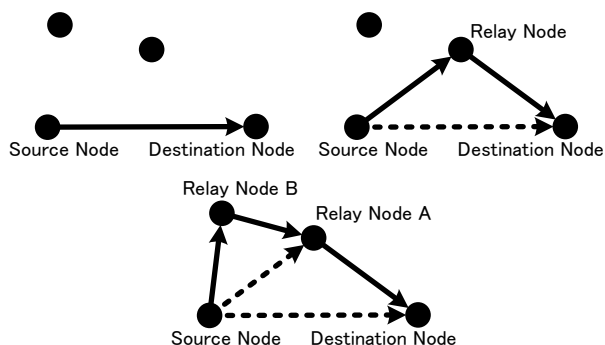


図 3 迂回経路における中継ノード

図 2 では、広域災害時に展開される大規模無線メッシュネットワークと、その上に構成するドローネーオーバーレイネットワークを示している。

ドローネーオーバーレイネットワークは各通信ノードの空間上での近傍関係とネットワークトポロジ上での近傍関係に相関がある時に通信ノードの位置をロケータとして効率よく局所分散的に構成可能なドローネーグラフのトポロジを持つオーバーレイ網である[3]。尚、ドローネーグラフはユークリッド空間上の位置に基づいた素朴なグリーディルーティングが成功するために必要十分なグラフであり、k-NN クエリを効率良く発行できるなどの特徴があり、このような特徴を利用したドローネーオーバーレイネットワークの応用として分散的なセンサ情報収集機構の研究などもある[4,5]。

ドローネーオーバーレイネットワークの従来構成法では前提としてローレイヤがネットワーク化され各ノードがロケータを基に任意のノードにローレイヤで通信できることを置いている(例：IP ネットワーク上での動作)。

つまり、オーバーレイの繋ぎ替えの際に、繋ぎ替え相手のロケータを知ることでオーバーレイのコネクションが確立可能な状態を想定している。この為、図 2 の無線リンクの集合があるだけの初期状態の環境に対して適用することはで

きない。

この問題に対処する為著者らは、近傍ノード間で最小限の経路情報交換を行うことによってドローネーオーバーレイネットワークに必要なオーバーレイリンク用のローレイヤ通信経路を構成する手法を提案している[6]。

この手法は従来手法では直接繋がっていたコネクションをマルチホップな迂回経路と置き換える構成法である。

図 3 に、本論文中での迂回経路の概念を示した。図 3 左上では sourceNode と destinationNode は直接のコネクションでつながっており、従来の構成法どおりである。

図 3 右上では、relayNode を経由してから destinationNode に辿り着く様を表現しており、この 2HOP の経路を迂回経路と呼ぶこととする

また迂回経路に使われているリンクについて更に relayNode を追加して迂回経路と置き換えることができる(図 3 下)。

この場合、sourceNode と destinationNode の間は 3HOP になっている。この様に RelayNode を見つけ出し、SourceNode、destinationNode との接続を確立できれば、迂回経路を用いて到達可能となる。

本研究では、オーバーレイネットワークとローレイヤネットワークの関係性について得て実装を意識して再整理を行い、オーバーレイ層からのローレイヤ接続構築の枠組みとして迂回路を後追いする形のローレイヤ接続構築機構を検討する。従来のドローネーオーバーレイネットワークの構成法の手順について概観し、その一部を修正して RelayNode を見つけ出して通知し、迂回経路を構成する手法を提案する。また、その迂回経路を先に構成した後、可能であればローレイヤのネットワーク側を制御し、新たな接続を構成する手順についても検討する。

2 章では従来のドローネーオーバーレイネットワーク構成手法の概要と実装指針について解説する。3 章では、従来手法の問題点に基づいた迂回経路構成法と、それを利用したローレイヤ接続の後追い構成法について解説する。4 章では簡易なシミュレーションによる動作確認、5 章では関連研究、6 章でまとめを記述する。

2. 従来構成法の概要と実装指針

ここでは新構成法について理解する前準備として、従来構成法の概要と収束原理、更に実装指針について示す。

2.1 従来構成法の概要と収束原理

図 4 では、ドローネーオーバーレイ構成において各ノードが行う 3 つの動作、「局所ドローネー化演算」、「三角化通知とそれに基づく接続の確立」、「接続委譲」を表現している。前提として各ノードはユークリッド平面上の位置を持っており、初期状態として連結グラフ状のオーバーレイネットワークトポロジを持っている。全てのノードはローレイヤのネットワークに接続されており、ローレイヤのロケータを知るこ

とができれば相互に通信することもできる。そして、このローレイヤネットワークにおける相互の接続関係の集合としてオーバレイネットワークは定義される。オーバレイネットワークレイヤでの接続を持つノード同士はお互いのID, 平面上の位置, ローレイヤでのロケータなどを伝え合っている。図4では、その中でもノード v_0 の挙動だけに注目しており、 v_1 - v_{16} は、 v_0 とオーバレイ接続されたノード群である。

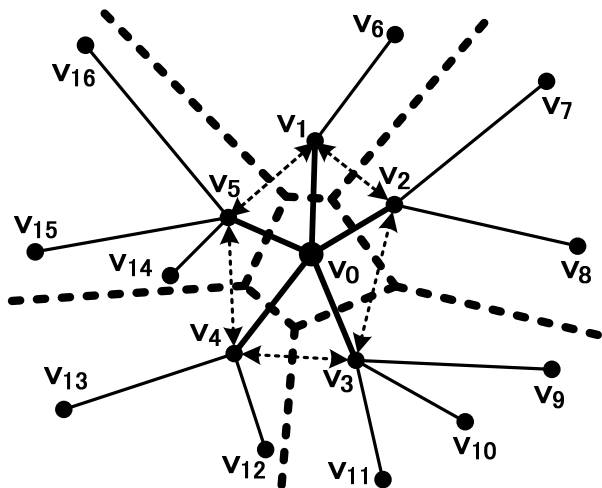


図4 局所ドロネー(ボロノイ)化演算に基づく三角化通知と接続委譲

まず v_0 は局所ドロネー化演算を行い自身とオーバレイ接続がある他のノードをドロネー隣人(ボロノイ領域が接するノード)となり得るノード(v_1 - v_5)となり得ないノード(v_6 - v_{16})である非ドロネー隣人の二つに分類を行う(図4の中の点線が v_0 と、そのドロネー隣人 v_1 - v_5 によるボロノイ図)。

ここでドロネー隣人となるノードに、そのノードとドロネー隣人に成り得るノードへの接続を全て引き渡す動作を行う。三角化通知は、 v_0 からドロネー隣人の中でボロノイ領域を接する可能性があるノード双方に対して接続の為の情報(主に双方のIDと平面上の位置とロケータ)を引き渡す。これを受け取ったノードは必要があれば相互に接続を行う。例えば図4では v_1 は v_2 と v_5 に関する情報を v_0 から受け取り、必要であると判断すれば、 v_2 , v_5 に対して接続を行う(図4では双方向点線矢印で表現)。接続委譲は、非ドロネー隣人への接続をドロネー隣人の中で、そのノードに最も距離が近いノードに引き渡す。図4では各ドロネー隣人に各非ドロネー隣人の接続が既に引き渡された状態を描いている。この三角化通知と接続移譲を各ノードが繰り返すことで短期的には各ノードは v_0 から自身の持つボロノイ領域に接する可能性がある全てのノードを得ることができる。ここで各ノードが自身のボロノイ領域に隣接するボロノイ領域を持つ他のノードの情報を得ることに意味

がある。まず、あるノードのボロノイ領域内の任意の点に対して次に近いノードは、そのノードとボロノイ領域を接するノードのうちの一つであることがボロノイ図の特性としてある。つまり、以下の2つのことが言える。

1. 各ノードは自身と接続したノードによって平面上の自身のボロノイ領域を除いた任意の点に対して自分より近くボロノイ領域を接する可能性がある2HOP離れたノード全てから接続される。
 2. かつ自身のボロノイ領域内の任意の点に次に近い可能性がある2HOP先ノード全てに対して接続する。
- この二つの現象によって各ノードは、平面上の任意の点に対して自身より近いノードと接続されるようになる。

つまり、これはある点に注目して、そこに最も近いノードをルートとした木構造となっているということであり、三角化通知と接続委譲によって起こる二つの現象は、木構造に対する1HOPの深さの小さなツリーをマージしているのと同様である。また三角化接続は接続の追加であり、接続移譲は接続を局所ボロノイ図において、移譲されるノードをボロノイ領域に含むドロネー隣人に対して委譲する為、それまでに分散的に構築されたグリーディルーティング到達可能な範囲は維持され続ける。

これらの挙動の結果、全ての任意ノードに対してグリーディに到達可能なリンクが生成される。更に余剰な接続については接続移譲によって削除される為、最終的に各ノードはグリーディルーティングに最小限必要なドロネー隣人との接続だけを保持する。つまり、ネットワーク全体が任意の平面上の点に対するグリーディルーティングに必要な十分な接続だけで構成されたドロネーグラフのトポロジに収束する。

2.2 従来構成法の実装指針

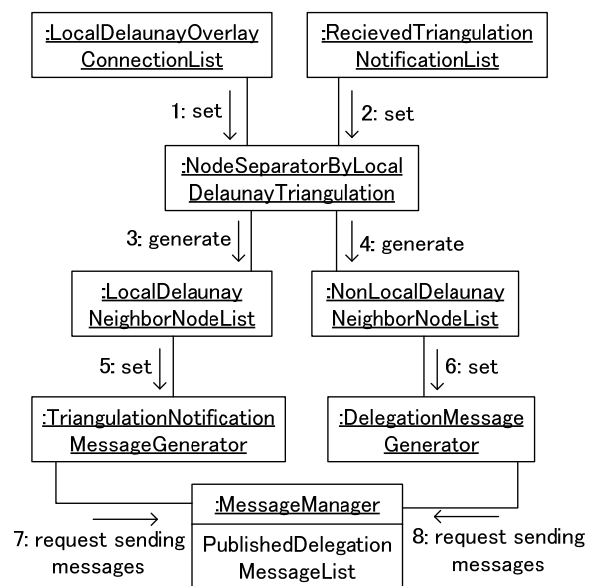


図5 各ノードが行う処理のメッセージ図

ここでは、新構成法の従来構成法の実装指針について解説する。

図5に各ノードが行う処理についてメッセージ図を用いて示した。各ノードは LocalDelaunayOverlayConnectionList か RecievedTriangulationNotificationList が更新された場合に、この処理を実行する。以下に図の各要素について解説する。
 [LocalDelaunayOverlayConnectionList]: ドロネーオーバーレイネットワーク層において現時点で自身が保持している双方向な接続のリスト。

[RecievedTriangulationNotificationList]: 受信した三角化通知を保管しておくリスト。

[NodeSeparatorByLocalDelaunayTriangulation]: 局所ドロネー化演算を行うオブジェクト。LocalDelaunayOverlayConnectionList と RecievedTriangulationNotificationList から得られる全てのノード情報を使い LocalDelaunayNeighborNodeList と NonLocalDelaunayNeighborNodeList を生成する。

[LocalDelaunayNeighborNodeList]: 局所ドロネー化演算の結果、ドロネー隣人と判定されたノード情報のリスト。

[NonLocalDelaunayNeighborNodeList]: 局所ドロネー化演算の結果、非ドロネー隣人と判定されたノード情報のリスト。

[TriangulationNotificationMessageGenerator]: LocalDelaunayNeighborNodeList に基づいて三角化通知メッセージを生成するオブジェクト。

[DelegationMessageGenerator]: NonLocalDelaunayNeighborNodeList に基づいて接続委譲メッセージを生成するオブジェクト。

[MessageManger]: MessageGenerator から受け取ったメッセージを順次他のノードに発送するオブジェクト。

[PublishedDelegationMessageList]: 自身が発送した DelegationMessage の履歴。接続委譲は委譲先のノードから新たな接続を確立に成功した旨を受けてから委譲される接続を切断する為、この履歴を利用する。

以上が従来構成法に使われるリストとオブジェクト類であるが、実際のところ接続の確立や接続の委譲は他のノードとの協調動作を行う必要があり、その動作の起動から完了までが一瞬では終わらない。他のノードに対して接続の構成を依頼したとしても、その接続が最終的に構成される前に、この各ノードには新たな三角化通知が届いたり、新たな接続が確立されたりして再度一連の処理を行う可能性がある。但し、従来構成法において接続が確立されることで接続の切断を行うプロセスはあっても、接続が確立されていないことで接続を切断するプロセスは無い為、接続の確立が完了した時点で再度、一連の処理を行えばよく、新しい接続が確立されるまでは単に冗長な経路が増える場合がある以外に不都合は起らない。接続の確立プロセスで注意したいことはオーバーレイネットワーク層での接続には接続の片方のみがもう片方の各種情報を得ている一方向接続である状態と、双方が双方のノード情報を得ている双方

向接続の状態がある。また、そもそもローレイヤでの到達可能性も接続の一種であることから、ローレイヤのロケータで到達できることはオーバーレイ接続の前提条件の一つでもある。そこで以下に各接続について整理し、それらの依存関係と包含関係について整理する。

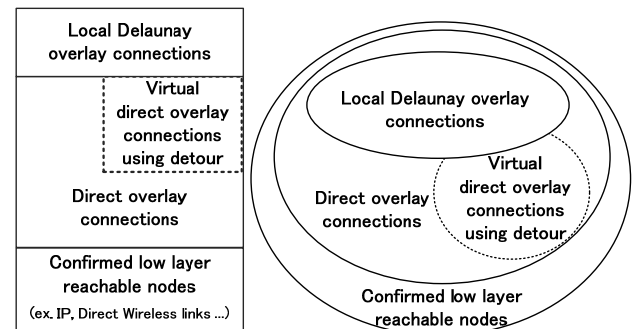


図6 各接続層における接続間の依存関係及び包含関係

図6左に、各レイヤにおける接続の依存関係を示した。まず最も基礎になる接続として”Confirmed low layer reachable nodes”を設定した。これは、オーバーレイネットワークに対するローレイヤの接続であり、ローレイヤのロケータで通信可能なことが確認できたノードのリストである。例えば、従来構成法を稼働させる最も一般的なローレイヤの想定はIPレイヤの上であるので、このリストもIP網を使って到達可能であることを確認できたノードの集合ということになる。従来構成法は、このローレイヤで到達できるノードの範囲が暗黙でオーバーレイネットワークに参加する全てのノードということになっており、もし届かないノードがあった場合、正しく動作しない。更にそのローレイヤで通信可能なノード間の接続として”Direct overlay connections”を設定した。この接続はオーバーレイ接続の一種であるが、まだドロネーオーバーレイ構成手法に用いられているとは限らない状態の接続である。メンテナンス用などにオーバーレイ接続が必要な場合もあり得る他、後述する迂回経路の構成要素として用いられることもあり得る。そしてドロネーオーバーレイ構成手法で使用する前提が完全に整った接続は”Local Delaunay overlay connections”である。構成手法における接続はこれを指している。尚、”Virtual direct overlay connections using detour”については次のセクションで述べる。

また各層の接続は下位の接続が無ければ上位の接続を構成することができず、上位の接続には必ずそれを構成する為に支えとなっている下位の接続があるという依存関係がある。

その様な依存関係がある以上、下位の接続の集合は対応する上位の接続の集合を含んでそれより多いという包含関係があることになり、その包含関係を図6右に表している。これらを踏まえて実装指針を述べる。まず、以上の層の接続を意識して管理し、図6右の包含関係が守られるように

定期的にメンテナンスされなければならない。下位の接続がなんらかの理由で消失した場合、それに対応する上位の接続は削除される必要がある。逆に上位の接続が削除された場合、それに対応する下位の接続は削除する必要はないが、接続の維持を行うためのリソースを節約する観点から対応する上位の接続が無い下位の接続は削除するという実装はあり得る。尚、このような包含関係に基づいて接続をメンテナンスする以上、上位の接続をリストに追加する際には対応する下位の接続は必ず同時に追加して、メンテナンスによる上位接続の削除を回避する必要がある。

3. 迂回経路構成法と、それを利用したローレイヤ接続の後追い構成法

3.1 無線メッシュリンクのネットワーク化に利用する際の従来手法の問題点と解決法の概要

ドローネーオーバーレイネットワークの従来の構成手法はローレイヤネットワークが任意のロケータで任意のノードに通信可能な理想的なネットワークを前提としている。しかし無線メッシュネットワークになる前の単なる無線リンクの集合に対するネットワークング手法として用いる場合、無線リンクで直接接続されたノードに対してしか通信が行えない。これは図6における”Confirmed low layer reachable nodes”が、全ノードの中の極々一部しか存在しないということであり、必要となる上位の接続をほとんど確立することができないということであるから従来構成法は途中で止まってしまい最終的なドローネーオーバーレイを構成することができない。

そこで本セクションでは、図6における”Virtual direct overlay connections using detour”を構成することでドローネーオーバーレイネットワーク層での接続を構成する為の下位接続として用いる。この接続は従来手法ではローレイヤネットワークのロケータで直接接続が変わって、ローレイヤネットワーク上に構成された1HOPの接続である”Direct overlay connections”を複数経由するルートを設定することでドローネーオーバーレイネットワーク層において接続する必要があるノード間の接続を構成する手法である。図6における”Virtual direct overlay connections using detour”がこの迂回経路に相当する。

以下に迂回経路を用いたドローネーオーバーレイ網構成法の基本アイデアと構成手順を述べ、更にこの迂回経路を用いたローレイヤ接続の構成手順について述べる。

3.2 迂回経路構成法の基本アイデアと構成手順

図7と図8に三角化通知に基づいた迂回経路構成と接続委譲における迂回経路構成の例を示した。

従来手法では、 v_1 と v_2 は接続の必要に応じて直接接続する。しかし本提案手法では、例えローレイヤで到達可能であったとしても直接の接続を構成することはせず、必ず迂回経路を構成する。三角化通知も接続委譲も v_1 と v_2 に対

して v_0 から必ず専用のメッセージを送信している為、 v_1 と v_2 は v_0 を経由することで辿り着くことができることが分かる。そこで各ノードがDetour tableを持ち接続の必要があれば、 v_1 と v_2 それぞれから v_0 を経由して相手に届くような極短距離のロケーション広告を送信し、各ノードはそれに基づいて迂回経路テーブルに経路を登録する。例えば、図7における v_1 のDetour tableには、送信先(dst) v_2 への到達の為に次(next)ノード v_0 をルートとして選択するよう記述されている。 v_0 には更にルーティングテーブルが整備されており、 v_2 まで到達することができる。図6におけるDirect overlay connectionsを無線リンクで直接繋がったノードにのみ初期状態で構成しておき、この上に迂回経路を構成する形となる。到達可能かどうか分からないローレイヤの接続をあてにした構成手法とは違い既存の接続上のルーティングテーブルを整理するだけであるから格段に v_1 と v_2 間の接続を構成できる可能性が高まる。

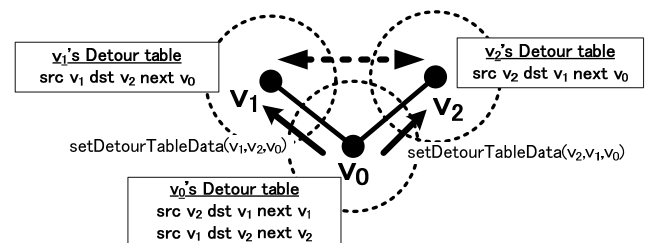


図7 三角化通知に基づいた迂回経路構成

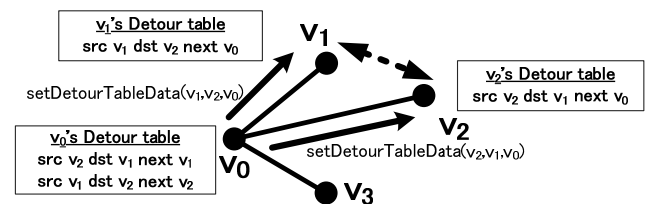


図8 接続委譲の際の迂回経路構成

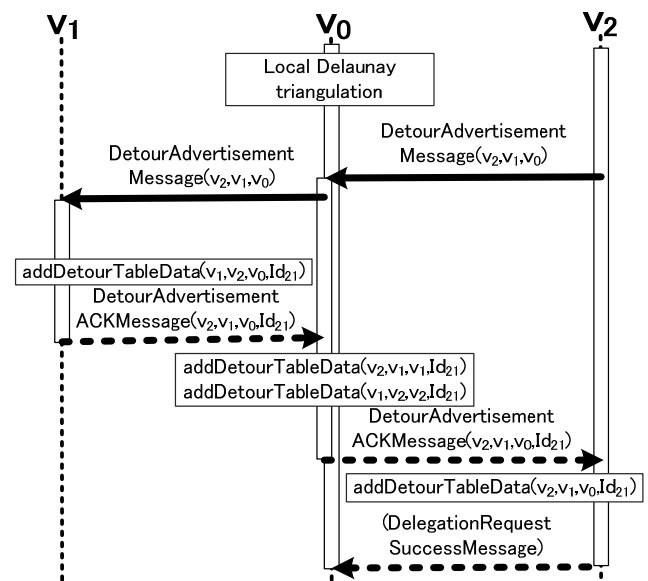


図9 迂回経路構成シーケンス図

図9には迂回経路構成用広告メッセージ(Detour AdvertisementMessage)の転送とそれによる detourTable へのカラムの追加についてに関してシーケンス図により詳細に示した. v_2 は v_0 から受け取ったメッセージに対して Detour AdvertisementMessage を返信する. v_0 はメッセージを発行しているから基本的には v_1 とのドロネーオーバーレイ構成レイヤでの接続を保持している. この為, v_1 に DetourAdvertisementMessage を修正しつつ転送する. v_1 は DetourAdvertisementMessage を受信後, ACK メッセージを生成, detourTable にカラムを追加しつつ, v_0 を経由して v_2 まで送信する.各ノードは ACK を転送しながら, その情報に基づいて自身の detourTable に迂回経路のカラムを追加していき, ACK が v_2 まで返った時点で迂回経路の構成は完了する. この迂回経路は, 下位の接続として経由するノードへの direct overlay connections を持ち, 上位の接続として迂回経路によって繋がった2ノード間の接続となる Local Delaunay overlay connections を持ち, この上下関係に基づくメンテナンスを受ける.

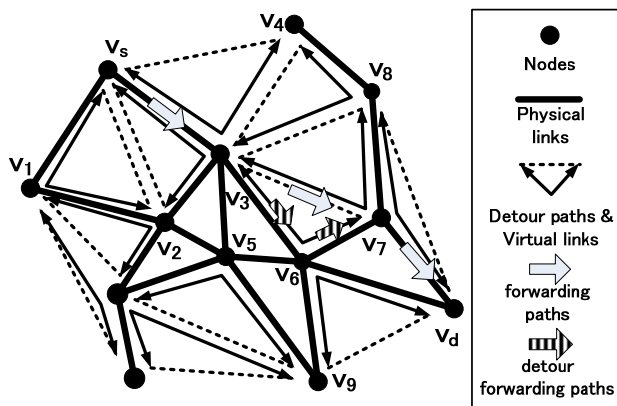


図10 ネット構造の迂回経路による無線メッシュネットワーク例

尚, 一旦構成された迂回経路は, ドロネーオーバーレイネットワークの構成層からは単なる2ノード間の接続として扱われる為, さらにこの接続の上に迂回経路を構成することが可能であり, ネストされた迂回経路の状態になりえる. この様な迂回経路のネストによってドロネーオーバーレイネットワーク化することによりネットワーク化された無線メッシュの例を図10に示す.

3.3 ローレイヤ接続の後追い構成

以上の迂回経路によるドロネーオーバーレイネットワーク構成手順では, 新たな Direct overlay connections が張られることはなく, 本来直接接続できるにも関わらず迂回経路で接続されるような冗長な接続が生まれる. そこで, 迂回経路は定期的に疎通確認などのメンテナンスを受ける他にローレイヤネットワークにおけるロケータを迂回経路の両端のノードで交換し, ローレイヤでの疎通を試み疎通ができた場合には直接的な接続を構成して迂回経路を破棄する. こ

れによってローレイヤ接続の疎通を行うためのコントロールメッセージのやりとりを既に確立されたハイレイヤの接続を用いて行うことができ, 疎通の成否の判断を容易に行うことができる.

4. 簡易シミュレーションによる動作確認

本検討方式の動作を確認するため, 1台のPC内でJavaを各ノード内での処理, 接続管理, メッセージ送信に関するシミュレータを行い, 迂回経路が構成されドロネーオーバーレイ接続が構成されることを確認した.

5. 関連研究

無線環境を考慮したネットワーク上での経路選択は, スケーラビリティを保持するため, フラッディングの利用を避ける必要がある. そこで, ID やノード位置に基づくネットワークの構造化や対象範囲の制限をした通信によって, ネットワーク全体の通信量を低減しつつ, 任意のノード間に対して到達可能な経路選択法が研究されている.

F. Araujo ら[7]は, 構成法には深く触れていないものの平面上に配置された通信ノードをドロネー図状に結んでネットワーク化しルーティングする手法についてのアイデアについて示している. Karp ら[8]は, ノードの位置関係によってガブリエルグラフを構築し, 欲張り法及びRight-Hand-Ruleを利用することで, フラッディングを利用せずに, 平面グラフ上で任意のノード間での経路選択を保障している. 一方, 提案手法では, 構成したドロネーリンクを辿ることによって任意の2ノード間で経路選択を行うことができる. Li 及びWang ら[9], [10]は, 通信範囲内のノードに焦点を当て, UDG 上から平面局所化ドロネー図と呼ばれる平面グラフを提案し, 同構造を利用した欲張り法による経路選択について議論している. これに対して提案手法では, 通信範囲外のノードには迂回経路によって到達可能なリンクを構成できるため, グラフが連結であれば, 通信範囲に依存せずネットワークを構築することができる. Caesar ら[11]は, Chord 環を利用しており, 各ノードがノードIDの近いノードを隣人表として所持し, ID空間上で近いノードIDを順番に辿ることでIDのみによる経路選択法を実現している. また, ID空間上の隣人がノードの通信範囲外にある場合には, マルチホップ通信による隣人までの経路を所持することで対応している. しかしながら, ノード数の増加に伴いID空間も大きくなるため, ノード数が大きい場合には隣人までのホップ数が増加する. 一方, 提案手法では, ノード数の増加に対して所持する隣人数は一定であり, 拡張性が高い.

6. まとめ

本研究では, 広域災害時に動作可能な無線メッシュ網のネットワーク化手法としてドロネーオーバーレイネットワ

ークを用いることを提案し、従来の構成手法を迂回経路を用いて無線リング群に対して適用可能な手法に拡張した。また既に構成されたオーバーレイからローレイヤ接続の構成を制御する後追いのローレイヤ接続構成法は、無線メッシュ上での使用を想定しない旧来のインターネット環境などでドローネーオーバーレイを構成する場合にも有益であろうと考える。現在、筆者らは無線メッシュ基地局によるテストベッドの構築に取り組んでいる他、この迂回経路を用いたドローネーオーバーレイ構成手法の実装についても開発中である。

参考文献

- 1) Y. Owada, M. Ohnishi, M. Inoue “Regional Wireless Network Platform for Context-Aware Services and its Implementation”, IEEE The 4th Ad Hoc, Sensor and P2P Networks Workshop 2011, pp.539-544
- 2) 大西ほか, “分散処理・制御アクセスネットワーク NerveNet によるインタラクティブ広告配信,” 信学技報, MoMuC2010-1, 2010年1月
- 3) 大西真晶, 源元佑太, 江口隆之, 加藤宏章, 西出亮, 上島紳一: “ノード位置を用いた P2P モデルのためのドローネー図の自律分散生成アルゴリズム”, 情報処理学会論文誌: データベース, 47.SIG4(TOD29), pp. 51 - 64 (2006).
- 4) 四之宮潤, 寺西裕一, 春本要, 竹内亨, 西尾 章治郎: “階層化ドローネーオーバーレイネットワークにおける空間補間に適したセンサ観測値収集手法”, 情報処理学会論文誌, 52(10), pp.2892-2901 (2011-10-15).
- 5) 四之宮潤, 寺西裕一, 春本要, 竹内亨, 西尾 章治郎: “階層化ドローネーオーバーレイネットワークにおけるシステムの制約設定に基づくセンサ観測値収集手法”, 情報処理学会論文誌, 52(12), pp.3251-3262 (2011-12-15).
- 6) M. Ohnishi, M. Inoue “A distributed incremental construction method of Delaunay overlay network using detour paths”, IEEE The 4th Ad Hoc, Sensor and P2P Networks Workshop 2011, pp.509-514
- 7) F. Araujo and L. Rodrigues: “Geopeer: A location-aware peer-to-peer system”, Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (IEEE NCA04), Cambridge, MA, USA, pp. 39-46 (2004).
- 8) B. Karp and H. T. Kung: “GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks”, MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 243-254 (2000).
- 9) X.-Y. Li, G. Calinescu, P.-J. Wan and Y. Wang: “Localized delaunay triangulation with application in ad hoc wireless networks”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 14, 10, pp. 1035-1047 (2003).
- 10) Y. Wang and X.-Y. Li: “Efficient delaunay-based localized routing for wireless sensor networks: Research articles”, International Journal of Communication Systems, 20, 7, pp.767-789 (2007).
- 11) M. Caesar, M. Castro, E. B. Nightingale, G. O' Shea and A. I. T. Rowstron: “Virtual ring routing: network routing inspired by dhds”, SIGCOMM, pp. 351-362 (2006).