3U-09

カメラによる周辺移動ノード検出を用いたDTNルーティング

石田 恵太郎 † 桧垣 博章 †
東京電機大学 未来科学部 ロボット·メカトロニクス学科 †

1 はじめに

移動無線ノードが高密度に分布する環境では, 各移動無線ノードとその隣接移動無線ノードとの接続性が高いため, 送信元移動無線ノードから送信先移動無線ノードまでの無線マルチホップ配送経路を構成し, これに沿ってデータメッセージを配送することが可能である. これに対して, 移動無線ノードが疎に分布する環境では, 各移動無線ノードはその移動にともなって間欠的に他の移動無線ノードと隣接し, この隣接する時間にのみ無線アドホック通信によってデータメッセージを交換することができる. これを利用して, 送信元移動無線ノードと送信先移動無線ノードとが直接隣接しなくとも, 隣接移動無線ノード間のデータメッセージ転送とデータメッセージを保持した無線ノードの移動とによってデータメッセージを送信元移動無線ノードから送信先移動無線ノードまで配送する手法がDTN配送である. DTN配送では, 移動無線ノードの隣接時のみがデータメッセージの転送機会であるとともに, 無線ノードの移動情報を取得する機会であることから, データメッセージの到達率や配送遅延が予測できない問題があり, 到達率の向上と配送遅延の短縮を実現する工夫が求められている.

2 関連研究

各無線ノードが自律的に移動し, 偶然に互いの無線信号到達範囲に含まれることによって隣接する移動無線ノード間でデータメッセージを交換するDTN配送において, データメッセージの到達率の向上と配送遅延の短縮を実現する手法として, データメッセージを複製することが提案されている. ここでは, 隣接移動無線ノード間でデータメッセージを転送するとともに, このデータメッセージの保持を継続することで複製を生成する. ただし, 複製データメッセージの配送によるオーバヘッドの増加と複製データメッセージを削除する手法の導入が必要である. Epidemic Routing [3] では, 移動無線ノードの隣接時にデータメッセージを確率的に転送することによりオーバヘッドの増加と配送性能の向上とのトレードオフを実現している. 一方 MoVe [2] では, 隣接移動無線ノード間で移動速度の情報を交換し, 送信先無線ノードにより近づくことが期待される移動無線ノードがデータメッセージを保持するように交換する. さらに, 論文 [4] では, 移動速度情報によるデータメッセージ保持無線ノードの選択とデータメッセージの確率的な複製とを組み合わせる手法が提案されている. また, 論文 [1] では, データメッセージのみではなく各移動無線ノードの移動計画をDTN配送によって配布することで, 複数の移動無線ノード間のデータメッセージ転送を考慮した転送隣接移動無線ノードの選択を可能とすることで, 配送性能の向上を実現している. しかし, いずれの手法においても各移動無線ノードは無線信号到達範囲に含まれる移動無線ノードのみしか検出できないため, データメッセージの転送機会は偶然の隣接によってしか得られないという問題がある.

3 提案手法

データメッセージのDTN配送においては, データメッセージの送信先無線ノードへの到達率の向上, 配送遅延の短縮が求められる. 従来手法では, 隣接移動無線ノードの検出を無線信号到達範囲に含まれることによる制御メッセージの直接的な交換によって実現するため, データメッセージの交換は移動無線ノードが偶然隣接するか, 移動速度や移動スケジュールを含む制御メッセージのDTN配送によって取得される無線ノードの移動情報に基づいて移動速度を変更することによって意図的に隣接することで可能となる. そこで, 本論文では, 移動無線ノードにその周辺に位置する他の移動無線ノードを検出するためのカメラを搭載し, その取得画像から得られる周辺移動無線ノードの相対位置と相対速度の情報から, 移動無線ノードが自身の移動速度を変更することによって隣接する機会を増加し, データメッセージの到達率の向上と配送遅延の短縮を実現する手法を提案する. 一般に, 無線アドホック通信における無線信号到達距離と比較して, カメラによる取得画像を用いた移動無線ノードの検出可能距離の方が長いことから (勿論, 見通し可能である場合に限る), 従来手法では図1のように相互に検出できない移動無線ノード間でのデータメッセージ転送が, 提案手法によって図2のように可能となる. なお, ここでは, 移動無線ノードの外形に関わる画像情報はあらかじめ取得されているものとし, 時刻 t における取得画像からその距離を, 時間 δt をおいて取得された画像からその相対移動速度を推定できることを前提とする.

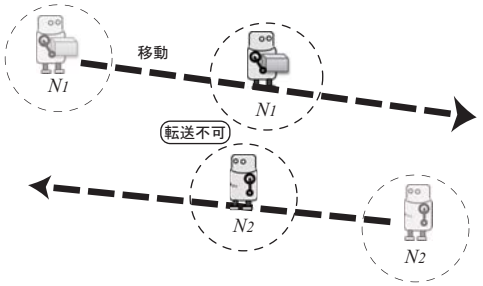

図 1: 従来手法における転送機会の逸失.

DTN Routing by Detection of Neighbor Nodes in Camera View
†Keitaro Ishida and †Hiroaki Higaki
†Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

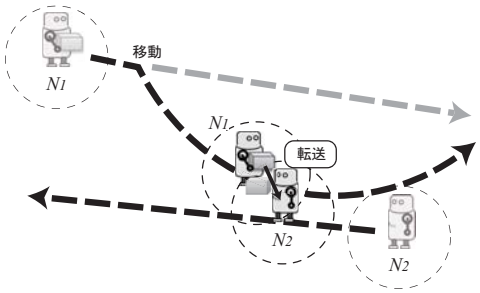

図 2: 提案手法による転送機会の拡大.

図 3 では, 位置 C, D, C' は, 移動無線ノード N の現在位置, 移動目標位置, 移動無線ノード N' の現在位置であり, $L := |CD|$ である. また, N に搭載されたカメラの取得画像から N' の相対位置情報としてノード間距離 $l := |CC'|$ と CD を基準とした相対的な方向 $\theta := \angle DCC'$ を, 時間間隔をおいて取得した画像から N' の相対速度情報として CC' を基準とした相対的な移動方向 φ と速さ V' を取得する. また, N の速さを V, N と N' の無線信号到達距離を r とする. ここで, CD を基準とした N の相対的な移動方向を ξ とするとき, N と N' の距離 $|NN'|$ が r と等しくなる時刻を t (現在時刻を 0 とする) とすると, 以下の関係式が得られる.

$$\begin{aligned}&(l\cos\theta + V't\cos(\theta+\varphi) - Vt\cos\xi)^2\\&\quad + (l\sin\theta + V't\sin(\theta+\varphi) - Vt\sin\xi)^2 = r^2\end{aligned} \tag{1}$$

これは, 以下に示す t についての 2 次方程式である.

$$\begin{aligned}&(V^2 + V'^2 - 2VV'\cos(\theta-\xi+\varphi))t^2\\&\quad - 2l(V\cos(\theta-\xi) - V'\cos\varphi)t + (l^2 - r^2) = 0\end{aligned} \tag{2}$$

これが $t > 0$ である解を持つためには, 方程式 (2) の判別式の値が 0 以上でなければならない.

$$\begin{aligned}D/4 = {}& l^2(V\cos(\theta-\xi) - V'\cos\varphi)^2\\&-(V^2+V'^2-2VV'\cos(\theta-\xi+\varphi))(l^2-r^2) \geq 0\end{aligned} \tag{3}$$

これを整理すると以下のようになる.

$$\begin{aligned}&l^2(V sin(\theta-\xi) + V'\sin\varphi)^2 \leq r^2 A\\&\quad \text{ただし } A = V^2 + V'^2 - 2VV'\cos(\theta-\xi+\varphi)\end{aligned} \tag{4}$$

また, 方程式 (2) の t^2 の係数および定数項について以下が成り立つ.

$$\begin{aligned}A &= V^2 + V'^2 - 2VV'\cos(\theta-\xi+\varphi)\\&> V^2 + V'^2 - 2VV' = (V - V')^2 \geq 0\end{aligned} \tag{5}$$

$$l^2 - r^2 < 0 \tag{6}$$

したがって, 方程式 (2) の t の係数が負であればその解はともに正である. $l > 0$ であることから次式が得られる.

$$V\cos(\theta-\xi) > V'\cos\varphi \tag{7}$$

以上の考察により, (4) と (7) を満足するように ξ を定めることで, N と N' は互いに無線信号到達範囲に含めるように移動することが可能である.

ξ が上述の条件を満たすとき, 最初に $|NN'| = r$ となる時刻 $t_0 > 0$ は次式で与えられる.

$$\begin{aligned}t_0 = {}& \frac{1}{A}(l(V\cos(\theta-\xi) - V'\cos\varphi)\\&-(r^2A^2 - l^2(V\sin(\theta-\xi) + V'\sin\varphi)^2)^{1/2})\end{aligned} \tag{8}$$

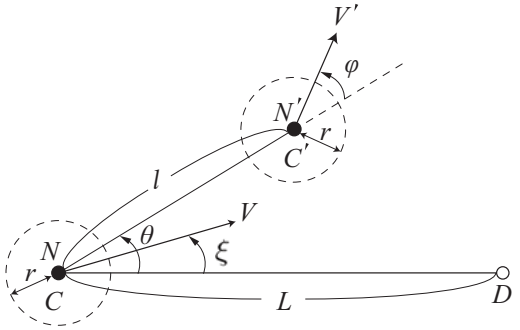

図 3: 移動方向変更による周辺移動無線ノードとの隣接.

ここで, N と N' との間でデータメッセージの必要な交換を行なった後に D に向けて移動しなければならない. そこで, N が N' と隣接するために移動方向を ξ だけ変更することによる D への到着時刻の遅延 T は ξ の関数である.

$$\begin{aligned}T(\xi) &= t_0 + \frac{1}{V}((Vt_0\sin\xi)^2 + (L - Vt_0\cos\xi)^2)^{1/2} - \frac{L}{V}\\&= t_0 + \left(t_0^2 - \frac{2L}{V}t_0\cos\xi + \left(\frac{L}{V}\right)^2\right)^{1/2} - \frac{L}{V}\end{aligned} \tag{9}$$

N がその移動方向を変更する条件として T が閾値 T_{th} 以下であると定めることが考えられる. この場合, (4) と (7) を満足する範囲の ξ のうち $T(\xi) < T_{th}$ を満足する ξ が存在するならば, その ξ によって N の移動方向を変更することで, 移動による時間オーバヘッドと隣接機会の拡大による配送性能の向上とのトレードオフを実現することができる.

4 まとめと今後の課題

本論文では, 移動無線ノードに搭載したカメラによる取得画像により周辺移動無線ノードの相対位置と相対速度を取得し, 移動無線ノードが移動方向を変更することによって移動無線ノード間の隣接機会を拡大し, データメッセージの到達率の向上と配送遅延の短縮を実現する手法を提案した. ここでは, 移動方向の変更によって隣接が可能であるための条件と移動方向の変更によるオーバヘッドの拡大を閾値以下とするための条件を明らかにした. 今後は, 本手法の適用効果をシミュレーション実験することによって, 設定する閾値と配送性能改善との関係を評価する.

参考文献

[1] Chigira, Y. and Higaki, H., “DTN Routing with Localized Distribution of Mobility Plans,” Proceedings of the 10th International Conference on Wireless Networks, pp. 31–316 (2011).

[2] Lebrun, J., Chuah, C.N., Ghosal, D. and Zhang, M., “Knowledge-Based Opportunistic Forwarding in Vehicular Wireless Ad Hoc Networks,” Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 4, pp. 2289–2293 (2005).

[3] Vahdat, A. and Becker, D., “Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks,” Technical Report CS-200006, Duke University (2000).

[4] Zeng, Y., Xiang, K., Li, D. and Vasilakos, A. V., “Directional Routing and Scheduling for Green Vehicular Delay Tolerant Networks,” Wireless networks, vol. 19, no. 2, pp. 161–173 (2013).

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.