

# NA を用いたアドホックネットワークにおける複製配置方法の提案

井上 昭<sup>†1</sup> 仁平和 博<sup>†2</sup> 屋代 智之<sup>†1</sup>

アドホックネットワークでは、トポロジの変化により、端末間のリンクが切断され遠方の端末の保持データを問い合わせることができない場合がある。そこで、他の端末にデータの複製を配置することで、リンクが切断されてもデータを得ることが可能となる複製配置方法が提案されている。しかし、そのような場合でも端末が移動することで複製されたデータを持った端末とのリンクが切断されるため、頻りに複製を再配置しなければならないという問題がある。一方で、位置情報を認識し、データを保持したまま特定の範囲内に存在し続けることが可能な Nomadic Agent (NA) が提案されている。本論文では、データを持った NA を複製配置することで、リンクが切断されて取得できない遠方のデータを、近くの NA から取得することを可能とする。また、NA は特定の場所にデータをとどめるために頻りに再配置を必要としないことから、移動性の高い環境でも無駄なデータの再配置を行わずに、情報提供を行い続けることが可能となる。

## A Proposal of Replica Allocation Method Using NA on Ad Hoc Networks

AKIRA INOUE,<sup>†1</sup> KAZUHIRO NIHEI<sup>†2</sup> and TOMOYUKI YASHIRO<sup>†1</sup>

In ad hoc networks, due to the change of topology, disconnection of links between terminals may occur. As a result, a terminal can not communicate with other terminals through the link. So the replica allocation methods have been proposed and in such method the information holder allocates replicas of data to other terminals. However, disconnection of links between terminal is caused by terminal movement. Therefore the data holder must replace replicas of data to other terminals frequently. We had proposed Nomadic Agent (NA) for pedestrians to provide efficient Location-Based Service. NA is a kind of Mobile Agent, which migrates between terminals based on its physical location. NA is able to keep its position on a specific area. In this paper, we propose replica allocation method that using NA for improving data utilization. By using this method, a terminal can get replica data from NA in the case the terminal can't communicate with data holder.

### 1. はじめに

携帯電話や PDA 端末をはじめとする携帯端末の普及とともに、GPS の搭載や短距離無線通信が可能になるなど端末の性能向上と機能の多様化が図られてきた。このことから、インフラを用いずにその場に在る端末のみでネットワークを構築することが可能なアドホックネットワークが注目されている。

一方、携帯端末が GPS などを搭載することで自身の位置特定が可能な場合、特定の場所で求められる位置に依存した情報（位置依存情報）を提供するサービス（Location Based Services - LBS）<sup>(1),(2),(4)</sup> の利用が考えられている。

アドホックネットワークを用いた LBS において、各端末がどのようなデータを持っているのかは既知でないことから、目的の情報があると予想される領域内の端末に対してデータの要求が可能な Geocast<sup>5)</sup> を使った情報提供が考えられている。Geocast とは、指定した領域内に存在する端末に対して、位置情報を利用してメッセージを送信するルーティングプロトコルである。この情報提供は、端末の移動とともに目的の情報が領域外に出てしまった場合にデータを要求することができないため、特定の場所に情報をとどめる方法が必要となる。

一方、携帯端末のみでアドホックネットワークを構成し、端末の位置情報をもとに特定の場所でデータの収集・提供を行う Nomadic Agent (NA)<sup>(11)-(14)</sup> が提案されている。NA とは、周辺に存在する端末間を自律的に移動することで、データを特定の場所に残し続けることが可能な一種のモバイルエージェントである。

<sup>†1</sup> 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

<sup>†2</sup> 株式会社ジェイアール東日本情報システム

JR East Japan Information Systems Company

ここでは、NA がデータの管理を行い、NA に Geocast を用いてアクセスすることで情報提供を行う方法について検討する。ただし、Geocast を用いたアクセスでは、トポロジの変化によってリンクが切断され、遠方の領域にデータを要求することができなくなるという問題点を解決しなければならない。

そこで本研究では、データを持った NA の複製を分散的に配置することで、トポロジの変化によりリンクが切断されたとしても通信可能な近隣の NA からデータ取得を可能とする複製配置方法を提案する。

## 2. 関連研究

本研究の関連研究として、LBS と他の複製配置方式をあげる。

- SpaceTag<sup>1)</sup>

SpaceTag とは、位置情報や時間をもとにサーバ内で管理するタグと呼ばれるデータを利用して、特定の場所や時間内でアクセス可能な LBS である。情報提供は、サーバがユーザからの位置情報を含んだ要求メッセージをもとに、タグを検索し応答することで可能としている。本研究とは、サーバなどのインフラを用いる点で異なる。

- Usenet-on-the-fly<sup>2)</sup>

Usenet-on-the-fly とは、アドホックネットワークにおいて、位置に応じた情報を収集・配信するシステムである。情報は、アドホックネットワーク上において伝搬され、提供範囲を TTL とホップ数をもとに制御する。このシステムは、特定の時間内で情報を多くの端末に配信するといったサービスに有効であるが、ユーザの欲しいときに欲しい情報を提供するというサービスには向いていない。

- Message Ferrying<sup>3)</sup>

メッセージフェリーとは、ある領域内を巡回する端末がデータを管理することで、特定の場所にデータをとどめることが可能な方式である。この方式は、サービス提供を行うにあたり、ある特定の場所を巡回する端末が必要となるため、ユーザのみで構成されるアドホックネットワークを用いた本研究とは異なる。

- 7DS<sup>6)</sup>

サーバから得た情報をアドホックネットワークを利用して拡散する方式である。データを要求するメッセージをもとにデータの共有を行っている。アドホックネットワークにおいて、多くの端末が求めている情報を共有する場合有効であるが、位置に依存した情報のような、特定の場所でのみ需要のある情報を共有するのは困難である。

- Data on the Road<sup>7)</sup>

Data on the Road とは、ORDI (Opportunistic Resource Dissemination with Invalidation) と呼ばれる情報の価値を評価する手法を用いて、データを拡散する方式である。この ORDI とは、位置や時刻に応じた動的な評価を行うことで、各端末がつねに価値の高い情報を保持することが可能なシステムである。この方式は、提供者側が情報の価値評価の重み付けを行うため、ユーザのニーズを把握することが困難な場所での情報提供には向いていない。

- 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方式<sup>8)</sup>

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方式では、3つの複製配置方式が提案されている。これらの方式では、特にアクセス頻度とネットワークの接続状況をもとに複製配置を行うことで、要求頻度の高い情報を端末周辺にとどめることを可能としている。この方式は、多くの端末が求めている情報を共有する場合有効であるが、位置に依存した情報のような、特定の場所でのみ需要のある情報を共有するのは困難である。

- SkipCopy 方式<sup>9),10)</sup>

本提案と同様に Geocast を用いた情報提供を想定した SkipCopy 方式が提案されている。情報発生時に発生地点から一定範囲内の端末にデータをフラッシングし、数ホップおきに複製データを配置する。また、データにアクセスされたことをきっかけに、発生地点から一定範囲内の応答経路上の端末にデータを再配置する。この再配置により、特定の場所に情報をとどめることができる。しかし、この方式によって特定の場所に情報をとどめるためには、一定時間間隔のアクセスや情報の発生が行われる環境が必要である。アドホックネットワークにおけるアプリケーションは研究段階であり、すべてのアプリケーションが一定時間間隔でデータアクセスやデータの発生を行うとは限らない。一方、NA は特定の場所に情報を残すために物理的な位置をもとに特定の場所にとどまり、アクセスや発生の時間間隔といった要因に依存していないことから、安定した情報提供が可能である。ただし、SC 方式に適した環境でも NA が有効であることを示すため、5章でシミュレーションを行い評価を行った。

## 3. 従来の Nomadic Agent (NA)

NA とは、インフラを用いずに、GPS などから得られる位置情報をもとに端末間を移動することで、特定の場所にデータを残し続けることが可能な一種の

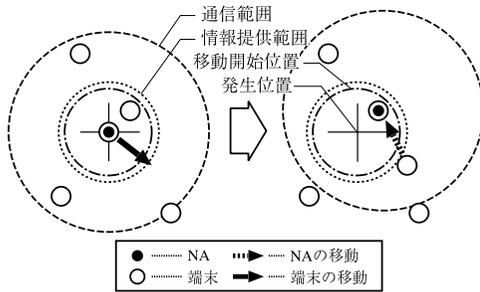


図1 NAの移動

Fig. 1 NA migration scheme.

Mobile Agent である<sup>11)–14)</sup>。

NAは、歩行者が持つ端末どうしで構成するアドホックネットワーク上を移動し、その場所の情報を管理する。このように特定の場所の情報をNAがその場で管理するため、インフラのない場所で収集したリアルタイムな情報などを存在させることが可能である。このことから、NAを仮想的なインフラと見なすこともできる。

### 3.1 NAの基本動作

図1に、NAの移動動作と移動のために設定される各領域の範囲を示す。NAは発生時に、発生位置を基準として、情報提供に有効な範囲(情報提供範囲)を定める。またNAは、情報提供範囲内で継続して情報提供を行うために、移動を開始する位置(移動開始位置)を設定し、これを越えた場合、自動的に情報提供範囲内の他の端末に移動する。NAが移動先となる端末を発見できずに情報提供範囲から離れ、定められた生存範囲の外へ出てしまった場合、保持しているデータごとNAを消滅させることで、不必要にデータが流通することを避ける。このようにNAは、発生位置と通信範囲内に存在する端末の位置情報をもとに端末間を移動することで、特定の場所にデータを残すことが可能となる。

NAは発生後、通信範囲内の端末に定期的にブロードキャストを行う。これを受信した端末は、NAに自身の端末の位置情報と端末が保持する位置依存情報を返信する。これにより、NAが周辺端末の位置情報を把握し移動するとともに、位置依存情報を収集することを可能としている。

NAは、特定の場所でとどまり続け情報の収集・提供を行うことが可能なため、各端末の移動経路や経路情報を取得し統計的に処理することができることから、プローブ情報システム<sup>15)</sup>に利用することが考えられている。また、特定の場所でとどまり続けデータを管理することができるため、LBSでの利用が考えられて

いる。このようなアプリケーションに用いるNAの発生方法として、地図情報をもとに交差点など特定の場所に発生させる方法や通信範囲内に一定以上の端末を発見した場合、ユーザによるものなどが考えられる。

## 4. 提案方式

NAは、端末間を自律的に移動することで特定の領域に長時間生存可能なことから、NAがデータを管理することで、端末の移動性の高い環境に適応できるようになる。

そこで、NAの複製配置により、トポロジの変化によってリンクの切断が起きててもデータの取得を可能とする3つの複製配置方式を提案する。なお、以降に複製配置と表現した場合、特に明記しない限り、NAを複製して配置することを指す。この複製配置によって、リンクの切断により直接問い合わせることができない場所の情報でも、近くのNAから取得可能となる。しかし、従来のNAでは、自身が管理する領域のみデータ収集や管理を行っていたため、複製時の初期データ以外の遠方領域のデータを保持することができない。また、提案する複製配置方式ではすでにNAが配置されている領域に重複して複製配置を行ってしまう可能性がある。これは、同じ領域で別々にデータを管理することになることから、効率的とはいえない。このため、複製配置方式に加え、各NAが周囲に存在するNAを探索し、それらの発生位置を把握し、NA間でデータ交換を行うことで協調を図る。なお、この協調を図る動作を以降、協調動作と呼ぶ。これらの動作によって、NAから効率的にLBSを受けることができるようになる。また、本研究では、オリジナルのデータと複製されたデータ、オリジナルのNAと複製されたNAの区別は特に行っていない。

以下4.1節では、従来のNAの動作に関する変更点について述べる。4.2節では、NAの周辺に存在する他のNAの把握方法と複製先の決定方法について述べ、4.3節では、NAが同じ領域に重複して複製配置する可能性があるため、NAの削除方法について述べる。また4.4節では、協調動作について述べる。4.5節では、NAを利用した情報提供について述べる。

### 4.1 NAの基本動作の変更点

従来のNAでは、情報提供範囲の端末のみが情報提供を行えばよかったため、一定時間間隔で位置依存情報をブロードキャストしていた。本提案では、より広い範囲での情報提供を考えているため、データリストのみブロードキャストを行い、提供はGeocastを用いた通信のみとした。このデータリストには、各データ

を判別するためのデータの ID や発生位置，データ更新のために必要な生成時刻，NA が他の NA の存在を確認するために必要な NA の発生位置といった情報が含まれる．これによって，NA の周辺に存在する端末は，NA がどのようなデータを保持しているか把握することができる．

#### 4.2 複製配置方式

従来の NA は，周辺に存在する端末からデータを収集し，情報提供範囲内の端末にのみデータを提供していた．本論文では，以下に示す各方式に従い NA を周辺の領域に配置することで，広い範囲の情報提供サービスを可能とする．しかし，無作為に NA を複製配置すると複製数が増大し，ネットワークに大きな負荷を与えてしまう．そこで NA を複製配置する基準として，空間を正六角形の領域（セル）に分割し，各セルの中心のみを NA の発生位置とした．このセルの 1 辺の長さは，各端末の通信半径の  $1/2$  である．しかし，従来は NA が発生したときの端末位置を発生位置としていたため，特定の場所に NA を配置することができなかった．そこで本研究では，NA の発生位置を発生時の端末位置とは異なる場所に指定することを可能とした．このとき，同一の発生位置を持った NA を複製配置することは複製数の増大につながるため，周辺に存在する NA の発生位置を把握することで，重複した配置を避ける．

各 NA は，一定時間ごとに NA を探索するメッセージ（探索メッセージ）を通信半径の 5 倍の距離までフラッディングする．なお，このフラッディング範囲を以降，探索範囲と呼ぶ．この動作は，周辺に存在する NA を把握することや隣接したセルに配置された NA の生存確認を目的としているため，NA の生存範囲（半径が通信範囲の 1.5 倍）に NA の発生位置から隣接したセルの中心までの距離（通信半径とほぼ同一）を加えた範囲を探索範囲とすることで，隣接したセルに存在する NA の生存範囲をカバーした探索が可能となる．4.2.2 項と 4.2.3 項で述べる複製配置方式では，この探索メッセージを受信した周辺の NA が，自身のデータリストを返信する．この返信で受けたデータリストをもとに，NA は周辺端末の発生位置や保持データを把握するとともに，NA を確認できた領域への複製配置を中止することで同一のセル内に重複して NA を配置してしまうことを避けることができる．

##### 4.2.1 単純複製方式

単純複製方式では，図 2 で黒く色付けしたセル内に配置された NA1 が，隣接したすべてのセルに NA が配置されるように複製を試みる．図 2 の場合には，隣

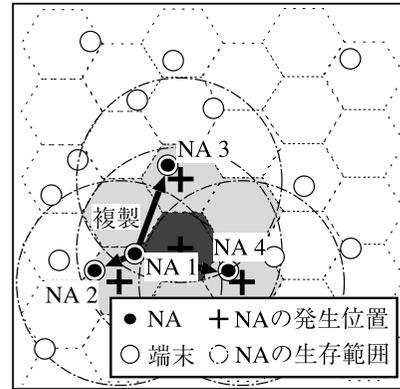


図 2 単純複製方式

Fig. 2 Simple replica allocation method.

接したセル内で 3 つのセルのみに端末が存在しているため，その 3 つのセル内の端末に対して，それぞれ + の位置を発生位置として複製配置を行う．端末が存在するセルが 3 カ所であるため，これら 3 カ所のための複製配置が行われている．

各端末は NA が一定時間間隔でブロードキャストするメッセージを受信することで，自身の周辺に存在する NA をつねに把握することができる．自身が存在するセルの外部の NA からブロードキャストメッセージを受信した際に，自身が存在するセル内の NA を確認できなければ，ブロードキャストの送信元に複製配置要求を送信する．これを受信した NA は，要求を送信してきた端末に NA を複製配置する．これにより，改めて経路構築するためにネットワークのトラフィックにかかる負荷を抑えることができる．このように NA は，周辺端末の複製配置要求によって，複製先を決定する．

本方式によって，同一のセルに NA を配置することなく，NA の複製が広い範囲をカバーできるため，多くの端末が近くの NA から広い範囲のデータを取得できる環境を構築することができる．

##### 4.2.2 アクセス頻度依存複製方式

位置依存情報が発生した後，近くに NA が存在しなければ，その情報は NA が収集し共有することなく領域外に出てしまう．このため本方式では，需要の高い情報が発生する地点に NA の複製を優先して配置することで，多くの端末が近くの NA からデータを取得することを可能とする．

NA は自身あるいは周辺の端末が中継した，データの要求を行うメッセージ（データ要求メッセージ）を受信し，各端末のデータ要求先をセル単位で判別し，各セルに対するデータ要求頻度を収集する．これを利

用し、データ要求頻度が高い上位 6 カ所のセルを選択し、そこに複製を配置する。6 カ所に配置することで、必要に応じて隣接するすべてのセルに複製配置することが可能となる。

各 NA は、一定時間ごとに行っている探索メッセージのフラッディングによって、周辺に存在する NA を把握している。しかし、単純複製方式とは違い、複製配置先の端末までの経路が構築されていないため、Geocast (Adaptive Distance Scheme)<sup>5)</sup> を用いて、複製先のセル内に存在する端末までの経路を構築する。なおこの複製先となる端末は、該当セル内で最初に応答を返したものとす。この動作によって NA は、受信したデータ要求メッセージに含まれる要求先の位置情報をもとに、セル単位で複製先を決定する。

本方式は、NA によって特定の領域に長時間データを保持することができるため、複製された NA の発生位置のデータを保持することで、要求される頻度の高いデータの消滅を回避し、多くの端末が NA からデータを取得することができる。

#### 4.2.3 人口密度依存複製方式

データを取得したい端末とそのデータを保持する NA 間のホップ数が少なくなれば、その間でリンクの切断が起こる確率は低くなる。そこでこの方式では、人口密度の高い上位 6 カ所のセルに複製を配置することで、端末と NA との平均ホップ数を少なくし、データを取得できる確率の向上を図る。アクセス頻度依存複製方式と同様、複製配置を 6 カ所とすることで、隣接したすべてのセルに複製配置することが可能となる。

人口密度は、アクセス頻度依存複製方式と同様に、NA が周辺端末から受信したデータ要求メッセージに含まれる送信者の位置情報から収集する。この送信者の位置情報をもとにセル単位で人数を計測した結果を、各セル内の人口密度とする。しかし、時間経過とともに端末が移動すると、各セルの人口密度は変動するため、一定の時間間隔で人口密度の再計測を行う。この動作によって、データ要求メッセージに含まれる送信者の位置情報をもとに複製配置先を選定する。複製先までの経路構築は、アクセス頻度依存複製方式と同様に、Geocast (Adaptive Distance Scheme) を用いて行う。

本方式では、NA が人口密度の高い領域に配置されることで、多くの端末から容易にデータを収集できるという特徴がある。

#### 4.3 NA の削除

NA は、同一のセルに重複して発生または複製配置されていた場合、一方を削除する。

本提案では、NA を分散して配置することで、端末が遠方のデータを近くの NA から取得することが可能である。データの取得には、遠方のデータを持った NA が 1 つあればよいから、同一セル内に NA が重複して配置されることを避ける。しかし、自身の探索範囲外に存在する NA やトポロジの変化によってリンクが切断され、自身と通信できない NA については、把握することができない。このため、アクセス頻度依存複製方式や人口密度依存複製方式が、自身の探索範囲外を複製先として選択した場合や、複製先にすでに配置されている NA と通信できない場合、異なる NA が同時に複製配置を行う場合など、重複して複製配置してしまう状況が考えられる。

このような重複した状況を解消するため、NA は、自身の探索範囲内の NA を把握し、同一の発生位置を持つ NA を検出した場合には保持データ数を比較して少ない方を削除する。

#### 4.4 NA 間でのデータ交換

各端末は、NA が一定の時間間隔で行っているブロードキャストメッセージ (3.1 節) を受信することで、自身の周辺に存在する NA を把握する。また、ブロードキャストに含まれるデータリストを取得することで、NA の保持データを知ることができる。このデータリストには、データの ID や発生位置、データ生成時刻、NA の発生位置といった情報が含まれる。これらによって、異なる NA が互いの通信範囲内に入った場合、他の NA の保持するデータを把握することができる。また、端末が複数の異なった領域に存在する NA からのブロードキャストを受けた場合、そのデータリストを相互に転送することで、各 NA は周辺に存在する NA が保持するデータを把握する。

本提案では NA 複数のデータを管理することを想定している。しかし、端末がキャッシュできる量は限られていることから、各 NA が要求頻度の高いデータを収集・保持することで、多くの端末の要求に高い確率で応えることができる。各 NA は、要求頻度の高いデータを優先して保持するために、取得したデータリストと自身のデータリストの比較を行い、適宜周辺の NA とデータを交換する。この際、データリストの転送経路を利用する。

このように、NA は他の NA とデータ交換を行い、要求される頻度の高いデータを優先して収集・保持することで、配置された領域に適したデータを保持することができる。

#### 4.5 NA に対するデータ要求

4.4 節で述べたように、各端末は、NA のブロード

表 1 各動作における NA の保持データ  
Table 1 Data on NA in each operation.

動作	データ
NA の発生	自身の発生位置の位置情報， 移動に必要な各種範囲（既知）
単純複製方式	自身の発生位置の位置情報， セルの位置情報（既知）
アクセス頻度依存複製方式	データ要求先の位置情報， セルの位置情報（既知）
人口密度依存複製方式	データ要求送信者の位置情報， セルの位置情報（既知）
協調動作	自身と他の NA のデータリスト

表 2 シミュレーション条件  
Table 2 Simulation conditions.

パラメータ	値
シミュレーション範囲	1 km × 1 km
人口密度	50 ~ 150 人/km <sup>2</sup>
歩行者の移動速度	0.9 ~ 1.7 m/s ( 平均値が 1.3 m/s の正規分布乱数 )
端末の通信範囲	半径 100 m
キャッシュデータ数	50 ~ 100 個
NA が占めるキャッシュ データ数の割合	90%
NA の情報提供範囲	半径 50 m
NA の移動開始位置	半径 45 m
NA の生存可能範囲	半径 150 m
NA の探索範囲	半径 250 m
NA の探索時間間隔	60 s

キャストメッセージを受信することで，自身の周囲に存在する NA とその NA が保持するデータを把握する．各端末はこれを利用して，求めるデータを周囲の NA が保持していた場合に，その NA に対してデータの要求を行う．これによって，端末が近くの NA からデータを取得することが可能となるため，データを取得するまでのホップ数が少なくなり，データを持った端末とのリンクが切断される確率が低下する．また，通常の Geocast によるデータ要求時と比べ，トラフィックを軽減することができる．

NA が保持するデータについて，表 1 にまとめる．

## 5. シミュレーションと評価

### 5.1 シミュレーション環境

評価には，独自に作成したシミュレータを用いた．本研究では，各方式において，トポロジの変化によるリンクの切断が通信に与える影響を評価するため，特に通信帯域や MAC 層プロトコルに対する想定はしていない．本シミュレーション環境には，下記の条件を想定した．

- すべての端末は現在位置を GPS により取得する．
- 各端末がデータを送信完了するまでにかかる時間は 0.2 秒未満である．
- 各端末はブロードキャストの送信，受信を行える．
- すべての端末は，自身の通信範囲内にあるほかの端末のすべての送信情報を受信できる．
- すべての端末にとって，セルの位置は既知である．

### 5.2 比較対象

提案方式を評価するために，本論文と同様の LBS を想定している Skip Copy ( SC ) 方式と比較を行った．

SC 方式のシミュレーションでは，2 ホップおきに複製を配置した．また，複製配置を行う範囲を発生位置を中心に半径 300 m とし，フラッディングの制限を行った．さらに，端末が移動してデータが特定の領域から離れてしまうことの対策として，複製データの再

配置を行った．再配置方法として，データの要求を受けたときに，応答時の中継端末に複製を行うようにした．このときも，データ発生時と同様に，2 ホップごとに複製を配置し，300 m の複製範囲を設けて複製の制限を行った．

### 5.3 シミュレーション条件

シミュレーションの歩行者移動モデルには，ランダムに移動距離と移動方向を決定する Random Waypoint Model を用いた．この歩行者移動モデルは，自由空間でランダムに移動するため，トポロジの変化が激しく，複製配置を必要となる環境を容易に構築できるという利点がある．端末が移動によりシミュレーション範囲外へ出た場合，すべての保持データを削除し，新規の端末として対称座標から再入する．これにより，不特定多数の歩行者がある領域を通りすぎる環境を構築した．シミュレーション条件を表 2 に示す．NA が端末間を移動するためには，各端末が NA の保持データをすべてキャッシュできなければならない．この NA の移動のため端末が割いたキャッシュデータ数の割合を NA が占めるキャッシュデータ数の割合とする．

人口密度が高い環境下では通信の衝突などの別の問題が発生すると思われるが，人口密度が低い環境下では多くの場合，メッセージを届けるための中継端末が存在しないとといったリンクの切断が大きな問題になることが想定される．このため，本提案の有効性を評価するために，トポロジの変化によるリンクの切断が通信における大きな問題となる人口密度の低い環境下で，複製配置方式の評価を行った．

### 5.4 データの発生

位置依存情報を取り扱うにあたり，シミュレーション範囲を 1 辺が 100 m の正方形に分割し，それをデータ領域と呼ぶ．各端末は，個々のデータ領域に対してデータ要求を行うものとした．また，すべての端末で，

このデータ領域の座標は既知であるとした。

各端末は、平均 60 秒のポアソン分布間隔で、現在位置に対応するデータ領域に依存する固定サイズの情報を発生させる。この発生時刻やデータの更新については、今回は特に考慮しない。

### 5.5 データの要求・応答

アドホックネットワークでは、一般にあるデータを持った端末のアドレスや端末の存在をあらかじめ把握することはできない。しかし、本提案では LBS を想定しているため、目的のデータが発生するデータ領域付近に存在する端末がそのデータを持っている可能性が高い。そこでデータの要求には、よりデータ領域に近い端末に対して転送を行う Geocast (Adaptive Distance Scheme) を用いた。ここでは、転送領域内の端末がデータ要求を受けた際、要求されたデータを持っていれば、その端末は要求を転送せずに応答するものとした。

データ要求を行った端末がデータを取得した場合、これをキャッシュに保存する。キャッシュの空きがない場合には、LRU (Least Recently Used) 方式を用いてデータの破棄を行う。各端末は、データを要求するためのメッセージを受信した際に、どのデータ領域に対する問合せかを判別し、その情報を蓄積することで要求される頻度の最も低いデータを判断する。

### 5.6 データ要求モデル

各端末は、平均 60 秒のポアソン分布間隔で、データの要求を行った。位置に依存したデータに対する要求は、アプリケーションや利用形態により異なることが予想される。例をあげると、ショッピングなどでは、自身の近くに存在する店舗のデータに対する要求頻度が高くなるが、行動範囲外となる遠くの店舗のデータについてはほとんど要求がないものと考えられる。また、観光地などでは、人気のある観光スポットに対するデータの要求頻度が高く、その他の領域に対する要求頻度は低いものと考えられる。このように、データの要求を行う状態には様々なものが考えられるため、以下の 3 つのデータ要求モデルを使用し、提案方式の評価を行った。

#### 5.6.1 一様分布モデル

各端末は一様乱数に従いすべての領域から 1 つの領域を選択し、そこへデータの要求を行う。このモデルは他のモデルとの比較に用いる。

#### 5.6.2 近隣優先モデル

ショッピングやイベント会場などでの利用を想定し、各端末は近くのデータ領域に対して優先的にデータの要求を行う。このモデルでは、各データ領域ごとに他

のデータ領域が要求先となる確率 (要求確率) を決定する。各端末は、自身の属しているデータ領域ごとに設定された要求確率に従いデータの要求を行う。

データ領域間の距離を近い順に順位付けしたものを近隣度  $k$  とし、Zipf の法則 (式 (1))<sup>16)</sup> を用いて要求確率を決定する。

$$f(k) = \frac{\frac{1}{k}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{n}} \quad (1)$$

Zipf の法則とは、ある文書中に出現する英単語を出現頻度順に順位付けし、 $k$  番目の単語の出現頻度が全体の占める割合の  $1/k$  に比例するという経験則である。このデータを用いることで、近隣度  $k$  の高い領域ほど、高い確率でデータを要求されることとなる。

#### 5.6.3 人気スポットモデル

観光案内のように人気のある特定の領域 (スポット) に対してのみ多くの要求が行われる環境を想定し、データの要求を行う。このモデルは、各領域にランダムに領域番号  $k$  ( $1 \leq k \leq N$ ) を設定し、Zipf の法則 (式 (1)) により各領域が要求される確率を決定する。

## 6. 結果と評価

本章では、データ取得率と送信データ数の結果をもとに、NA を用いた複製配置方式と SC 方式を比較することで、本提案の有効性を示す。ここで、データ取得率とは、端末のデータ要求に対して取得が成功した確率を表し、送信データ数とは、NA の移動や NA 間でのデータ交換、データ提供時などで、端末が送信したデータの総数を表す。なお、NA の移動も一種のデータの再配置と考えられるため、NA の移動時に保持しているデータも送信データ数とした。ネットワークの負荷は、アプリケーションにおける提供データの大きさによるところが大きいため、本シミュレーションでは送信データ数によってこれを評価した。

本提案における想定アプリケーションが定まっていないため、同じく Geocast を用いて情報提供を行う SC 方式と比較することで、本提案の妥当性を評価する。

### 6.1 データ要求モデルがデータ取得率に与える影響

提案方式が様々な状況に対応できるのかを評価するために、各データ要求モデルに対するデータ取得率の評価を行った (図 3, 図 4)。一様分布モデルと人気スポットモデルは、すべての方式で同じ傾向がみられたため、人気スポットモデルの結果は割愛する。

単純複製配置方式と人口密度依存複製方式は、人口密度や要求モデルによらず SC 方式よりも良い結果となっていることが分かる。NA は、人口密度が高くな

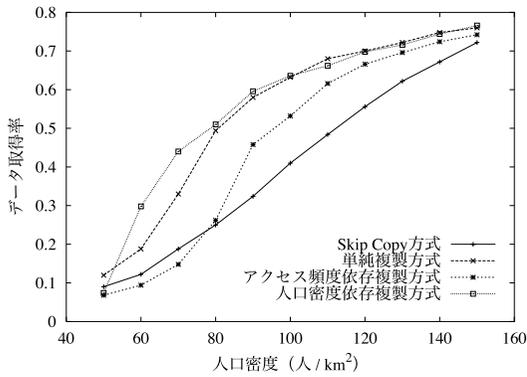


図 3 データ取得率（一様分布モデル）  
Fig. 3 Access success ratio (No-priority).

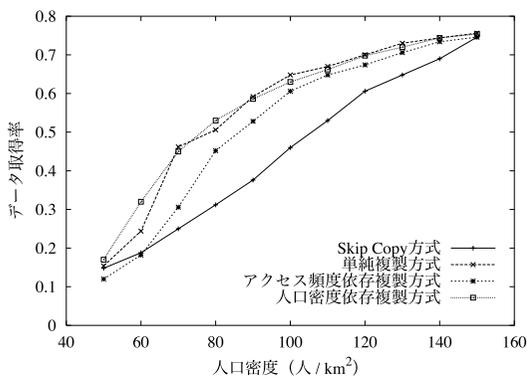


図 4 データ取得率（近隣優先モデル）  
Fig. 4 Access success ratio (Priority-on neighborhood).

るに従い生存時間が延びることから、NA の協調動作によって、広い範囲のデータを数多く保持することで、どの領域に対するデータ要求にも高い確率で応えられることがその理由である。

単純複製方式は、NA が多くのセルに配置されるため、端末が近くの NA からつねにデータを取得することができる。また、NA が多くのセルに配置されるため、データ発生後、NA に収集されることなくデータを保持した端末が領域外に出てしまうことが少ない。さらに、NA 間の距離が近いことから協調動作が滞りなく行われ、NA が広い範囲のデータを数多く保持することができる。このことから、どの領域に対してデータ要求を行っても、近くの NA から高い確率でデータを取得することができるため、要求モデルに依存しない方式といえる。

アクセス頻度依存複製方式では、人口密度が低い場合に一様分布モデルのデータ取得率が低い値を示していることが分かる。これは、アクセス頻度依存複製方式が、人口密度が低い環境で遠くの領域を複製配置先として選択した場合、トポロジによっては多くの端末

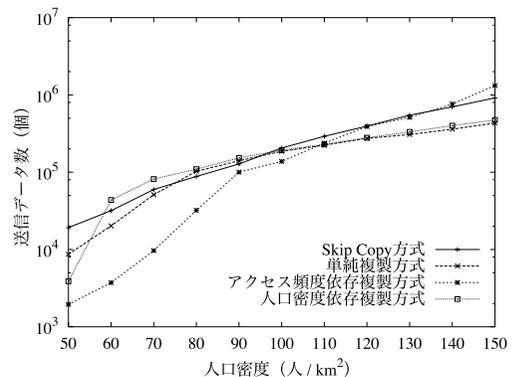


図 5 送信データ数（一様分布モデル）  
Fig. 5 Number of sent data (No-priority).

が求めるデータの発地点近くに NA を配置することができないため、情報発生後、データが NA によって収集されることなく消滅してしまうためである。また、複製配置されないことによる NA の密度の低下によって、NA 間の距離が長くなり、うまく協調動作が行われない。このことから、データ取得率が低くなったと考えられる。一方、人口密度が高い場合は、遠方の領域に複数のデータを持った NA が多くの端末を中継して複製配置されたため、送信データ数が急激に増加した。

人口依存複製方式は、人口密度が高い場合には要求モデルにかかわらず、単純複製方式と似た結果であることが確認できる。この方式は、人口密度が高い場所に NA を複製配置するため、多くの端末から NA までのホップ数が少なくなる。また、本シミュレーションにおいて情報の発生と要求は、人口密度の高い場所で起こる可能性が高い。このことから、単純複製配置と同じように近くの NA によるデータ収集と提供がうまく動作したものと考えられる。

6.2 データ要求モデルが送信データ数に与える影響  
提案方式が様々な状況に対応できるかどうかを評価するために、各データ要求モデルに対する送信データ数の評価を行った（図 5）。要求モデルにかかわらず、送信データ数の結果はほぼ同じ傾向がみられたため、一様分布モデルのみ載せる。

人口密度が 100 人/km<sup>2</sup> 以上では SC 方式と比べ、少ない送信データ数で高いデータ取得率となっていることが分かる。NA は、人口密度が高くなるに従い生存時間が延びることから、NA の複製を再度配置する必要がないため、データ送信数を抑えることができることがその理由である。

単純複製方式では、人口密度が高くなるにつれて、送信データ数の増加が抑えられていることが分かる。

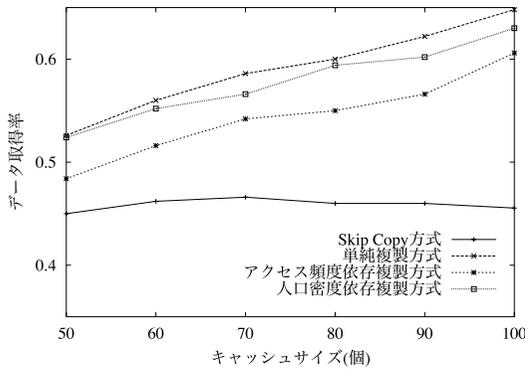


図 6 キャッシュサイズによるデータ取得率 (近隣優先モデル)

Fig. 6 Access success ratio vs. cache size (Priority-on neighborhood).

これは、6.1 節で述べたように、人口密度が高くなるに従い生存時間が延びるため、複数のデータを持った複製を再度配置する必要がなくなったことから、送信データ数を抑えることができたものと思われる。

アクセス頻度依存複製方式では、人口密度が低い場合にデータ取得率が他の方式よりも低い値を示している。これは、アクセス頻度依存複製方式が、人口密度が低い環境で遠くの領域を複製配置先として選択した場合、トポロジによっては複製先に存在する端末とのリンクが存在しないために配置することができなかったことから、データ送信数が他の方式よりも低かったと考えられる。

人口密度依存複製方式は、単純複製方式と似た結果であることが確認できる。この方式は、6.1 節で述べたように、人口密度が高い場所に NA を複製配置するため、多くの端末から NA までのホップ数が少くなる。これにより、近隣の NA が要求されたデータを保持していた場合、4.5 節で述べたように、各端末は、データ要求メッセージの転送を中止する回数が多くなる。このことから、NA は近隣の端末からのデータ要求を受ける割合が高くなり、単純複製配置方式に似た結果となったものと考えられる。

### 6.3 キャッシュサイズの影響

NA は自身が管理する領域に加え、協調動作によって広い範囲のデータ保持を行う。そのため、端末のキャッシュサイズが大きければ最大データ保持数が多くなり、より広い範囲のデータを収集することができ、周囲の端末からのデータ要求に応えることが容易になる。この点を評価するため、キャッシュサイズを変更した評価を行った。キャッシュサイズによるデータ取得率を図 6、送信データ数を図 7 に示す。提案方式では、キャッシュサイズの増加に従いデータ取得率が

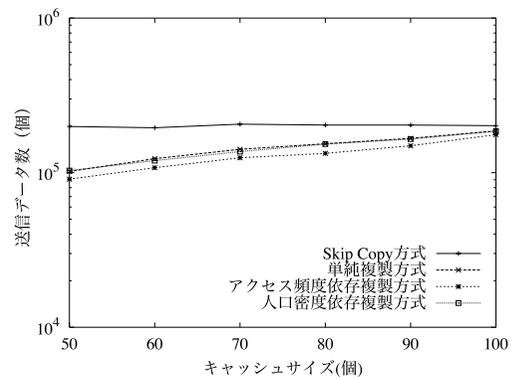


図 7 キャッシュサイズによる送信データ数 (近隣優先モデル)

Fig. 7 Number of sent data vs. cache size (Priority-on neighborhood).

高くなっている。このことから、提案方式が NA の協調動作によって有効にキャッシュを使い、広い範囲のデータを取得するとともに、NA がデータを長時間保持することで、多くのデータ要求に応えることができたといえる。一方、SC 方式では、キャッシュサイズによらずば一定の取得率となっている。本シミュレーションは、5.3 節で述べたようにシミュレーション範囲への端末の出入りを考慮しているため、各端末がシミュレーション範囲内に存在する時間は有限であり、その間に複製配置されるデータ数が限られる。そのため、SC 方式では利用できるキャッシュ量が限られ、結果としてキャッシュサイズを大きくしても、その結果にあまり影響が出ないものと考えられる。

## 7. まとめ

アドホックネットワークを利用して位置依存情報を提供するサービス (LBS) を行う場合、端末の移動によるトポロジの変化やリンクの切断が問題となる。これに対し、既存研究の多くは複数の端末にデータの複製を配置することでデータ取得率の向上を図っている。しかし、端末の移動により複製されたデータが特定の領域から離れてしまうため、頻繁にデータの再配置を行う必要がある。これらの問題を解決するために、本研究では複製配置方法について提案した。本論文では、提案する複製配置方式が移動性の高い環境で有効であることを示すために、歩行者がある領域を通過することを想定したシミュレーションを用いて評価した。

シミュレーション結果より、ある領域のデータを持った NA を他の領域に複製配置することでデータの取得率を向上させることができた。提案方式では、データ要求を行った端末がデータを格納する以外は、各領域に存在する NA 間でデータの複製を行っているため、

人口密度によらず効率的にデータの複製を配置することが可能である。また、NA で利用可能なキャッシュ領域が大きい場合、特に良い結果となっている。近年、携帯電話をはじめとする携帯端末の大容量化が進んでいるため、容易に NA による位置依存情報を提供するサービス (LBS) を利用することが可能になるものと思われる。

また、シミュレーション結果より、提案方式では要求モデルによらず平均して高いデータ取得率となっていることが分かる。このことより、NA 間で協調動作を行うことで、どのような要求に対しても高い確率で対応することが可能となったといえる。

これらの結果より、本論文で提案した NA を用いた複製配置を用いることで、広い範囲のデータを共有することが可能となり、利用範囲を拡大した場合にも効率的な位置情報サービスを行うことができるようになったといえる。

今後は、データの更新を考慮したシミュレーションを行うとともに、NA 間での協調動作をより高度に行うことで、より効果的に NA を動作させることが可能になるものと考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) 垂水浩幸, 鶴身悠子, 横尾佳余ほか: 携帯電話向け共有仮想空間による観光案内システムの公開実験, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.110-124 (2007).
- 2) Becker, C., Bauer, M. and Hahner, J.: Usenet-on-the-fly — supporting locality of information in spontaneous networking environments, *Workshop on Ad Hoc Communications and Collaboration in Ubiquitous Computing Environments*, Ramiro, L., Gerd, K. (Eds.), pp.16-20 (Nov. 2002).
- 3) Zhao, W., Ammar, M. and Zugura, E.: A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks, *Proc. ACM Int'l Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2004)*, pp.187-198 (May 2004).
- 4) 中尾寿朗, 荒尾真樹, 藤本幸一ほか: モバイル端末を利用した鉄道デジタルチケットシステムの開発, 情報処理学会第 6 回高度交通システム研究会, Vol.2001, No.83, pp.15-21 (2001).
- 5) Ko, Y.B. and Vaidya, N.H.: Flooding-based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *ACM/Baltzer Wireless Networks (WINET) Journal*, Vol.7-6, pp.471-480 (2002).
- 6) Papadopuli, M. and Schulzrinne, H.: Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices, *ACM SIGMOBILE Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MOBIHOC)*, pp.117-127 (2001).
- 7) Wolfson, O. and Xu, Bo.: Data-on-the-Road in Intelligent Transportation Systems, *Proc. IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC 2004)*, Taipei, Taiwan (Mar. 2004).
- 8) 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, 電子情報通信学会和文論文誌, Vol.J84-B, No.3, pp.632-642 (2001).
- 9) 田森正統, 石原 進, 水野忠則: 無線アドホックネットワークにおける位置依存情報複製配置手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-B, No.11, pp.2214-2227 (2005).
- 10) 土田 元, 石原 進: 無線アドホックネットワークにおける近隣端末情報を利用した位置依存情報複製配布スケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3234-3243 (2006).
- 11) 八木啓介, 屋代智之: Agent を用いてその場にチャットコミュニティを存在させるシステムの構築, 情報処理学会第 9 回高度交通システム研究会, Vol.2002, No.48, pp.93-100 (2002).
- 12) 屋代智之, La Porta, T.F.: Nomadic Agent System: インフラに依存しない位置情報サービス提供システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2952-2962 (2005).
- 13) 仁平和博, 井上真吾, 沖原光晴, 屋代智之: 位置情報提供サービスが可能な Nomadic Agent の耐障害性に関する提案, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2963-2972 (2005).
- 14) 仁平和博, 井上 昭, 屋代智之: 状況に適応して複製を生成する Adaptive NA (ANA) の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3101-3111 (2006).
- 15) 菊地聡敏, 八木啓介, 屋代智之: 歩行者版ブロープ情報システムの提案, 情報処理学会第 13 回高度交通システム研究会, Vol.2003, No.56, pp.47-54 (2003).
- 16) Zipf, G.: *Human behavior and the principle of least effort*, Addison-Wesley (1949).

(平成 19 年 5 月 18 日受付)

(平成 19 年 11 月 6 日採録)

**井上 昭 (学生会員)**

2006年千葉工業大学情報科学部情報ネットワーク学科卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科情報科学専攻博士前期課程在学中。アドホックネットワーク、ITSに関する研究

に従事。

**仁平 和博**

2004年千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科卒業。2007年同大学大学院情報科学研究科情報科学専攻博士前期課程修了。同年(株)JR 東日本情報システム入社。アド

ホックネットワーク、ITSに関する研究に従事。

**屋代 智之 (正会員)**

1992年慶應義塾大学大学院理工学研究科計測工学専攻修士課程修了。1998年同大学大学院後期博士課程修了。同年より千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科専任講師。現在、同大学情報科学部情報ネットワーク学科准教授。

博士(工学)。高度道路交通システム(ITS)、モバイル・コンピューティング等の研究に従事。情報処理学会高度交通システム研究会幹事。著書『ITSと情報通信技術』(裳華房)等。電子情報通信学会、人工知能学会、IEEE 各会員。