

プローブエpidemick伝送を用いた迷子捜索における通信許可領域決定に関する考察  
 A Consideration on Decision of Communication-Permitted Area  
 in Lost Child Search Using the Probe Epidemic Transmission

玉井 拓之<sup>†</sup>      柄沢 直之<sup>†</sup>      山崎 達也<sup>†</sup>      中野 敬介<sup>†</sup>  
 Hiroyuki Tamai   Naoyuki Karasawa   Tatsuya Yamazaki   Keisuke Nakano

## 1. はじめに

町中で直接連絡する手段のない迷子を検索、保護したいとき、捜索者は不特定多数の一般人に迷子情報を配布し、迷子を見かけたら通報するよう求めることが考えられる。しかし捜索者一人では多くの人に迷子情報を配布することが困難なため、迷子情報を広い範囲に配布するにはより多くの人に情報拡散に協力してもらう必要がある。

このような状況で迷子情報を拡散させる方法の一つとしてエpidemick伝送があげられる<sup>[1]</sup>。エpidemick伝送は、情報を持つ端末が移動しつつ、直接無線通信によって他の端末へと情報のコピーを伝送する。これを繰り返すことで情報を拡散していく情報伝送方式である。エpidemick伝送は端末の移動によって情報を運ぶ性質から、比較的長い遅延時間を許容する遅延耐性ネットワーク (Delay Tolerant Network: DTN)<sup>[2]</sup>において用いられる。

しかし、エpidemick伝送は情報を受信したすべての端末が情報をコピーし伝送する権利を持つため、情報拡散は早い一方でネットワーク全体のトラフィック量が大きくなり、通信リソースの圧迫や各端末のバッテリーの消耗につながる。このため捜索時間の悪化を防ぎつつ、過度の情報拡散はできるだけ抑制する必要がある。

エpidemick伝送による情報拡散を適度に抑制しつつ、効果的に情報を伝送する方法として、プローブエpidemick伝送が提案されている<sup>[3][4]</sup>。プローブエpidemick伝送では、サービスエリアを仮想的な小領域に分割し、仮想領域ごとに端末の位置や交通量といった情報をプローブデータとして収集する。そして得られたプローブデータを用いて、仮想領域ごとにエpidemick伝送による情報伝送の可否を制御することで、エpidemick伝送の通信特性を改善する情報伝送方式である。ここで情報伝送の許可された仮想領域を通信許可領域と呼ぶ。また通信許可領域内ではエpidemick伝送によって情報の授受が継続され、後から領域を訪れた端末も情報を受け取ることができる。このように地理的な領域に情報が滞留する現象を情報滞留<sup>[4][5]</sup>と呼ぶ。

本報告では迷子捜索にプローブエpidemick伝送の導入を試み、迷子情報を配布する通信許可領域をプローブデータに基づいて決定する手法を検討する。これによって捜索時間の悪化を防ぎつつ過度の情報拡散を抑制できることを、計算機シミュレーションによって示す。

## 2. プローブデータを用いた通信許可領域の決定

提案する通信許可領域の決定手法を説明する。本報告ではプローブデータとして各仮想領域の端末流入量 $N_{ti}$ を収集し、これに基づいて $N_d$ 個の通信許可領域を決定する。

<sup>†</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science & Technology, Niigata University

## 2.1 方法 1

方法 1 は、全体から端末流入量が大きい仮想領域の順に $N_d$ 個の通信許可領域を配置していく。方法 1 では全域から端末流入量の大きい順に通信許可領域を決定するため、すべての通信許可領域で情報滞留が維持された場合に最も多くの人に迷子情報を配布でき、捜索時間の悪化を防げると期待できる。

## 2.2 方法 2

方法 2 は、端末流入量の最も大きい仮想領域 $R_1$ を通信許可領域に設定する。さらに $R_1$ の周囲を隙間なく囲むように、 $R_1$ から仮想領域 $d_1$ 個分だけ離れた位置にある仮想領域も通信許可領域に設定する。

$R_1$ で迷子情報を受け取った端末は、 $R_1$ を囲むように配置された通信許可領域を必ず通過し、迷子情報を拡散させる。このとき囲みの中に新たに進入する端末はその際に迷子情報を受け取ることから、見かけ上の通信許可領域の数が大きくなり、捜索時間の悪化を防げると期待できる。一方で、 $R_1$ を囲むように通信許可領域を配置するとき、必ずしもその仮想領域で端末流入量が大きいとは限らない。このため方法 2 では、端末流入量が小さく迷子情報の拡散に寄与しない仮想領域に通信許可領域を配置する可能性が高い。

## 2.3 方法 3

方法 3 は、端末流入量 $N_{ti}$ の最も大きな領域 $R_1$ と、それを隙間なく囲むように $R_1$ から仮想領域 $d_2$ 個分だけ離れた領域を通信許可領域に設定する。さらに通信許可領域が重ならないように、 $R_1$ から $2d_2$ より離れた中で $N_{ti}$ の最も大きい仮想領域 $R_2$ 、及びそれを囲むように $R_2$ から仮想領域 $d_2$ 個分だけ離れた仮想領域を通信許可領域に設定する。以下、配置した通信許可領域の総数が $N_d$ に達するまでこれを繰り返す。

方法 3 では、 $R_1$ の周囲を囲むように通信許可領域を配置することで見かけの通信許可領域を増やすことに加え、方法 2 に対して $R_1$ の周囲に配置される通信許可領域の囲みを小さくすることで、端末流入量の小さい領域に通信許可領域が配置される可能性を低減している。

## 3. シミュレーション実験における仮定

上記の提案手法を計算機シミュレーションによって評価する。本章ではシミュレーションにおける仮定を述べる。

### 3.1 ネットワークモデル

ネットワークモデルを図 1 に示す。サービスエリアは $1500 \times 1500m$ の正方形領域であり、その中を $50m$ 間隔で格子状に道路が走っている。サービスエリアは交差点ごとに直径 $50m$ の円形の仮想領域が設定され、道路を隙間なく覆っている。サービスエリア内には、観光地のように特定の

領域でのみスポット的に端末流入量が大きくなるような交差点 $S_i$ が、ランダムな場所に $S$ 個設置される。

### 3.2 エージェント

エージェントは迷子、探索者、一般人があり、各エージェントはサービスエリア内の道路上を所定のアルゴリズムに従って移動する。

迷子はランダムな交差点にただ一つ配置され、シミュレーションを通じて交差点から交差点へとランダムウェイポイントでの移動のみを繰り返す。

探索者はシミュレーション開始時に最も端末流入量の大きい仮想領域の交差点に配置され、通報を受けていない状態では交差点から交差点へとランダムウェイポイントでの移動を繰り返す。一般人から通報を受けた場合は即座に通報地点に移動し、一定時間その周囲で迷子を探索する。迷子が見つからず新たな通報もない場合は、再びランダムウェイポイントでの移動を繰り返す。探索者は自身が通信許可領域内にいるとき、通信半径 $r_t = 10m$ 内にいる他の一般人に迷子情報を送信する。探索者が迷子と半径 $r_v = 10m$ 以内に接近した場合、シミュレーションは終了する。

一般人は到着率 $\lambda$ でランダムな端点にポアソン分布に従って到着し、別の端点へと最短路を通って離脱する。このとき一般人は確率 $P_t = 0.4$ で所定の交差点 $S_i$ のいずれかを必ず経由する。一般人が迷子情報を持っており、かつ通信許可領域内にいるときは、通信半径 $r_t = 10m$ 内にいる他の一般人に迷子情報を送信する。また迷子情報を保有する状態で迷子と半径 $r_v = 10m$ 以内に接近したとき、確率 $P_n = 0.5$ で自分が現在いる座標を即座に探索者に通報する。

### 4. シミュレーション結果

$S = 3$ とした場合の各方法の探索時間を図2に、単位時間当たりの迷子情報送信回数を図3に示す。なお方法1~3との比較のため、通常のエpidemic伝送を用いた場合及び、 $N_d$ 個の通信許可領域をランダムに配置する場合のシミュレーションも行い、それぞれ epidemic, random で記す。

図2及び図3の結果より、プローブエpidemic伝送を用いることで探索時間の悪化を防ぎつつ、さらに迷子情報の拡散を抑制できていることが分かり、提案手法の有効性が確認できる。また方法1から3の中では方法1で最も探索時間の悪化が小さい。これは方法1が仮想領域の中から端末流入量 $N_{ti}$ の大きい順に通信許可領域を決定するため、方法2, 3に比べ迷子情報の拡散に寄与しない領域に通信許可領域を配置することが少ないためだと考えられる。

### 5. おわりに

本報告では、連絡手段を持たない迷子の探索にプローブエpidemic伝送の導入を試み、プローブデータに基づく通信許可領域の決定手法を検討した。またこれによって探索時間の悪化を防ぎつつ、情報拡散を適度に抑制できることを計算機シミュレーションによって確認した。

#### 参考文献

[1] A. Vahdat, D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks", Technical Report, Duke University (2000).  
 [2] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets", Intel Research Technical Report, IRB-TR-03-003 (2003).

[3] 加藤 新, 宮北 和之, 中野敬介, "DTNにおける統計情報を利用したエpidemic伝送に関する考察", 信学技報, CS2012-122, Vol.112, No.484 (2013).  
 [4] 柄沢 直之, 中野 敬介, 宮北 和之, 笠木 響介, 田村 裕, "プローブエpidemic伝送による情報滞留について", 日本シミュレーション学会論文誌, Vol.7, No.4 (2015).  
 [5] A. V. Castro, G.D.M. Serugendo, D. Konstantas, "Hovering Information - Self-Organising Information that Finds its Own Storage", BBKCS-07-07, Technical Report, School of Computer Science and Information Systems, Birkbeck College, London, UK (2007).

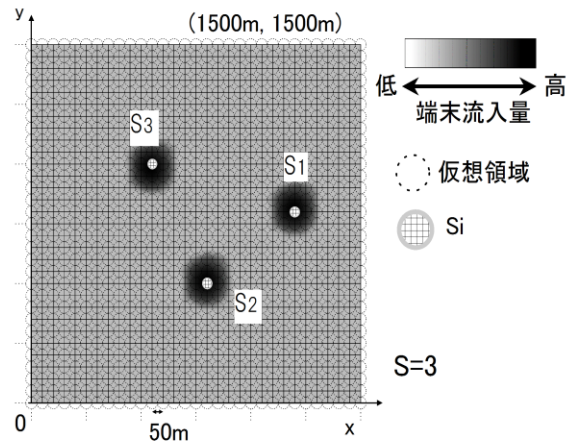


図1 ネットワークモデル

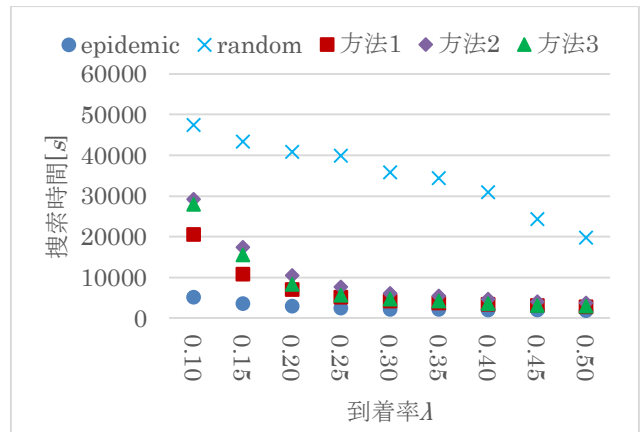


図2 探索時間

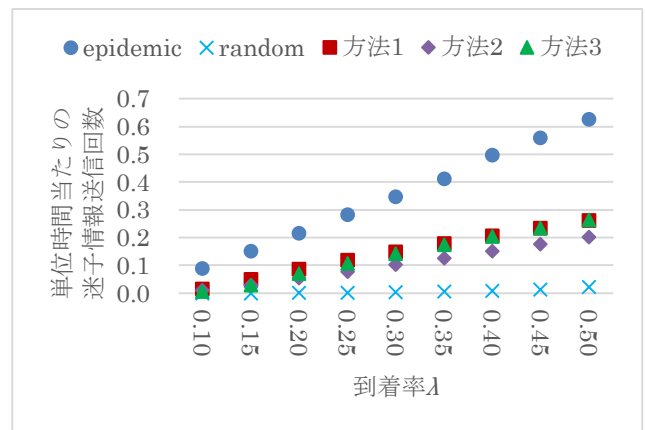


図3 単位時間当たりの迷子情報送信回数