

## 地図情報に基づく DTN ルーティングにおける交差点配送の性能評価\*

東京電機大学大学院 理工学研究科 情報システム工学専攻<sup>†</sup>  
岡 啓明己 松垣 博章<sup>‡</sup>

### 1 背景と目的

無線通信デバイスを備えた各移動コンピュータが限られた無線送信電力を用いることを前提とし、直接通信不可能な距離だけ離れている移動コンピュータ間は中継移動コンピュータによるデータメッセージ群の順次転送を用いる無線マルチホップ配送技術が提案され、アドホックネットワーク構成の重要な基礎技術となっている。しかし、無線マルチホップネットワークの適用環境のコンピュータ分布が疎である場合には、送信元移動コンピュータと送信先移動コンピュータとがほとんどマルチホップ接続しないことが考えられる。このような場合においては、移動コンピュータがデータメッセージ群を保持して移動することによって、データメッセージを送信先移動コンピュータに到達させることができある。このようなデータメッセージ配送技術を適用したネットワークは DTN (Delay Tolerant Network) と呼ばれる [1]。

論文 [2] では、カーナビゲーション機能を備えた車載移動コンピュータ群からなる無線マルチホップネットワークを対象として、隣接移動コンピュータ間の無線通信によるデータメッセージ転送とデータメッセージを保持したコンピュータの移動との組合せによる到達性の高い無線マルチホップ通信手法を提案している。ここでは、配送経路を部分道路列として与える手法を導入する。そして、位置で指定される送信先までのデータメッセージのマルチホップ配送経路をカーナビゲーションシステムの経路探索機能を用いて検出する。移動コンピュータの分布が疎である環境に適用するために、転送先車載移動コンピュータが存在しない場合にはデータメッセージを保持したまま移動する。このとき、交差点の通過によってデータメッセージを保持した車載移動コンピュータが配送経路を逸脱することがあり、データメッセージ到達率の低下や配送遅延の拡大が問題となる。本論文では、交差点とこれを通過した車載移動コンピュータとの間の距離を経路再探索の適用基準として用いる手法を提案し、データメッセージを保持した車載移動コンピュータの交差点通過における配送性能を実験評価する。

### 2 道路地図を用いた DTN ルーティング

#### 2.1 ルーティング手法

本論文では、車載移動コンピュータを中継移動コンピュータとする無線マルチホップ配送の実現手法を対象とする。また、送信先は位置で指定するものとする。車載移動コンピュータから送信された無線信号は、その到達範囲内に含まれるすべての隣接車載移動コンピュータによって受信される。データメッセージの無線マルチ

ホップ配送では、データメッセージの転送先としてこれらの隣接車載移動コンピュータのうちの 1 台が選択される。一般的アドホックルーティングプロトコルに基づくデータメッセージ配送を適用する場合には、この選択がそれぞれの隣接車載移動コンピュータが存在する道路とは独立になされる。車載移動コンピュータの分布が疎である場合、データメッセージを受信した車載移動コンピュータが次ホップ移動コンピュータを決定できることがあり、このデータメッセージを保持したまま移動する。このコンピュータの移動先をあらかじめ知ることができないため、データメッセージ配送のエンドエンド配送遅延の拡大や到達率の低下を招くことになる。

論文 [2] では、データメッセージ配送経路を部分道路列として与え、この部分道路列に含まれる車載移動コンピュータがデータメッセージを順次マルチホップ転送する手法を提案している。データメッセージ配送に用いる部分道路列は、送信元車載移動コンピュータの位置と送信先の位置とから、カーナビゲーションの経路探索機能によって決定する。転送されたデータメッセージを受信した車載移動コンピュータは、自身の無線信号到達範囲に含まれる隣接車載移動コンピュータのうち、送信先までの部分道路列に含まれる自身よりも送信先に近い隣接車載移動コンピュータへデータメッセージを転送する。このような隣接車載移動コンピュータが存在しない場合には、それを検出可能となるまでデータメッセージを保持したまま移動する。

#### 2.2 交差点区間での転送

車載移動コンピュータが疎に分布する場合、データメッセージを保持する車載移動コンピュータ  $V_i$  が次ホップ車載移動コンピュータを決定できないまま交差点  $X_i$  を通過することが考えられる。 $V_i$  が  $X_i$  通過後も道路  $R_i$  上を移動し続ける場合、データメッセージは経路を逸脱して配送されていることになる。しかし、このときも通常のデータメッセージ転送手順に従うことによって、データメッセージは  $R_{i+1}$  上の隣接車載移動コンピュータもしくは  $V_i$  よりもより  $X_i$  に近い  $R_i$  上の隣接車載移動コンピュータへと転送されることから、データメッセージは経路に戻されるように配送される(図 1)。ただし、車載移動コンピュータの分布密度

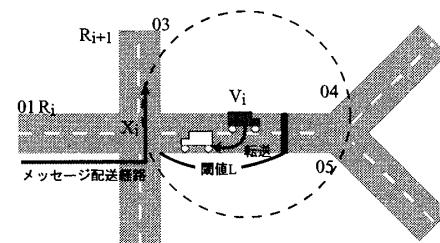


図 1: 転送と移動による経路への復帰

\*Performance Evaluation of Data Message Transmissions through Intersection in DTN Routing based on Road Maps

<sup>†</sup>Tokyo Denki University

<sup>‡</sup>Hiroaki Oka and Hiroaki Higaki

が低い場合、データメッセージを配送経路に戻すのが困難である。

そこで、 $X_i$  から配送経路を逸脱して  $V_i$  がデータメッセージを保持したまま移動した距離が閾値  $L$  を超えた場合には、データメッセージを配送経路に戻すよりも  $V_i$  のカーナビゲーションによって配送経路を再探索し、新たに検出された経路に沿ってデータメッセージを配送することによって、配送遅延を短縮することが期待される（図 2）。このとき、 $L$  の設定が大きすぎる場合には、配送遅延を拡大することが考えられ、一方、 $L$  の設定が小さすぎる場合には、データメッセージを配送経路に戻すことなく頻繁に経路再探索を行なうこととなる。

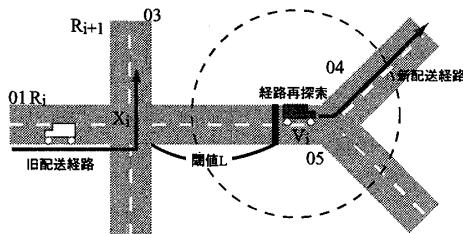


図 2: 経路再探索

### 3 交差点での転送性能評価

前章で述べたように、データメッセージ配送遅延の無用な拡大を防止する一方、無用に頻繁な経路再探索（すなわち経路変更）を行なわないためには、閾値  $L$  を車載移動コンピュータの分布密度や移動速度に応じて適切に定めることが必要となる。そこで、本章では  $L$  の与える経路再探索の頻度と配送遅延への影響をシミュレーション実験によって評価する。

実験環境は、交差点  $X_i$  で直交する 2 本の直線道路  $R_i$  と  $R_{i+1}$  とする。道路の長さはいずれも 5,000m であり、互いの中点に  $X_i$  があるものとする。データメッセージ配送経路には  $X_i$  を共有する  $R_i$  と  $R_{i+1}$  を含むものとする。車載移動コンピュータの無線信号到達距離は 100m とし、平均到着間隔 30 秒-180 秒のポアソン過程に従ってそれぞれの道路に到着する。各車載移動コンピュータの移動速度は、40km/時-60km/時の一様分布乱数で定めるものとする。データメッセージを保持した車載移動コンピュータが  $R_i$  上を  $X_i$  から閾値  $L$  を超えて移動した場合には、経路再探索を行なうこととした場合、 $L$  を 0m-2,000m の範囲で変化させたときに経路再探索を行なうことなくデータメッセージを  $R_{i+1}$  上の隣接車載移動コンピュータへ転送できる確率と転送に要する時間とを測定する。

測定結果をそれぞれ図 3 と図 4 に示す。図 3 に示すように、データメッセージ到達率は、 $L$  の拡大に対して単調に上昇する。また、車載移動コンピュータの平均到着間隔の短縮に対しては、車載移動コンピュータの配置密度が高くなることから、データメッセージ到達率が単調に上昇する。ここで、 $L$  を車載移動コンピュータの無線信号到達距離である 100m よりも短く定めた場合には、頻繁に経路再探索がなされる。また、車載移動コンピュータの平均到着間隔が長いほど  $L$  も長く設定することが必要である。

一方、図 4 に示すように、データメッセージの配送

遅延時間は、 $L$  に対して単調に延長し、車載移動コンピュータの平均到着間隔に対しても単調に延長している。 $L$  を長く定めるほど経路再探索を行なうことなく配送経路を逸脱したデータメッセージを配送経路へ復帰させる手続きを長時間継続するために配送遅延時間は延長するが、 $L = 1,000m$  近辺から配送遅延時間の延長が大きくなっている。したがって、無用に配送遅延を延長させないためには、 $L < 1,000m$  と定めることが必要である。

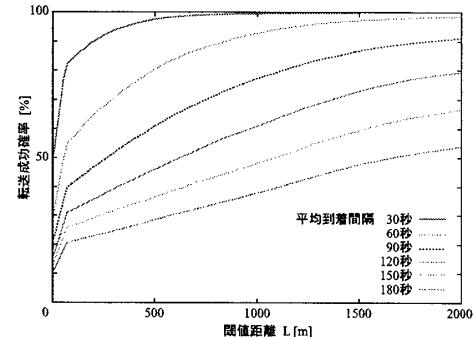


図 3: 転送成功率

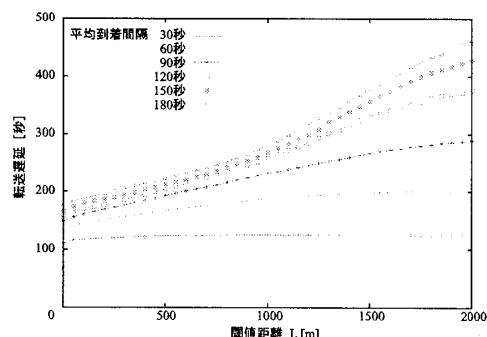


図 4: 転送遅延

### 4 まとめ

本論文では、車載移動コンピュータによるデータメッセージの DTN 無線マルチホップ配送において、配送経路をカーナビゲーションシステムの経路探索機能によって検出し、この経路上にある車載移動コンピュータのみによってデータメッセージを中継する手法について、データメッセージを保持した車載移動コンピュータがデータメッセージを転送することなく交差点を通過することによるデータメッセージの到達率低下と配送遅延拡大の問題について検討した。そして、経路再探索の基準を交差点からの距離によって定めることを提案し、その距離が車載移動コンピュータの密度（到着頻度）と移動速度に依存することをシミュレーション実験によって明らかにした。

### 参考文献

- [1] Forrell, S. and Cahill,V., "Delay- and Disruption-Tolerant Networking," Artech House (2006).
- [2] 岡, 桧垣, "道路地図を利用した DTN ルーティング手法," 信学技報, Vol. 109, No. 102, pp. 49-54 (2009).