

優先度に基づくアドホックネットワーク QoS 制御方式の検討 A Study of QoS Control Method for Information Sharing in Ad-hoc Network

寺島 美昭*
Yoshiaki Terashima

河東 晴子*
Haruko kawahigashi

宮内 直人*
Naoto Miyauchi

1. はじめに

近年、地震や津波による大規模な災害地域に複数のチームが展開する救援活動を対象に、インフラレスのアドホックネットワーク適用が期待されている [1]。各チームは災害状況を把握するために様々なネットワークセンサを保持し、これらのセンシング情報を定期的に共有する事により、災害地の状況を正確、迅速、かつ広範囲に把握できる。しかし、救援活動は頻繁な移動によるトポロジィの変化、予測できない地形や障害物による再ルーティングが多発する厳しい通信環境下で行われる。このため、センシング情報共有の処理性能を妨げる制御トラフィックの抑制、状況に応じて発生する緊急度の高い情報共有の確実な通信が不可欠である。本稿ではシミュレーション結果からアドホックネットワーク適用の課題を分析し、これらを解決するチームルーティング方式を提案する。センサの配置や情報共有の関係 (情報共有属性) を予め計画的に定義する救援活動の特殊な条件を利用して、制御の目的を限定して最適化する事により、厳しい通信環境に対応する。

2. システム概要と課題

20Km × 20Km の災害地域に 2500 個のセンサが展開する環境を想定し、この内部にセンサが人や車両とともに移動する救援活動モデルを定義する。例えば図 1 に示すように、Sensor-1 と Sensor-2 が更新処理を定周期で繰り返す事によりセンシング情報を共有し、単一のセンシング情報よりも高い観測精度、広域な観測範囲、迅速な状況把握を実現する。

表 1: 一般的なセンシング情報共有の条件

展開規模	20Km × 20Km
Sensor	2500 個
Mobility	0~30Km/h Random
Protocol Stack	ftp, TCP/IP, AODV, 802.11b
Application	FTP(512byte/s × 1000 Packets)

この救援活動モデルに対して、AODV(Ad-hoc On Demand Vector) ベースのプロトコルスタックを用いたシミュレーションにより、アドホックネットワーク実現の課題を分析した。表 1 に示す条件に基づいて情報共有のための FTP を定周期で実行した結果、センシングに十分な情報共有性能を達成できる最大センサ間距離は、約 250m である事が分った。これに対して救援活動モデルにおける平均的なセンサ間距離は約 400m である。この

* 三菱電機 (株) 情報技術総合研究所, Mitsubishi Electric Corp. Information Technology R & D Center

結果から、救援活動モデルでは情報共有に十分な性能を持つルートを確認は難しく、特に領域の対角線に配置したセンサ間などホップ数が多い通信では、ほぼ不可能である事が分った (センサ配置の問題)。

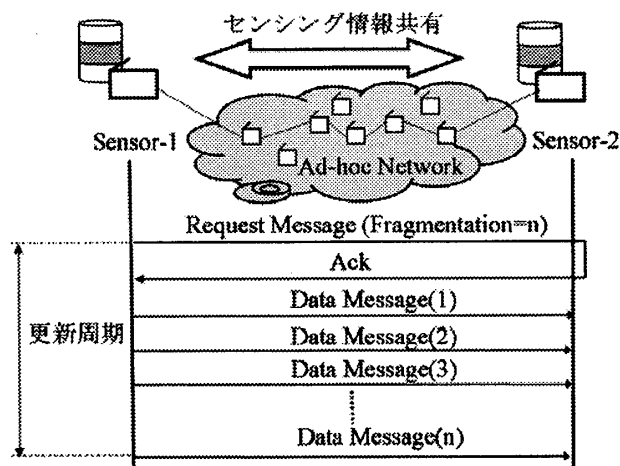


図 1: 情報共有のための通信手順

次に再ルーティングにより発生する複数の情報共有の競合 (単一のセンサを複数の情報共有通信が利用する) のスループットを、図 2 に示す検証モデルに基づいて計算した。ここでは Sensor-1 と Sensor-2 がルート-1 を用いた情報共有を実行している時に、Sensor-3 の移動により新たに Sensor-7 と Sensor-8 を迂回するルート-2 が確立される。この時、Sensor-7 と Sensor-8 は、Sensor-6 と Sensor-9 間のルート-3 間を介するセンサとして競合が発生する。計算ではルート-3 の通信発生しない場合に対して、ルート-1 と同じ情報量の情報共有が行われている場合は 27%、× 2~× 8 の情報量では最大で 53% のスループット低下が発生する。また、1000 Packet のデータ送信が完了する絶対時間は最大で 96% の超過が発生する。この結果から、優先度の高い情報共有において再ルーティングが発生する場合には、ルートの優先的な利用が不可欠である事が分った (センサ競合の問題)。

3. チームルーティング方式

利用の目的を救援活動への適用に限定する事により、厳しい通信環境において緊急度の高いセンサ情報共有の優先実行を実現するチームルーティング方式を提案する。これは図 3 に示すように各センサが必ず 1 つのチームに属し、チーム内 (Terminal Level Routing Protocol) と、チーム間 (Team Level Routing Protocol) を分離してルーティングを行う方法である。1 つのチームは展開

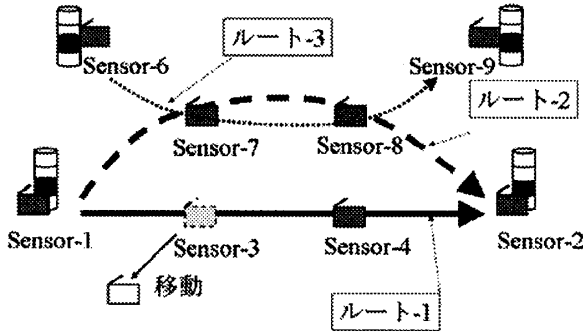


図 2: 再ルーティングにおける競合検証モデル

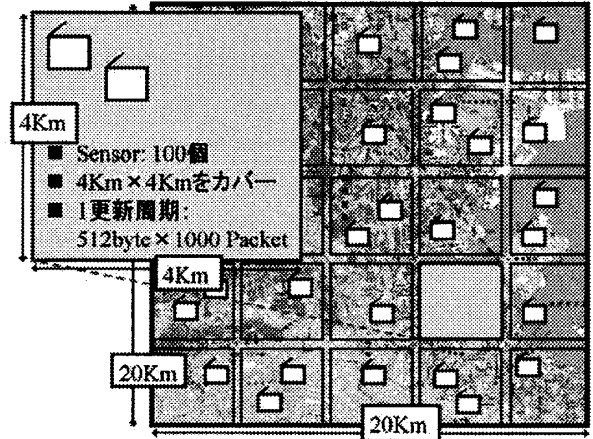


図 4: 救援活動のためのチーム展開

範囲を最大で 4Km x 4Km として、100 個のセンサを配置する単位とする。例えば図 4 に示すように、合計 25 チームが 5 x 5 のメッシュ型に展開する事により、20Km x 20Km の比較的大規模な領域をカバーできる。

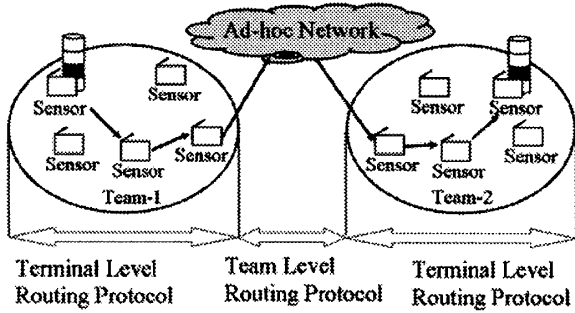


図 3: チームとルーティングプロトコルの関係

Terminal Routing Protocol は、チームのセンサ配置に限定してルーティングを行う。ただし、他チームとの境界となる事が判明したセンサ (境界センサ) は、それ以上の検索に関与しない。また、Team Routing Protocol は境界センサ間のルーティングを行う。チーム間のルーティングテーブルは、各チームに 1 つ用意するリーダーセンサが代表して管理する。これは救援活動では計画的にチーム行動を行うため、予め運用として配置やセンサの利用方法を決定する条件に適している。しかし、チーム間は計画性の無い距離や配置となるため、特にルートの再確立時に配置と競合の問題が顕著になる。以降ではチーム間の再ルーティング手順を議論する。

各チームは図 5 に示すように、予めチーム間の再ルーティングに適した境界センサの配置を行う。図 6 は、ここ行われるチーム間ルーティング手順である。Sensor-10 と Sensor-20 がリーダー端末であり、Sensor-11, Sensor-12, Sensor-22 を利用したルートを用いて情報共有が行われている。この状況で Sensor-12 と Sensor-22 のチーム間のルートが切断した場合、リーダー Sensor-10 は、チーム間ルーティングテーブルに基づいて境界 Sensor を候補に限定して再ルーティングを試みる。この結果、Sensor-11, Sensor-13, Sensor-21 を利用するルートを、無駄な制御

プロトコルの発生を抑えて実現できる。このルートでは予め計画的に配置された境界センサを利用して、ルーティング確立の可能性を調整できる。

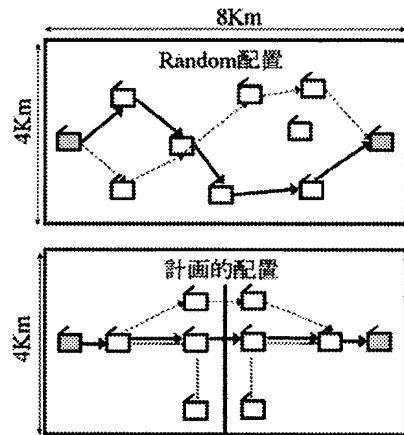


図 5: センサの配置と特徴

この手順では、競合分析機能と有効性分析機能により、センサ情報共有の優先度を制御する。

- 競合分析機能では、高い優先度の情報共有通信の発生時には、リーダーセンサが他の情報共有通信を切断する事により優先的にルートを割り当てる。このため、リーダーセンサは常に同一チーム内の他のセンサから情報共有状況の通知を受ける事により、チーム内の状況を把握する。また、全てのセンサ種別、情報共有のタイミング、共有するセンサ間の関係、及び後述する有効性分析機能に関する情報を要素とする情報共有属性を予め共通に保持する。この結果、リーダーセンサは緊急通信のために確保されるルートの優先的な利用を決定し、関係するセンサへ指示する事ができる。

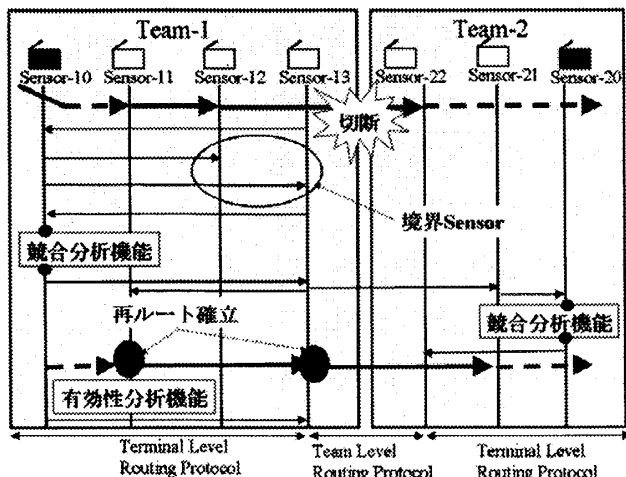


図6: チーム間再ルーティング手順

- 有効性分析機能は、遅延が許容時間を越えている場合は破棄する機能である。図7は情報共有のスケジューリング定義を示す。基本ケースは更新時間と待機時間を1つの更新周期として定周期で実行する通常の動作である。更新周期の開始時間超過の許容時間がケース1、更新時間の超過の許容時間がケース2である。これら更新開始超過許容時間と更新超過許容時間は、情報共有属性に予め定義している。チーム間の再ルーティングを行う Sensor-11 は、この定義を用いて許容時間から外れる情報共有の更新周期を破棄する事により、ルートの最適利用を図る事ができる。

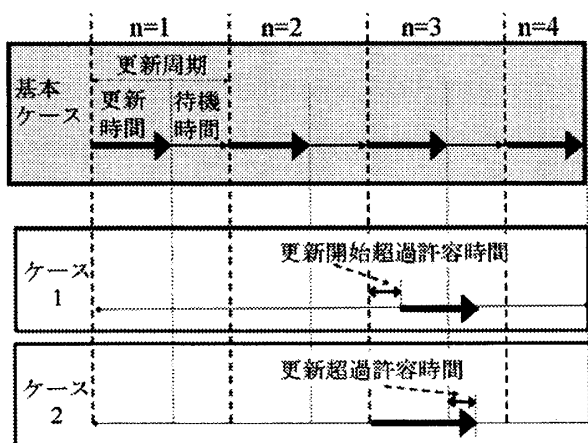


図7: 情報更新のタイミング定義

以上、計画的に行動するチームによる救援活動に適したルーティングプロトコル構成、リーダーセンサによる情報共有属性とチーム内状況の集中管理により、センサの配置と競合の問題を解決して優先度制御を実現する。

4. 考察

チームと同様に端末を Zone としてグループ定義し、Zone 内と Zone 間を分離したルーティングにより制御トラフィックを押さえる方式として、ZRP (Zone-based Routing Protocol)[2] がある。また ZHLS (Zone-based Hierarchical Link State)[3] は、ZRP をベースに GPS (Global Positioning System) を用いた 2 階層型の管理方法の研究である。更に [4] は ZHLS において、システムの大規模化、柔軟な構成を実現するために発生する制御トラフィック増大回避を目的に、Zone を多階層に管理する方式である。Zone は端末の配置位置から分類された空間単位であり、端末が空間を移動した場合でも効率よくルーティングを行う。これに対して、チームは協力してミッション達成を目的に行動する単位である。

表2: 提案方式の考察

	従来方式	提案方式
配置	Random	計画的
接続性	確率的 (低い)	計画的 (高い)
再ルーティング	全体	限定的
公平性	高い	低い
構成自由度	高い	低い

表2は従来方式とチームルーティング方式 (提案方式) の特徴を比較している。提案方式はリーダー端末配置や情報共有属性を予め決定する事により、優先度に基づいた計画的な接続性と再ルーティング性能向上を実現する。これらの特徴は Zone が重視する公平性や、構成の自由度を犠牲にするものである。しかし、限定的な再ルーティングによる制御トラフィック削減、及び、各センサが協力する情報共有に限定したルーティングにより、厳しい通信環境下の救援活動に対応できる。

5. おわりに

本稿では救援活動におけるアドホックネットワーク実現の課題を分析し、これらを解決して優先度制御を実現するチームルーティング方式を提案した。今後は詳細設計と検証を進める予定である。

参考文献

- [1] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬憲一, “アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク”, 信学会論文誌 B Vol. J89-B No.6 pp.811-823 (2006)
- [2] Z.J. Haas, “The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad Hoc Networks”, Internet Draft (1997)
- [3] Mario Joa-Ng, I-Tai Lu, “A Peer-to-Peer Zone-Based Two-Level Link State Routing for Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol 17, No.8 (1999)
- [4] 高橋道人, 萬代雅希, 笹瀬巖, “アドホックネットワークにおける階層依頼型 経路探索を用いた多階層 ZHLS ルーティング方式”, 信学会論文誌 B Vol. J86-B No.10 pp.2107-1226 (2003)