

アドホックネットワークにおける位置依存情報配布のための 中継ホスト選択手法

沖野智幸[†] 峰野博史[‡] 石原 進^{*} 水野忠則[‡]

[†]静岡大学大学院情報学研究科 [‡]静岡大学情報学部 ^{*}静岡大学工学部

Relay host selection for distributing location dependent information on ad-hoc network

[†]Tomoyuki Okino [‡]Hiroshi Mineno ^{*}Susumu Ishihara [‡]Tadanori Mizuno

[†]Graduate School of Information, Shizuoka University

[‡]Faculty of Information, Shizuoka University ^{*}Faculty of Engineering, Shizuoka University

1 はじめに

近年、無線移動端末などを用いて通信インフラの無い場所に一時的にネットワークを構築できる無線アドホックネットワークが注目されている。以下、本稿で対象とするアドホックネットワークは無線アドホックネットワークであるものとする。アドホックネットワークでは、通信を行う端末同士が直接通信可能でない場合でも、他の端末を中継することで通信可能である。一方で、端末の移動によって接続が失われたり、ネットワークトポロジの変化によって通信性能が大きく変動するという性質を持つ。

筆者らは緊急・災害時に移動端末を用いてアドホックネットワークを構築し、詳細な地域情報を収集するシステムを検討している。アドホックネットワークの性質上、端末の移動や無線リンクの状態の変化により端末間の接続性が保証されない。そこで、各端末に複製データを持たせることで各データの可用性を高める複製配布方式が提案されている [1][2]。筆者らはデータへのアクセス頻度が、データに関連づけられた位置と端末の位置関係によって決まる場合を前提に、データの複製をそのデータを取得した端末の位置周辺にまばらに配置する複製管理手法・Skip Copy(SC)方式を提案している [3]。SC方式はデータの冗長度を低く抑えつつデータへのアクセス成功率を高めている。しかし SC方式では、位置依存情報の複製の配布、ならびに位置依存情報の探索のためにフラッシングを多用する。そのため、端末が密集する状況において複製配布を行うと必要以上の無駄なデータ送受信のために電力を浪費してしまったり、無線チャネルの競合により通信性能が低下してしまうといった問題点がある。災害時などの環境では、ライフラインが切断されている可能性が高く、移動端末の充電を十分に行うことはできない。そのため、情報収集などを充電無しで遂行できることが望まれ、複製配布に関わる電力消費は最低限に抑える必要がある。

アドホックネットワークにおける省電力化技術、ならびに効率的なフラッシング手法に関しては、[4][5]をはじめ多くの研究が行われている。一方、本研究は、地理に依存した情報を指向して、端末および取り扱う情報に関連した位置情報を基に効率的な複製配布手法を検討するものである。

本稿では、複製配布時に各端末の位置情報を基に、端末の接続性を考慮しながらデータの中継する端末を制限することで、複製配布時の電力浪費を削減する中継ホスト選択手法を提案する。端末が密集する場合においてすべての端末がデータの中継を行う必要は無く、この中継端末を制限することで電波干渉やトラヒックの削減が期待できる。

2 位置依存情報複製配布方式

2.1 位置依存情報

アドホックネットワークの応用の一例として、緊急・災害時における情報収集交換ネットワークが考えられる。例えば、災害発生時の地域情報収集において、消防隊や救急隊員が携帯端末を持ち、救助活動を行いつつ事故現場の画像や救助者リストなどの情報を取得し、アドホックネットワーク通信によりほかの隊員と交換することで、より早く災害地域の被害状況を知ることができるシステムが考えられる。ここで想定しているような状況では、ある位置に依存した情報はその位置から比較的近い場所に位置するユーザから利用される頻度が高いと推測される。例えば、救助を行うときにはその現場の状況を正確に把握している必要があり、救急隊員は救助に向かう前にその現場の情報を調べる可能性が高い。また、隊員が救助活動を安全に行うためには、隊員のいる場所周辺の状況を把握しておくことが望ましい。従って、隊員は近隣の情報にアクセス、利用することが多いと考えられる。また、「 \times 町の被害状況」のような情報はその該当する場所にいる人にとって利用価値が高く、情報はその存在する位置に依存している。本稿では、特定の位置に関連づけられ、かつそれがその位置により近い位置にいる利用者から頻繁に利用される情報のことを位置依存情報と呼ぶこととする。

2.2 Skip Copy(SC)方式

アドホックネットワークでの接続性が失われた場合でもデータへのアクセスを可能にするための方法として、複数端末への複製配布がある [1][2]。複製配布によるデータ可用性の向上効

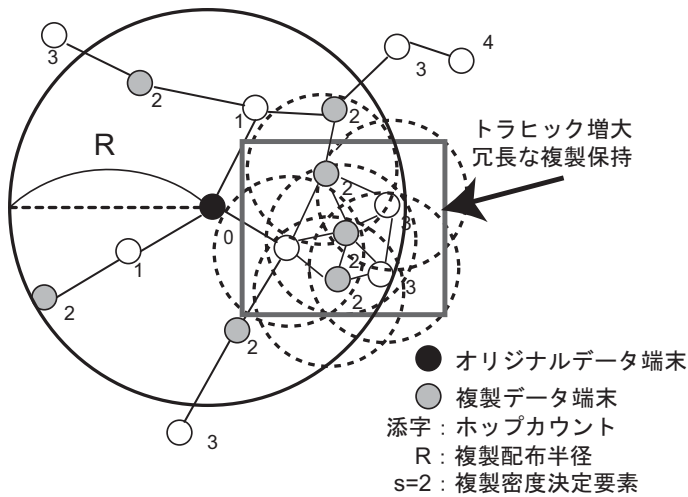


図 1: SC 方式による複製配布

果を高めるには、データの利用頻度に応じてデータ転送時のコストが少なくなるように複製を適当な端末に配置することが望ましい。

SC 方式の概要

データの利用頻度がデータと端末の位置情報に依存して決まる場合、各端末における各データへのアクセス頻度は端末の移動に応じて変化する。一方、特定の位置からのデータへのアクセス頻度は変わらない。そこで、SC 方式では、データの発生と同時に複製をデータ発生端末の周辺に配布し、その後は、データへのアクセスがあった場合にその複製を転送する段階で、それを中継する端末の位置とデータの関連する位置関係に基づいて、複製の再配置を行う。この再配置により端末が元の位置から移動しても、データに関連する位置周辺には常にそのデータの複製が配置され続けることとなる。この結果、データへのアクセス頻度の高い端末の周辺にデータの複製が配置されることになるため、データへのアクセス時にその転送にかかるコストを小さくしつつ、データへのアクセス成功率を高めることができる。SC 方式では複製の配置される端末を端末とデータの関連する位置関係に加え、データ転送時におけるホップ数を考慮して、複製の地理的な密度を調整する。そのようにすることで、過度に複製を配布することを防ぎ、結果として多くの種類のデータの複製を扱うことができるようになり、システム全体のデータへのアクセス成功率を高めている。

複製の配布

図 1 に SC 方式による複製配布イメージを示す。SC 方式では位置依存情報は特定の位置からのアクセス頻度が高いと考え、その位置周辺にだけ複製を配置するように複製配布範囲 (R) を設定している。各端末は GPS 等により位置情報を取得できるためその範囲内に存在するかを判断することができ、その範囲内で複製密度決定要素 (s) に従い、s ホップ毎の端末に複製を配置する。

情報の探索

複製配布が行われても、各端末はどこにどのような情報があるのかは分からない。そのため、情報を利用するときは利用したい情報の位置と種類をキーとして要求メッセージをフラッディングする。このとき、要求メッセージは目的位置の方向にのみ転送される制限付きフラッディングで送信される。対象となるデータを保持している端末は応答メッセージを要求元の位置情報をキーとして制限付きフラッディングで返信する。

2.3 SC 方式の課題

SC 方式は複製の配布およびデータ要求、応答をフラッディングベースで行っている。フラッディングは単純な動作で通信可能な端末すべてにデータを送信できる利点があり、端末の密度がそれほど高くない状況では効率的にデータ送信ができる。そのため、端末の密度がそれほど高くなければ SC 方式を用いることで効率よく複製を配布することができる。しかし、端末が密集している場合にフラッディングを行うと、通信可能範囲内の多くの端末が全てブロードキャストを行ってしまうため、ブロードキャストストームが発生する問題がある。このときに発生するトラヒックの多くは重複したデータであり、それらのデータの送受信に電力が浪費されてしまう。さらに無線チャネルの競合が発生するため通信性能も低下してしまう。SC 方式を実際に災害現場等で使用することを考えると、通信性能が不安定になることは、重要な情報を活用できないことにも繋がり情報収集に大きな影響を与える。

3 省電力フラッディング方式

無線アドホックネットワークにおけるフラッディングの効率化を図る研究として適応的フラッディングがある [4]。適応的フラッディングでは、受信電力に基づいてパケットの中継優先度を決定し、優先度毎に待ち時間を設定することで同時に転送を行う端末数を少なくして、干渉を低減させている。この中継優先制御によって端末数の多い状況でのフラッディングを効率化している。優先度はデータ受信時にその受信電力から決定され、パケットは優先度毎に設定された待ち行列に格納される。パケットは優先度毎に回送され、そのときの送信電力も各端末が自律的に制御している。この方式はパケットの受信電力により優先度などをすべて判断して行う受信主導型のフラッディング方式であるといえる。

SPAN [5] は無線アドホックネットワークにおいてネットワークの規模や接続性を縮小しなくても、電力消費を抑えることができる技術である。これは端末が密な場合において各端末がスリープするかデータを中継するかを決めるアルゴリズムであり、シミュレーションによるその有効性が示されている。

SC 方式による複製配布においては結果的に複製がそれを利用することになる端末から適当なホップ数でアクセス可能な端末に配置されていれば良いため、すべての端末が複製配布に参加する必要はない。さらにある端末が中継を行わなくても複製配布に影響が無い場合もあり、すべてのデータをフラッディングする必要がないという点で [4] と異なる。SC 方式では複製が配置される確率が高くなるように、データ中継を行う端末が多くの端末と接続していることが望ましい。[5] では中継する端末がランダムに決定され、接続性の高い端末が必ずしも中継を行わないため、効率良く複製配布が行われない可能性がある。

端末が多く密集した状況においても SC 方式による複製配布が適切に行われるためには、単純に中継を行う端末を減らすのではなく、最も効率良く複製が配置されるようにデータの中継を行う必要がある。さらに端末が密集した状況でもブロードキャストストームが発生せず、電力を浪費することなく複製を配布することが望ましい。

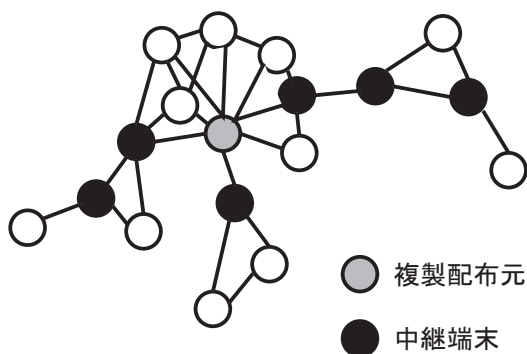


図 2: 中継ホスト選択手法

表 1: 隣接端末リスト

ID	座標	距離	隣接数	時刻
a	(Xa,Ya)	10	3	12:20:34
c	(Xc,Yc)	24	2	13:00:23
...

4 中継ホスト選択手法

SC 方式における複製配布時の電力浪費，トラヒックの増加を抑えるために，配布するデータの位置情報と端末の位置関係を基に次にフラッディングを行う端末（中継端末）を決定する中継ホスト選択手法を提案する．この手法は位置情報を GPS 等から取得，それを集めることにより作成した隣接端末情報から接続性の高い端末を発見し，その端末のみにデータを中継させることで，不要なブロードキャストを削減し，複製配布の省電力化を実現する．概要を図 2 に示す．従来のフラッディングで複製配布を行うとすべての端末は少なくとも 1 回ブロードキャストを行うが，提案手法を用いると図に示すように一部の端末のみがデータの中継を行う．また，端末が密集していても一部の端末のみが中継を行うためブロードキャストストームを抑えることができる．

データの複製は，他の端末から要求があったときに，その端末から接続性のある端末のどれかが保持していれば，データアクセス成功率を複製によって高めるといった目的は達せられるため，複製配布の過程でデータ送信元となる端末周辺の端末すべてを経由して転送する必要はない．他の端末からの接続性が十分に見込まれる端末のいくつかに対して複製を配布すればよい．

提案手法は以下の処理から構成される．i) 隣接端末の把握，ii) エリア分割，iii) 中継端末の選択．以下これらの詳細について説明する．

4.1 隣接端末の把握

すべての端末は GPS 等により取得している位置情報，端末 ID を隣接端末と定期的ブロードキャストにより交換する．このとき取得した情報を隣接端末リスト (Neighbor List: NL)(表 1) に登録することで隣接端末を把握することができる．登録済みの端末情報は位置情報等を取得するたびに更新する．なお，一定時間経過したエントリはその情報が正確でない可能性が高いた

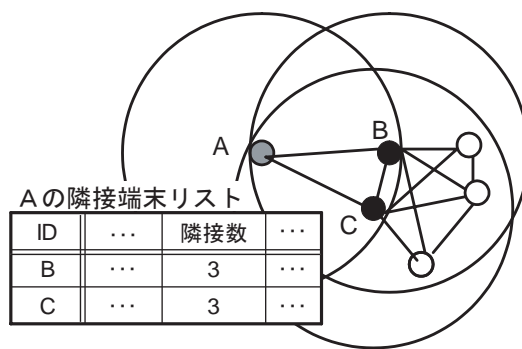


図 3: エリア分割なしでの中継端末選択

め破棄する．さらにこの NL を端末間で交換し，相手の NL と自身の NL との差分を取ることで各端末が自身から 2 ホップ先の端末を把握することができる．各端末から 2 ホップ先の端末数を NL の該当する隣接端末の「隣接数」に登録する．この「隣接数」が端末の接続性を表し，データ中継端末が次の中継端末を選択する基準となる．

4.2 エリア分割

中継端末を選択するときに接続性だけで選択すると，選択された端末が互いに密接していたり，ある方向にだけ偏ってしまうことがある．一例として図 3 の A は，B と C の隣接数がともに高いため，B と C を隣接端末として選択したとする．しかし，2 ホップ先の端末はどちらも同一であり，B, C を介したデータの配布は冗長となる．また，互いに近い位置関係の端末が選択されることで複製が一部の方向にだけ配布されてしまい，そのため情報へのアクセス成功率が低下する可能性がある．

そこで選択した中継ホストが特定の場所に偏らないようにするためにエリア分割を用いる．図 4 に示すように，エリア分割とは送信端末を中心とした送信エリアの円を n 個の扇形に分割することである．分割しやすいよう，エリア分割数: $n = 2m (m = 2, 3, 4, \dots)$ とする．エリアを分割する境界線は，送信端末を中心とした通信エリアの円に内接する正 n 角形の対角線に対応する．複製配布を開始する端末では対角線の 1 本が経線と平行となる．この分割されたエリア毎に中継端末を 1 つ選択する．しかし，エリア内に端末が存在しない，または中継させる必要がないときは，そのエリアから中継端末は選択されない．

複製配布開始時は，その発生位置周辺に一樣に複製を配布するので分割エリアすべてについて考えるが，中継を行うときは分割エリアの半分のみを考える．これは，データが中継されてきた方向の端末はすでに同一のデータを受け取った可能性が高いため，中継端末として選択する必要が無いと考えるからである．分割数を偶数としたのは，エリアの半分を設定しやすくするためである．エリアを半分に分ける境界線は，位置依存情報の発生位置と自身の位置を結んだ直線の垂線となり，分割線の 1 つを垂線に対応させることでエリア分割する．

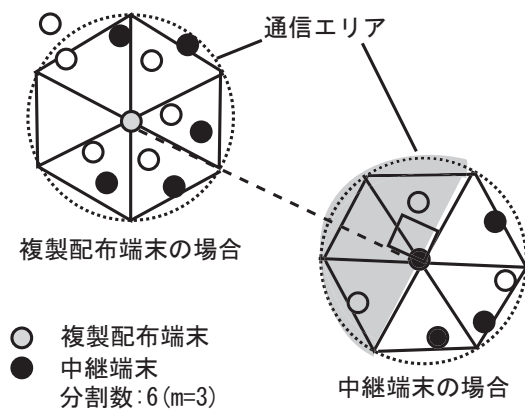


図 4: エリア分割ありでの中継端末選択

4.3 中継端末の選択

情報が登録され複製配布を行う際や、その中継を行う際に、上述の NL の交換，エリア分割を用いて中継端末を選択する．該当する端末は NL と分割エリアを照合し，隣接端末がどのエリアに属しているかを調べる．そして，各エリア内から NL の「隣接数」が 1 以上で最も大きい端末を 1 つ選択する．隣接数が等しく，選択候補が複数である場合は，位置情報から自身との距離を計算し，より遠い端末を選択することとする．遠い端末を選択することで少しでも無線の干渉を減らすためである．最後に選択した端末の ID を送信データに付加してブロードキャストを行う．受信端末はデータに自端末の ID が含まれているかをチェックし，ID があれば中継ホスト選択を行う．

5 検討

5.1 NL の交換間隔と端末の移動速度

提案手法では位置情報，端末の接続性を中継端末選択の判断材料にしている．そのため，定期的に端末間で位置情報と NL を交換しているが，これらの情報交換によって逆に電力を消費してしまう可能性がある．位置情報と NL を交換するのはデータを中継する端末を特定するためであり，定期的に交換を行うことで，位置情報の信頼性を高め，確実に中継ができるようにしている．この位置情報の更新間隔が長いと，選択された中継端末が現実には通信可能範囲に存在せず，データが中継されないということが発生する．これは端末の移動速度と密接に関係しており，移動速度が遅ければ位置情報の更新間隔は長くても中継端末の選択には影響しないといえる．一方，移動速度が速いときは更新間隔を短くすべきだが，移動速度が速いことで通信可能範囲から外れやすいともいえる．そのため，このような端末に中継させるのは効果的でないと考えられる．

NL の交換間隔と電力消費はトレードオフの関係にあるため，提案手法の有効性を示すためには，端末の移動速度や移動モデル毎に位置情報更新間隔を検討する必要がある．また，位置情報の更新時に前回のデータを用いることでおおまかな速度ベクトルを取得することもできるため，これを中継端末選択時の指標することも検討していく．さらに各端末が自身の移動速度から更新間隔を動的に変更する方式についても検討していく．

5.2 エリア分割数と端末の密度

エリア分割は隣接端末が多く存在するときに，複製をその情報の位置周辺に配布する際の適切な中継端末を特定しやすくするものである．また，分割エリア数によって中継端末の数も決まってくる．分割数が多ければ中継端末も増え，その位置周辺にデータが行き渡りやすくなる．しかし，中継端末が多いと重複したデータの送受信が発生しやすくなってしまふ．逆に分割数を低く設定すると重複は起こりにくくなるが，中継端末が少なくなるので，通信エラー等によりデータの中継が行われなかったりすると複製配布に大きな影響を与えてしまう可能性がある．また，隣接端末がそれほど多く存在しないときには，従来と同様に単純にフラッシングするほうが効果的である．

以上のことから端末の密度に応じて動的にエリア分割数を変化させることについて検討する必要がある．

5.3 複製配布と省電力化

提案手法を用いて複製配布を行った場合に，従来の SC 方式と同様のアクセス成功率を達成し，それと同時に端末の密度が高いときの複製配布による電力浪費が抑えられていることを確認する必要がある．これは端末の密度を変化させてシミュレーションによって評価を行っていく．

6 まとめ

位置依存情報を配布するときの電力浪費を抑えるための中継ホスト選択手法を提案し，基礎検討を行った．本手法は位置依存情報に指向した複製配布手法であり，効率良く複製を配布するために端末の位置情報，接続性を考慮してデータを中継する端末を選択するものである．この手法を用いることで端末が密集するときのブロードキャストストームを抑制し，電力を浪費することなく複製配布を行えることが期待できる．

今後，本稿で述べた検討項目についてシミュレーションにより評価し，本提案手法の有効性を示す．また，複製配布だけでなく，データ要求，応答，複製の更新時についても本手法が有効であるかを検証する．

参考文献

- [1] 原隆浩：アドホックネットワークにおけるデータ利用性向上のための複製配置，信学論，Vol.J84-B，No.3，pp. 632-642(2001).
- [2] K. Chen and K. Nahrstedt: An integrated data lookup and replication scheme in mobile ad hoc networks, in Proc. of SPIE International Symposium on the Convergence of Information Technologies and Communications (ITCom 2001) (2001).
- [3] 田森正統，石原進，水野忠則：アドホックネットワークにおける端末の位置を考慮した複製配布方式の評価，情処研報，2001-MBL-18，Vol.2001，No.83，pp. 135-142(2001).
- [4] 門洋一，大野雄一郎，行田弘一，大平孝：受信電力とキャリア検出により自律的に中継優先度と送信電力を決定するルーティング方式，信学技報，RCS2000-6，pp.35-42(2000-4).
- [5] Benjie Chen, Kyle Jamieson, Hari Balakrishnan, and Robert Morris. Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks. In Proceedings of MobiCom'2001, Rome, Italy, (2001-7).