

移動無線ノード群間通信量拡大のための 群内ルーティング手法

鎌塚 茂幸^{1,a)} 熊谷 翔^{1,b)} 桧垣 博章^{1,c)}

概要: これまでに、ゲートウェイ無線ノード間の無線通信リンクを経由してデータメッセージの配送を行なう隣接移動無線ノード群間の通信において、ゲートウェイ無線ノードを順次切り換えることによって、群が保持するより多数のデータメッセージを交換するための群間通信手法を提案した。しかし、無線ノード群間の相対位置の変化とともに、ゲートウェイ無線ノードを切り換える際に、余剰のデータメッセージを群内無線マルチホップ通信によって旧ゲートウェイ無線ノードから新ゲートウェイ無線ノードへと転送することによる通信オーバーヘッドと、この通信と群間無線通信とが互いに干渉することによって、無線ノード群間の通信量が低減する問題がある。本論文では、一時的に隣接する移動無線ノード群間の相対位置が予想可能である場合を対象として、あらかじめ複数のゲートウェイ候補無線ノードに群が互いに隣接する時間で交換可能なデータメッセージを分散格納することによって、移動無線ノード群の隣接時間にゲートウェイ無線ノード間でデータメッセージを交換せず、群間を配送されるデータメッセージ数を増加させる手法を提案し、その群内ルーティングプロトコルを示す。

キーワード: 無線マルチホップ通信, 移動無線ノード群, 間欠的群間通信, ルーティング

Intra-Group Wireless Multihop Routing for Enhancement of Inter-Group Traffic

Abstract: The authors have proposed an inter-group communication protocol where data messages are transmitted from a group of mobile wireless nodes to another for information sharing and advertisement. In order to reduce the interference among neighbor nodes, only the gateway wireless nodes are engaged in the data message transmission between the groups and a dedicated intra-group routing protocol has been designed. However, in the conventional protocol, data messages are transmitted to the current gateway wireless node in a group. In the proposed inter-group communication, as the relative location between the groups changes, the gateway wireless nodes are switched to the other ones. Here, buffered data messages are transmitted from the previous gateway node to the current one and this transmissions conflict to the inter-group transmissions of data messages between the groups. It reduces the inter-group traffic and the reduction should be solved. This paper proposes an extended intra-group communication protocol where the next-hop node of each wireless node is updated according to the amount of free data message buffers in the gateway nodes. Since advertisement of the free data buffers requires high communication overhead, this paper proposes only localized routing update with no additional control messages about the buffer status in the gateway nodes.

Keywords: Wireless Multihop Communication, Group of Mobile Wireless Nodes, Sporadic Inter-Group Communication, Intra-Group Routing.

¹ 東京電機大学未来科学部ロボット・メカトロニクス学科
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

a) kuwatsuka@higlab.net
b) kuma@higlab.net
c) hig@higlab.net

1. はじめに

無線移動ノードから構成されるアドホックネットワークでは、互いに無線信号到達範囲に含まれる隣接移動無線ノード間でのみデータメッセージが交換可能である。この

ような間欠的通信のみが可能な環境におけるデータメッセージの到達性を高める手法に DTN ルーティング技術がある。ただし、単一移動無線ノード対による通信可能時間では十分なデータメッセージ交換ができない場合がある。本論文では、さまざまな移動無線ノードが群を形成して移動することに着目し、群対群の通信手法を導入することによって通信量の拡大を図る。特に、群間通信を担うゲートウェイ移動無線ノード間の通信量を拡大するために、事前にゲートウェイ移動無線ノードに適量のデータメッセージを保持させる群内ルーティング手法を導入することを提案し、そのプロトコルを設計する。

2. 関連研究

移動無線ノードが比較的疎に分布し、必ずしも任意の移動無線ノード対間に無線マルチホップ配送経路が存在しない間欠的なネットワーク環境におけるデータメッセージ配送手法に DTN (Delay-Tolerant Network: 耐遅延ネットワーク) 技術を用いるものがある。各移動無線ノードとの通信機会が限られていることから、各移動無線ノードがネットワークトポロジ情報を広域に取得することは困難である。特に、送信先移動無線ノードの現在位置を取得することが困難であり、局所的あるいは限定的な情報からデータメッセージの転送先を決定する手法が提案されている [7]。これに対して、センサデータ等のデータメッセージを広告、拡散することを目的とした DTN では、データメッセージの送信先移動無線ノードが特定されていないことから、間欠的通信においてもアプリケーションの要求する性能を得ることができる。例えば、観光地域における口コミ情報を共有する DTN [6] や道路渋滞情報をその必要性が相対的に高い車載無線端末へと拡散する DTN [8] が提案されている。

これらの研究では、各移動無線ノードが独立に移動することが前提となっている。しかし、移動無線ノードの移動経路に対する制約やその移動に対する停止/進行の制御等の外的要因や、移動無線ノードが組織的に群を形成している場合など、互いに無線マルチホップ配送接続され、移動無線ノードがほぼ同一の速度を持つことによってその接続性が一定期間以上維持される群として扱うことが可能な場合がある。この場合、同一群に含まれる移動無線ノード間の情報広告、情報拡散は、通常のアドホックルーティングによって実現することができる。一方、ある群に含まれる移動無線ノードが取得、保持する情報を他の群に含まれる移動無線ノードへと広告、拡散するためには、両群のいずれかの移動無線ノード対が通信可能となることが求められる。論文 [2] では、この群間通信を担う移動無線ノードをゲートウェイと呼び、間欠的に隣接する群の相対速度方向に分布するゲートウェイ列を定めることによって、単一移動無線ノード対と比較して通信量を拡大する手法を提案している (図 1)。

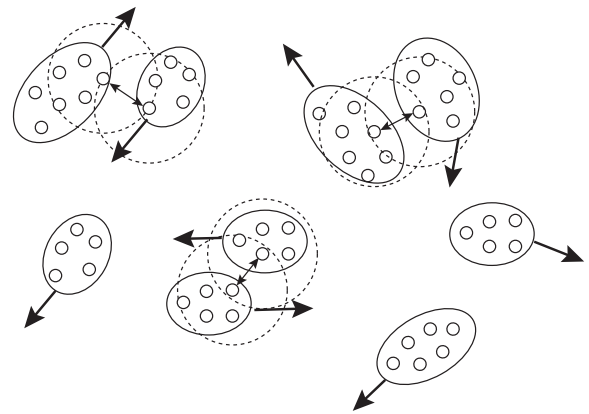


図 1 移動無線ノード群間 DTN 通信.

ここでは、間欠的に接続する無線ノード群間の相対速度を原則として限定しない手法が提案されている。すなわち、ゲートウェイノード列は動的に定めることを可能としている。しかし、道路を互いに逆方向に通過する車両に搭載された車載無線端末群のように、あらかじめゲートウェイノード列を定めることができる場合がある。このとき、各移動無線ノードがデータメッセージを他の群に含まれる移動無線ノードへと広告、拡散するためには、群内ルーティングによってゲートウェイノードのいずれかに配送すればよく、いずれでも構わない。このように、送信先無線ノードに選択の余地があるデータメッセージ配送の典型として、複数のシンクノードのいずれかにデータメッセージを配送することが求められるセンサネットワークが挙げられる。

論文 [1, 4, 5] 等の多くの研究では、シンクノードあるいはセンサノードが移動することを前提として、ネットワークトポロジの変化に応じてデータメッセージの配送先シンクノードを変更する手法が提案されている。ここでは、シンクノードまでのホップ数を指標として、最小ホップ数でデータメッセージが配送可能なシンクノードを配送先シンクノードとしている。論文 [1] では、各シンクノードが定期的にフラッディングを行なうことによって、各無線ノードが各シンクノードまでのホップ数を取得、更新する。データメッセージ配送時には、最小ホップ数で到達可能なシンクノードを選択し、そこに至る次ホップ隣接センサノードへとデータメッセージを転送する。原理原則にかなう手法であるが、定期的なフラッディングのオーバーヘッドは大きい。論文 [4] では、各センサノードがシンクノードまでのホップ数の更新をデータメッセージにピギーバックすることで、データメッセージを傍受した隣接センサノードがホップ数を更新する手法を提案している。データメッセージへのピギーバックにより通信オーバーヘッドを削減しているものの、移動によるトポロジ変動の情報伝達が遅いため、各データメッセージが適切なシンクノードへと配送されるためには、移動速度、移動頻度に強い制約がある場合に限られる。このように、シンクノードの動的な選択においては、

選択の指標となる情報の変化をどのセンサノードに対してどのような手法で通知するかが問題となる。なお、論文 [5] ではシンクノードまでの距離ではなく、配送経路に含まれる中継センサノードの残電力量に基づいてデータメッセージの配送先シンクノードを選択している。

3. 提案手法

本論文では、前章で述べたように、間欠的に隣接する無線ノード群間の相対速度が既知であり、それぞれの群においてゲートウェイノード列が事前に定められていることを前提として、論文 [2] で提案されている手法を改善し、群間通信量を拡大する手法を提案する。また、それを実現する群内ルーティングプロトコルを設計する。論文 [2] では、他の群に広告、拡散するデータメッセージを群の先頭付近に位置し、最初のゲートウェイとなる移動無線ノードへと配送する。そして、送信ゲートウェイの切替えにともなって、群間を未配送のデータメッセージを次のゲートウェイへと転送する手法を用いている (図 2)。しかし、送信ゲートウェイを G_i^s から G_{i+1}^s へと切替える際には未配送データメッセージを転送する必要があり、無線信号が互いに干渉することから、 G_{i+1}^s から受信ゲートウェイ G_j^r へのデータメッセージ転送と並行に行なうことができない。このため、 G_{i+1}^s から G_j^r への通信量が減少する問題がある。

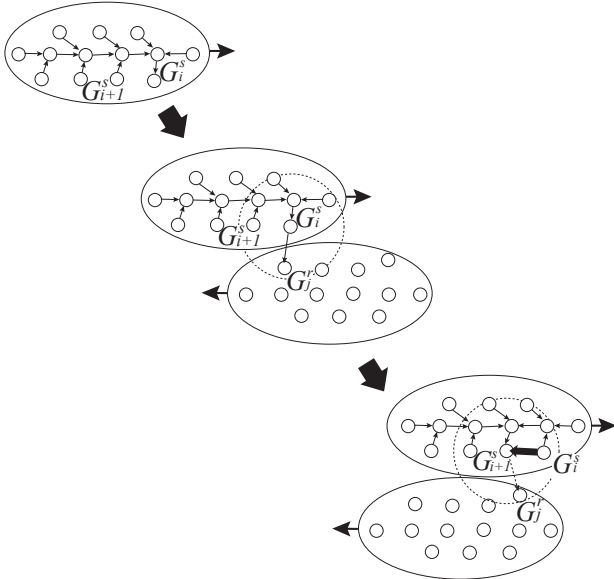


図 2 従来の群間通信のための群内ルーティング。

そこで、各ゲートウェイノードには、間欠的に隣接する無線ノード群のゲートウェイノードに配送可能な容量を限度として、あらかじめデータメッセージを通信バッファに保持しておくこととし、群間の通信時間中には群内のデータメッセージ配送を行なわないことで無線信号の干渉を排除し、群間の通信量を拡大する手法を提案する (図 3)。

ここでは、各無線ノードからはいずれかのゲートウェイ

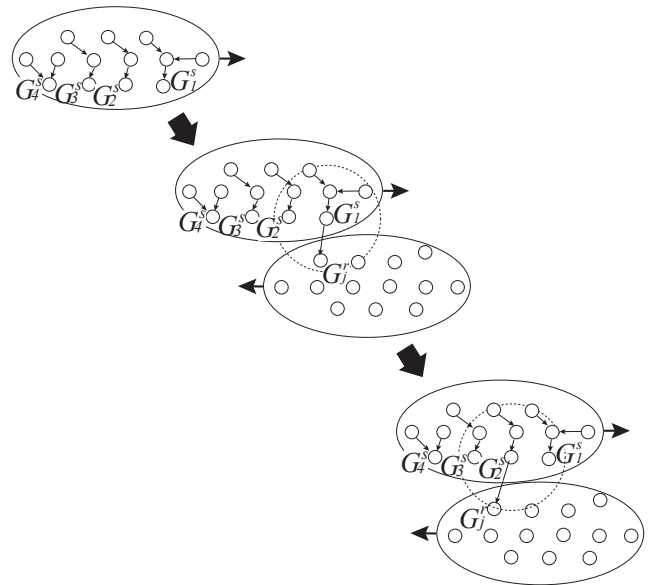


図 3 本論文で提案する群内ルーティング。

ノードへとデータメッセージが配送される。ただし、ゲートウェイの通信バッファに蓄積されたデータメッセージが規定量を越えたならば、そのゲートウェイへはデータメッセージが配送されないような群内ルーティングプロトコルが求められる (図 4)。本論文では TORA [3] の手法を応用することでこの問題を解決する。TORA では、送信先無線ノードからホップ数の増加に対して単調増加する離れ具合の指標を「高さ」として表現し、各無線ノードはデータメッセージをより低い隣接無線ノードへと転送することでデータメッセージの配送を実現する。そこで、本論文でも、各無線ノード N_k に対して、各ゲートウェイノード G_i^s からのホップ数に対して単調増加する高さ $h_i(N_k)$ を定め、これに基づいて N_k の高さ $H(N_k) := H(h_i(N_k))$ ($0 \leq i \leq n-1$) を求める。ここで、ゲートウェイノードから遠方の無線ノードほどゲートウェイ選択の自由度が高いことから、 $h_i(N_k)$ はホップ数に対して上に凸な単調増加関数であることが必要である (図 5)。

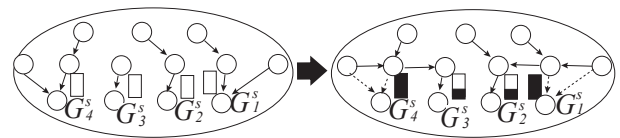


図 4 バッファ残量に基づく群内ルーティング。

ゲートウェイ G_i^s にデータメッセージが配送され、その通信バッファに蓄積されるごとに、 G_i^s への配送が選択されなくなる、すなわち、より他のゲートウェイへの配送指向が高まるよう $h_i(N_k)$ あるいは $H(N_k)$ を増加させることとする (図 6)。ここで、 G_i^s のバッファ量に基づいて $H(N_k)$ を操作する手法を用いるとバッファ量通知に要する通信オーバーヘッドが生じることから、本論文では、追加制御メッセージの導入をせず、自律的な更新手法を適用する。すなわち、

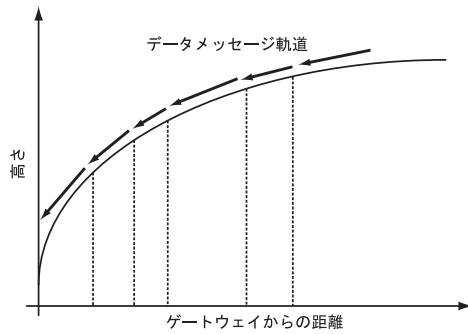


図 5 次ホップ選択指標「高さ」.

データメッセージを転送するごとに無線ノード N_k の位置によらず $H(N_k)$ を δH だけ増加させることとする。データメッセージの配送を他のゲートウェイへと指向させるためには、ゲートウェイに近い無線ノードほど $H(N_k)$ の増加率を高めることが必要であるが、 $H(N_k)$ のデータメッセージ転送頻度もホップ数の逆数に比例して大きくなることから、一定値の増加とする。これによって、各ゲートウェイのバッファ量を反映させた場 $H(N_k)$ を構成することができ、各データメッセージは $H(N_k)$ のより低い隣接無線ノードへとデータメッセージを転送することによって、所望の性質を備えた群内ルーティングが実現する (図 7)。

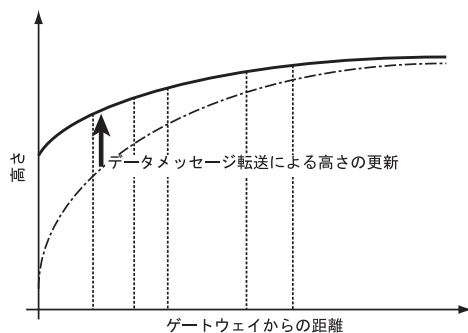


図 6 データメッセージ配送による高さの更新

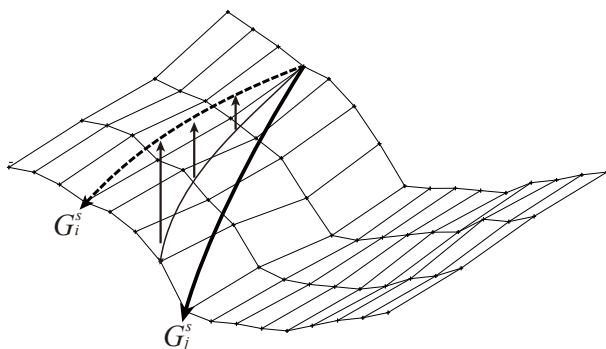


図 7 高さの更新による配送先ゲートウェイの変更

[データメッセージ転送と高さの更新]

- 他の無線ノード群へ配送するデータメッセージを取得した無線ノード N は、高さが最も低い隣接無線ノードへデータメッセージを転送する。このとき、自身の高さを δH だけ増加させるように更新する。もし、自身がゲートウェイノードではなく、すべての隣接無線ノードの高さが自身よりも高い場合にはランダムに選択した隣接無線ノードへデータメッセージを転送する。□

本手法により、データメッセージの転送実績のあるゲートウェイノードおよびそこへとデータメッセージを中継する無線ノードへのデータメッセージの転送を抑制する機構をフラディングのような広域の情報広告、配布を用いることなく実現することができる。

4. まとめ

本論文では、移動無線ノード群間での通信量を拡大する手法として、ゲートウェイノード列のいずれかへとデータメッセージを配送する郡内ルーティング手法を提案した。ここでは、各ゲートウェイノードへ適量のデータメッセージを配送するため、各無線ノードが転送回数により局所的にルーティング情報を更新することとした。提案手法の性能評価が今後の課題である。

参考文献

- [1] Fodor, K. and Vidacs, A., "Efficient Routing to Mobile Sinks in Wireless Sensor Network," Proceedings of the 3rd International Conference on Wireless Internet (2007).
- [2] Higaki, H., "Sporadic Communication Protocol between Clusters of Mobile Computers," Proceedings of the 5th Asian International Mobile Computing Conference, CD-ROM (2007).
- [3] Ohta, T., Fujimoto, M., Inoue, S. and Kakuda, Y., "A Hierarchical Routing Protocol Based on Autonomous Clustering in Ad Hoc Networks," IEICE Transaction on Communication, vol. 86-B, no. 10, pp. 2902-2911 (2003).
- [4] Shi, L., Zhang, B., Mouftah, H.T. and Ma, J., "DDRP: An Efficient Data-Driven Routing Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks," International Journal of Communication Systems, vol. 26, no. 10, pp. 1341-1355 (2013).
- [5] Yang, H., Ye, F. and Sikdar, B., "SIMPLE: Using Swarm Intelligence Methodology to Design Data Acquisition Protocol in Sensor Networks with Mobile Sinks," Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (2006).
- [6] 石丸, 中村, 布川, 黒岩, 高松, 孫, 安本, 伊藤, "DTN 技術を用いた混在型ネットワークにおける口コミ情報配信サービス," 情報処理学会第 17 回マルチメディア通信と分散処理研究会論文集, pp. 115-116 (2009).
- [7] 岩井, 桧垣, "固定基地局を含む無線マルチホップネットワークにおける無線ノード移動計画を用いた DTN 配送手法," 情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 8, pp. 1876-1885 (2014).
- [8] 新川, 木谷, 柴田, 安本, 東野, 伊藤, "メッセージフェリーと車車間通信を併用した渋滞情報収集システムの情報

伝搬効率の改善,” 情報処理学会論文誌, vol. 49, no. 1,
pp. 189–198 (2008).