

## 位置情報サービスが可能な Nomadic Agent の耐障害性に関する提案

仁 平 和 博<sup>†</sup> 井 上 真 吾<sup>†</sup>  
 沖 原 光 晴<sup>†</sup> 屋 代 智 之<sup>†</sup>

著者らは、ソフトウェアと携帯端末のみを用いて歩行者にリアルタイムかつ地域に密着した情報提供を行うために Nomadic Agent (NA) を提案している。NA とは位置情報を認識し、特定の範囲内の情報を保持したまま、その範囲内に存在し続けることが可能な一種の Mobile Agent である。本論文では、NA の移動先として選択する領域を情報提供範囲外にまで広げ、最適な移動先端末を選択する移動アルゴリズムと、特定の範囲内につねに 2 つの NA を発生させることで、突発的なアクシデントに対応する DNA (Dual-NA) を提案する。

### Proposal Concerning Fault-tolerance of Nomadic Agent with Capability of Location-based Service

KAZUHIRO NIHEI,<sup>†</sup> SHINGO INOUE,<sup>†</sup> MITSU HARU OKIHARA<sup>†</sup>  
 and TOMOYUKI YASHIRO<sup>†</sup>

We had proposed and implemented Nomadic Agent (NA) for pedestrians to provide location-based and real-time information only using software and mobile terminals. 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 and has a function to maintain information of the area. We propose agent migration algorithms to select the optimal terminal. "DNA (Dual-NA)" which has an ability to cope with unexpected accidents. To realize these functions, NA generates its clone as backup in the specific area.

#### 1. はじめに

近年、携帯電話や PDA の利用者数の増加や性能の向上により、人々の生活の周りにはいつでも、どこでも情報提供サービスを受けることのできる環境が整いつつある。特に携帯電話の普及は著しく、国民の 3 人に 2 人が所持している計算である。通信方式も第 3 世代へと移行が進んでおり、データ通信のブロードバンド化が進んでいる。これにともない、大容量コンテンツの需要が伸びており、マルチメディアコンテンツや様々なアプリケーションの提供が行われている。また、携帯端末をネットワークへ接続することのできる IEEE802.11 系などの無線通信技術の規格化が進み、ユビキタス環境が整いつつある。

これらの背景を受けて、著者らは歩行者 ITS の一環として歩行者の位置情報に応じた情報提供を行う No-

madic Agent (NA) の提案・開発を行ってきた<sup>1)~4)</sup>。NA とは、歩行者が所持している携帯端末の位置情報をもとにこれらの端末間を移動することにより、特定の場所で発生した情報をその場所に残すことが可能な一種の Mobile Agent である。NA は携帯端末のみでサービスの提供が可能であり、サーバなどの設置が不要なため、低コストな運用が可能である。

しかし、歩行者の流れが一時的に途切れ、空白地帯ができることで、移動先となる端末を発見することができずに NA が消滅してしまう場合がある。また、NA 保持端末のトラブルにより電源断が発生する場合や、店内などの電波の届かない場所へ移動することにより NA 保持端末が消滅してしまう場合がある。このように、一時的かつ局所的な要因により NA が消滅してしまう場合でも、情報を必要とするユーザは周辺に存在しているものと考えられる。このような場合に NA が消滅してしまうことは位置情報サービスとして望ましくない。

<sup>†</sup> 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

本研究では、これらの問題点を解決するために、情報提供範囲外へ出た NA を消滅させずに、端末間を移動させることで範囲内に戻すための最適な移動先端末の選択方式と、特定の範囲内に 2 つの NA を発生させ、情報を共有し、お互いの状況を監視させることでアクシデントに対応する DNA の 2 つの提案を行う。

なお、以下で特に断りなく「範囲内・外」と記述した場合、「情報提供範囲内・外」を指す。

## 2. 関連研究

本研究の関連研究として、位置に応じた情報提供サービスを以下にあげる。

### 2.1 SpaceTag

SpaceTag<sup>5),6)</sup>とは、位置・時間の時空間情報をもとに、タグと呼ばれる情報をモバイル端末に配信するシステムである。扱うオブジェクトとしてテキスト、画像、音声、プログラムなどがある。

SpaceTag は、コンテンツプロバイダやユーザがタグを SpaceTag の管理サーバにアップロードする。これには位置・時間・個数の属性が含まれており、このタグにアクセスするのは、属性に記述された位置や時間においてのみ可能である。また、SpaceTag の特徴として、データをはがすという概念が存在し、SpaceTag オブジェクトにアクセスすることが、はがすという動作につながる。はがしたタグは携帯端末上でローカルなものとなる。サーバ上のタグの個数が 0 になると、そのタグは消滅したことになる。また、携帯端末上のローカルなタグをもう一度空間に張り付けることも可能である。

しかし、SpaceTag はサーバ・クライアント型のシステムであるため、サーバに接続できない環境では使用することができない。

### 2.2 アドホックネットワークにおける移動体の位置を考慮した複製配布方式

ここで提案されている複製配布方式<sup>7)</sup>とは、アドホックネットワークにおいて位置情報をもとにした効率的な複製データの配布方法である。アドホックネットワークでは、端末の移動により端末どうしの通信ができなくなり、その端末が保持していた情報にはアクセスできない状況が発生する。

これを回避するために、複製した情報を複数の端末で保持する。複製は、ある位置で情報を取得した端末がフラッシングすることにより配布を行う。複製情報を受け取った端末は位置情報をもとに複製を保持するかどうかを決定する。この際、複製情報を保持する端末は、隣接しないよう数ホップおきに配置される。

この方式では、端末の数に応じて複数の複製が作成されるため、各端末では不必要な負荷が発生することがある。

### 2.3 Usenet-on-the-fly

Usenet-on-the-fly<sup>8)</sup>とは、インフラを使用せずに MANET 上で位置に応じた情報の収集・配信を行うシステムである。情報は P2P により伝播され、提供する範囲は、TTL とホップカウント数を用いて制御している。

Usenet-on-the-fly では、Usenet の NewsGroup のように、情報を主題ごとにチャンネル分けし、ユーザによって選択されたチャンネルの情報のみを配信する。

しかし、現在の Usenet-on-the-fly では、GPS 情報などによる位置情報を考慮していないため、情報の配信は飲食店などの固定位置に存在する端末のみが行っている。また、配信された情報をその場にとどめる処理は行っていない。

### 2.4 モバイルエージェントのためのポリシーに基づくフォールトトレランス機能の制御<sup>9)</sup>

一般的なモバイルエージェントのフォールトトレランス手法として、エージェント自体が障害発生を検知して何らかの対処をとるものと、エージェントなどを多重化することによって冗長性を高め、障害発生に備えるものがある。この論文では、多重化によって障害発生に備えるフォールトトレランス手法をとっている。

多重化によるアプローチでは、複製したエージェント間の情報の同期や重複実行が問題となる。これらは、エージェントの実行を行う各プレースやステージごとに問題の発生場所が異なるため、エージェントが行う処理の機能を使い分ける必要がある。そのため、この方式では、エージェントが行う処理の種類などに応じてフォールトトレランスの機能の選択を行っている。これにより、耐障害性を損ねることなく、オーバヘッドの軽減を可能としている。

### 2.5 FATOMAS

FATOMAS<sup>10)</sup>は、フォールトトレランスの手法として、エージェントに依存しないアプローチを行う。

FATOMAS では、エージェントが FTE (Fault Tolerance Enabler) という、フォールトトレランス機能を提供するプロトコルとともにプレース間の移動を行う。これにより、モバイルエージェントのプラットフォームを変更せずに耐障害性の提供が可能であり、エージェントに依存しないフォールトトレラントが可能となる。しかし、FTE が正常に動作するような状況でのみ障害の検知や対処を行うため、対応可能な障害が限られる。そのため、この FTE を備えたエージェ

ントの多重化やパイプラインモードでの実行を行うことで、耐障害性を高めている。

しかし、FATOMAS や 2.4 節のフォールトトレランス機能はサーバ上で動くことを前提としており、アドホックネットワークでの使用を考慮にいていない。

また、多重化により耐障害性を高める方法は、アドホックネットワーク上では、特定の場所の情報を持った端末が歩行者の移動とともに特定の場所の外へと出てしまうことが十分に考えられるため、複製が意味をなさない場合が発生するものと考えられる。

### 3. Nomadic Agent (NA)

#### 3.1 NA の概要

NA とは、特定の場所の情報をその場所に残し続けることが可能な一種の Mobile Agent である。

NA は発生時に、発生位置を基準として情報提供範囲などの設定を行う。この範囲内にとどまり続けるために、GPS などから得られる各端末の位置情報をもとに、端末間を自律的に移動し続ける。これにより、つねに特定の場所に情報を残し続けることが可能となる。

NA は、歩行者が持つ端末どうして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。そのため、情報を管理するための固定サーバを必要としないという特徴がある。このように特定の場所の情報を NA がその場所で管理するため、多くの歩行者が情報を欲しいと思う特定の場所に、その場所で収集したり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。また、NA に蓄積した様々な情報を利用するアプリケーションを実装することで、様々なサービスを行うことが可能である。

NA を用いたサービスは、時間や位置情報を使用し、時間や位置に依存・限定、双方向性を持った展開が可能だと考えられる。しかし、NA を用いたサービスは、アドホックネットワークを利用するため、長時間の持続的なサービスには適さない。

NA はアドホックネットワークを構築できなくなったときに、特定の場所に存在できなくなる。これは、特定の場所を通る歩行者が少ないということを表しているため、その場所に関する情報を提供する必要はないと考えられる。反対に、ある特定の時間帯に人通りが多くなる場所に NA を起動させることで、時空間限定の有益な情報や、周辺店舗などの宣伝といった突発的な情報提供サービスに有効である。

#### 3.2 NA の発生

NA はアプリケーションにより様々な発生の形態をとることが可能である。発生条件の例を以下にあげる。

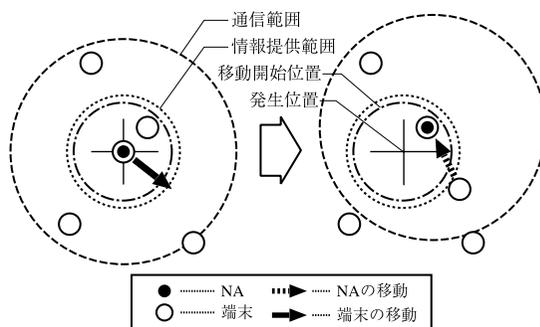


図 1 NA の移動動作

Fig. 1 NA migration scheme.

#### (1) 位置情報を利用

地図情報と位置情報を利用し、駅や交差点などのつねに人の集まる場所に発生させる。

#### (2) 人口密度を利用

端末の通信範囲内に存在している端末数から、一定以上の端末を認識した場合に発生させる。

#### (3) ユーザの意思による発生

店舗などが宣伝目的で NA を利用する場合などに、店舗側の意思により NA を店舗周辺に発生させる。

NA を発生させる際に複数の NA が隣接して配置されると、電波干渉などの問題が発生するため、一定の間隔を保って配置する必要がある。しかし、現在想定されている NA では、複数の NA を隣接して配置させることは考慮していない。

なお、NA はつねに決められた場所に発生させるわけではないため、新しい NA を発生させる際の初期情報は特に存在しない。しかし、インフラが利用可能な場合には、使用するアプリケーションにより初期情報を設定することは可能である。

#### 3.3 移動動作

図 1 に NA の移動動作を示す。

NA は発生後、消滅するまで一定間隔でブロードキャストを行い続ける。ブロードキャストを受信した端末が各々の位置情報を返すことで、NA は周辺端末の位置関係を把握する。これをもとに、NA は移動先となる端末を選択する。移動先の選択は発生時に設定される移動開始位置を基準に行う。NA を保持している端末が移動開始位置に到達した場合、NA は各端末の位置情報をもとに発生位置に最も近い端末に移動する。この動作を繰り返すことで、NA は特定の場所にとどまることが可能となる。

#### 3.4 情報提供範囲外での移動動作

図 2 に、情報提供範囲外での NA の移動動作を示す。NA は発生位置近くに移動することができずに移

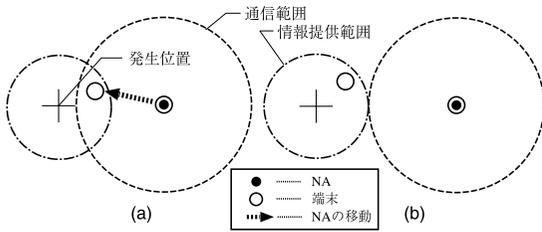


図2 情報提供範囲外での移動動作

Fig. 2 Migration scheme on outside the area.

動開始位置を過ぎてしまった場合でも、しばらくは存在し、移動先となる端末を探し続ける。図2(a)のように、範囲内に移動可能な端末を発見した場合、この端末に移動することで範囲内に戻ることができる。しかし、図2(b)のように、直接戻ることができない位置までNA保持端末が移動してしまうと消滅する。

### 3.5 NAを利用する環境

NAを利用するには以下の環境が必要である。

- PDAや携帯電話などの携帯端末
- Javaの実行環境
- アドホック接続可能な無線通信機器(Bluetooth, ZigBee, IEEE802.11系のアドホック接続など)
- 位置検出デバイス(GPSなど)

### 3.6 想定アプリケーション

NAを使用したアプリケーションの例を以下にあげる。

#### (1) プローブ情報システム

NAは、特定の場所にとどまり続け情報の収集・提供を行うため、プローブ情報システムに適しているといえる。

想定するアプリケーションを以下にあげる。

- 歩行者ナビゲーション<sup>11)</sup>  
交差点ごとにNAを配置させ、歩行者の経路情報を取得し統計的に処理することで、道路工事などの情報をあらかじめ取得し、各個人の状況に適したルート案内が可能となる。
- 渋滞検知・伝達  
ある地点にNAを配置させ、車速や車群密度などの情報から渋滞を検知する。その際、1方向のみが渋滞である場合は対向車に検知した渋滞の位置情報を渡し、対向車の移動により渋滞地点より後方で渋滞情報を持たせたNAを発生させることで、後方の車両に渋滞状況を伝達することが可能となる。
- GISの更新  
各端末の移動経路情報を統計処理し、その経路情報とGISを比較することで、地図上ではま

だ存在していない新しい道などを発見することができる。これにより、GISの更新作業などが効率的にできるものと考えられる。

#### (2) 情報提供サービス

NAは、無線通信が可能な携帯端末のみでネットワークが構成でき、特定の場所に情報をとどまらせることが可能なため、位置に依存した情報提供サービスに適しているといえる。

想定するアプリケーションを以下にあげる。

- イベント会場での情報配信  
何らかのイベント時に、特定のブース付近にNAを配置させ、ブース情報を配信することが考えられる。これにより、情報受信者近辺のブース情報のみを取得することができる。
- 店舗情報の提供  
特定の店舗などが宣伝目的でNAを利用する場合、店舗付近にNAを配置して店舗情報を配信するサービスが考えられる。飲食店の場合にはメニューやランチタイムサービスなどの情報配信が考えられる。また、単純に店舗付近に配置させるだけでなく、歩行者に情報を渡して駅前などの人通りの多い場所へと移動後、NAを配置させるといったことも可能である。

#### 3.7 長期間の使用法

NAは周囲に人が存在しない場合、保持している情報ごと消滅してしまう。本来、人がいない状態では情報を欲するユーザがいなかったため、NAが存在する必要はないが、プローブ情報システムのようなアプリケーションを使用した場合、長期間の情報収集が必要となることが考えられる。そこで、深夜のように人がいなくなる時間があらかじめ分かっている場合には、歩行者の移動によりインフラのある地点までNAを移動させ、情報をサーバにアップロードしておく方法が考えられる。なお、NA自体にはサーバにアップロードをするような機能は存在しないため、アプリケーションによりアップロードを行うものとする。

情報をサーバにアップロードする際、インフラのある地点を最も人が集まると想定される場所(駅など)とすることで、人の少ない状況でも高い確率でインフラのある地点へとたどり着けるものと考えられる。また、朝になり再び人が存在する状態になったとき、インフラから歩行者に情報を渡し、移動により発生位置へと復帰させることが可能となる。このような機能を、長期間の情報が必要なアプリケーションに備えさせることで、長期的なNAの稼働が可能となる。

4. 最適な移動先端末の選択方式

従来の NA は、情報提供範囲外では直接範囲内へと戻ることが可能な端末以外には移動できない。また、範囲内へ直接戻ることができない位置まで NA 保持端末が移動してしまうと、保持している情報ごと消滅してしまう問題があった。

現実的な環境を想定した場合、一時的かつ局所的に人口密度が低くなり、範囲内に人がいなくなるような状況は十分に考えられる。しかし、その際に NA が範囲内へと戻れずに消滅してしまうと、過去の情報がすべてなくなってしまうため、位置情報サービスとして望ましくない。

そこで、直接範囲内へと移動することのできる端末がない場合でも、範囲外に存在する端末へ移動し、特定の範囲内に戻すことを試みる。これにより、一時的・局所的な過疎化に対応する。また、その際の移動先端末の選択方式として、移動先となる端末を効率的に選択することで、より効果的に NA の消滅を防止できると考えられるため、以下の 4 つの移動先端末の選択方式を検討する。

4.1 最短距離端末選択

移動先端末の選択は従来方式と同様に、最も NA の発生位置に近い端末とする。従来方式との違いは、情報提供範囲外の端末も移動先として選択し、移動を行うことである。

4.2 最接近端末選択

移動候補となる端末の移動履歴から、時刻  $t_1 \cdot t_2$  の端末の位置  $P_{t1} \cdot P_{t2}$  を用いて、接近方向の移動距離  $d$  を算出する。NA の発生位置に接近している端末の中から、接近方向の移動距離  $d$  の値が最も大きい端末（最も発生位置に接近している端末）を選び、NA の移動を行う（図 3(a)）。

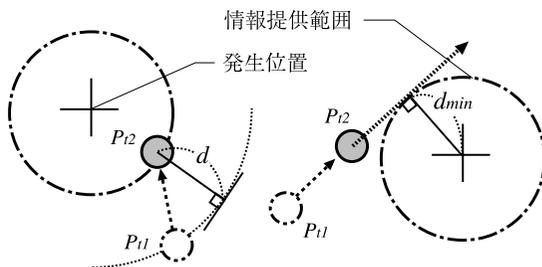
4.3 予測最接近端末選択

移動候補となる端末の移動方向から予測経路を導き、その経路上と NA の発生位置との距離が最も小さくなる点の距離  $d_{min}$  を求める。求めた距離  $d_{min}$  の値が最も小さい端末を選択し移動を行う（図 3(b)）。

最接近端末選択と予測最接近端末選択を比べて、予測最接近端末選択では移動方向のみが考慮されているが、最接近端末選択は移動方向と移動速度が考慮されている。

4.4 2hop 内最短距離端末選択

2hop 以内に存在している端末の中から最も NA の発生位置に近い端末を選択し、必要に応じてマルチホップでその端末へ移動する（図 4）。ここで、NA の



(a) 最接近端末選択 (b) 予測最接近端末選択

図 3 最接近端末選択・予測最接近端末選択

Fig. 3 Most approaching/estimated most approaching terminal selection.

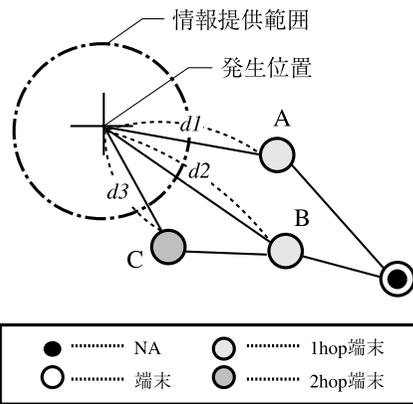


図 4 2hop 内最短距離端末選択

Fig. 4 Nearest terminal selection in 2hop.

発生位置に一番近い 1hop 端末は A であるが、2hop 端末を含めて考えると C となる。よって C に移動するために NA は B を移動先端末とする。

4.5 その他の選択方式

その他の移動先端末の選択方式には様々な方式が考えられる。例として、2hop 内の端末から最接近/予測最接近端末を選択する方式、3hop 以上の端末から移動先を選択する方式などがあげられる。しかし、情報提供範囲外で NA の移動を行う場合、そもそも範囲内に端末が一時的に存在しない状態であり、範囲外においても端末がほとんど存在しないため、2hop 以上のリンクが結ばれるケースは少ないものと考えられる。このため、本提案では近隣に存在する端末のみを対象とした移動先の選択方式に限定して評価を行った。

5. DNA (Dual-NA)

従来の NA では、NA を保持している端末に何らかのアクシデントが発生し端末の電源が落ちると、NA は保持していた情報ごと消滅してしまう。一般的なモバイルエージェントでは、固定サーバ上に複製を作成

するなどの多重化によりアクシデントに対する冗長性を高めるといった手段をとっている。しかし、NA では固定サーバを利用せず、保持している情報ごと携帯端末上を移動するため、複数の端末に複製を作成するようなことは、端末に対する負荷が大きくなるため、現実的ではない。また、複製を保持している端末が、移動により情報提供範囲外へと出てしまった場合、複製が意味をなさなくなる場合が考えられる。

そこで、アクシデントに対応し、端末に対する負荷を最小限に抑えるために、情報提供範囲内に発生させる NA をつねに 2 つとすることで、情報をより長く特定の場所に残すことが可能な DNA (Dual-NA) を提案する。

### 5.1 DNA の発生

Main-NA は従来の NA と同様に発生させるが、Sub-NA は「最も行動に適した端末」(今回は Main-NA の発生位置に最も近い端末とした)に Main-NA が発生させる。この際、ユニキャストにより Sub-NA は Main-NA から初期位置や移動開始位置などの設定情報を受け取り、これをもとに行動を開始する。

### 5.2 2 つの NA

DNA で発生させる 2 つの NA は、「Main-NA」と「Sub-NA」の 2 つに分けられる。これら 2 つの NA は従来のものと同様の機能を持ち、一定間隔でブロードキャストを行い、その返信により各端末の位置情報などを収集している。また、NA 間の通信により、自端末の位置情報や保持している情報、各々の NA が把握している端末と、その位置情報といった情報をやりとりしている。

2 つの NA が同一の情報提供を行うことは冗長であるため、Main-NA のみがこれを行う。Sub-NA は Main-NA によって発生させられるため、発生時は情報提供を行わない。これによる両 NA の違いは、情報提供の有無だけであるため、情報提供を行う NA を Main-NA からの要求、あるいは Sub-NA による Main-NA の不在検出時に切り替えることで、両者の役割を入れ替えて行動させることが可能である。

また、従来の 1 つの NA と比べ、DNA では 2 つの NA が存在しているため、情報提供範囲外に 2 つの NA が両方とも出てしまった状況でも、移動先端末を探索する範囲が最大で 2 倍となり、従来の NA では移動することのできない位置にいる端末にもどちらかの NA が移動することが可能となる。そのため、移動先端末を探索することにおいても、NA を 2 つ配置することは有効であると考えられる。

### 5.3 DNA の切り替え

DNA では、Main-NA のみが情報提供を行うため、できる限り Main-NA を情報提供範囲内に残す必要がある。Sub-NA 以外に移動先となる端末が存在しない状況で Main-NA が範囲内から出てしまうと、一時的に情報提供を行えない状態になってしまう。そこで、範囲外に出ようとした NA が Main-NA の場合、NA が一定間隔で送信している端末の位置情報から Sub-NA の位置を確認する。この際、Sub-NA が Main-NA よりも発生位置の近くに存在していた場合、Main-NA は Sub-NA に対して Main-NA に変更するように要求を出し、自身を Sub-NA とする。これにより、継続した情報提供を行うことが可能である。

### 5.4 情報の同期

DNA では、2 つの NA が同じ情報を共有するために、情報の同期を行う。Main・Sub-NA ともに、同じ情報提供範囲内の情報を収集しているため、基本的には同じ情報を保持している。しかし、一時的な通信障害により一方の NA と通信ができなくなり、取得する情報に差が発生することが考えられる。そのため、Sub-NA では Main-NA が一定間隔で行っているブロードキャストの情報をもとに、両者の差分をチェックする。差分が存在した場合、Main-NA に差分の送信を要求し、また、Sub-NA だけが持っている情報を Main-NA に送信することにより、差分の交換処理を行う。これにより、つねに 2 つの NA はほぼ同じ情報を保持することが可能となる。

### 5.5 複製

各 NA はつねに情報提供範囲内に存在している端末の位置情報を取得している。取得した情報の中に対となる NA 端末の情報が一定時間含まれていない場合、もう一方の NA は範囲内には存在しないと判断する。この場合、範囲内に残っている NA が Sub-NA であった場合、自身を Main-NA に変更し Sub-NA の複製(再発生)を行う。

複製は、発生時と同様に最も行動に適した端末に作成する。その際、複製された NA は初期位置などの設定情報とともにこれまで取得してきた情報を Main-NA から受け取り、範囲内に 2 つの NA が存在する環境を再構築する。これにより、端末に電源断などのアクシデントが発生した場合でも継続した情報提供が可能となる。

### 5.6 統合

DNA では、NA 端末が情報提供範囲外に出てしまってもしばらくは消滅せずに存在し、移動先となる端末を探し続ける。そのため、この NA が再び範囲内に

表 1 シミュレーション条件  
Table 1 Simulation conditions.

パラメータ	値
シミュレーション範囲	0.5 km × 0.5 km
人口密度	40 ~ 280 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)
端末の移動時間	平均 176.25 秒
端末の待機時間	平均 30 秒 (指数分布乱数)
端末の通信範囲	半径 100 m
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

戻ってくる場合がある。しかし、戻ってきた NA が範囲外に出ていた間に、すでに範囲内に残っていた端末が複製を行っていた場合、不必要な端末の負荷をなくするために NA の統合を行う。

統合は各 NA 間で情報の同期 (5.4 節参照) をとった後、再び戻ってきた NA を消滅させることによって実現する。これにより、範囲内の NA はつねに最大 2 つ (Main/Sub) に保たれる。

## 6. シミュレーション条件

提案方式を評価するためにシミュレーションを行った。シミュレーションの歩行者移動モデルについては、Random Waypoint Model<sup>12)</sup> を利用した。シミュレーション条件を表 1 に示す。

最適な移動先端末の選択方式では、従来方式と 4 つの検討方式についてシミュレーションを行った。なお、シミュレーション範囲内に配置する NA はつねに 1 つのみとした。

DNA のシミュレーションでは、端末の電源が切れるアクシデントを発生させ、その対応を検証した。アクシデントの発生は、最初に各端末が発生した後、10 分以内のランダム時間分だけ電源を入れた状態にし、その後 1 分間だけ電源が切れるようにした。その後、10 分起動後に 1 分間電源が切れるという動作を繰り返す。NA を保持した端末にアクシデントが発生すると、NA は消滅する。また、他の端末への移動ができずに発生位置からの距離が生存可能範囲 (150 m) を越えてしまった時点でも消滅する。なお、シミュレーション範囲内に配置する DNA はつねに 1 組のみとした。

## 7. 結果

### 7.1 最適な移動先端末の選択方式

各人口密度ごとの NA の平均生存時間を図 5 に、平均稼働時間を図 6 に示す。

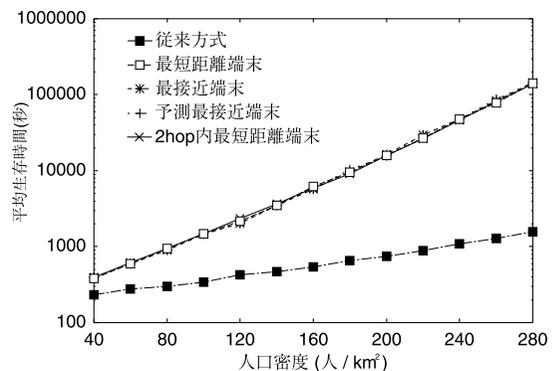


図 5 NA の平均生存時間  
Fig. 5 Average lifetime of NA.

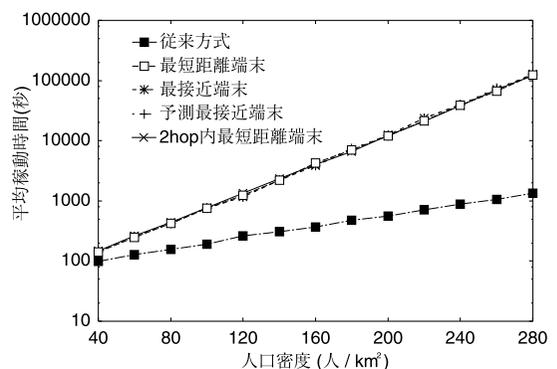


図 6 NA の平均稼働時間  
Fig. 6 Average active time of NA.

生存時間とは、情報提供範囲内外問わずに NA が存在していた時間である。また、稼働時間とは、情報提供範囲内に NA が存在した時間である。

図 5, 図 6 から、各方式における NA の平均生存時間・平均稼働時間ともに、従来方式と比べて飛躍的に高い結果が得られた。これは、情報提供範囲外にいる端末を移動先の候補にすることの有効性を示している。

しかし、各方式において、生存・稼働時間ともにほとんど変化が見られなかった。この点について、図 7 と図 8 から考察する。

図 7 は、各方式が最短距離端末を選択したときと同様の端末を移動先として選択した割合を示しており、図 8 は情報提供範囲外における移動時の平均移動先端末候補数を示している。図 7 から、どの方式でも人口密度に関係なく、最短距離端末を選択した確率は 93% 以上という高い値が出た。これは、各方式においてほとんど同じ端末を移動先として選択していることを示している。この理由として、図 8 から、移動先端末の候補がほとんどの場合において 1 つしか存在しないためであると考えられる。そのため、図 5, 図 6 の

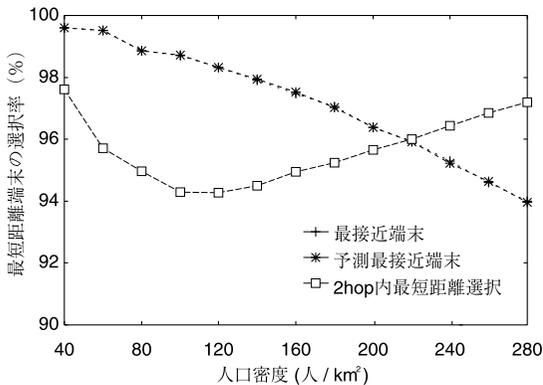


図7 最短距離端末の選択率

Fig. 7 Selection rate of nearest terminal.

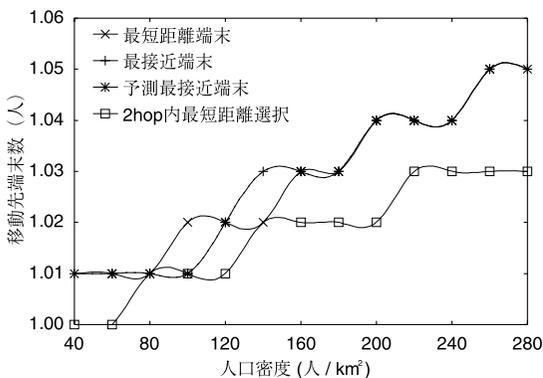


図8 平均移動先候補端末数

Fig. 8 Number of average destination candidate terminals.

どの方式でもほとんど違いが現れなかったものと思われる。

また、図7の2hop内最短距離端末選択方式において、一時的に選択率が落ちている原因を考察する。人口密度が約40~80人と低い場合、そもそも移動先となる端末が存在しないため、他の方式との違いが現れなかったものと考えられる。しかし、約80~160人では、人口分布にばらつきが発生し、適度に1hop~2hop間のリンクが結ばれ、移動先となる端末の候補が増えるため、選択率が落ちているものと考えられる。また、約160人以上となると、1hop内の最短距離端末とほぼすべての2hop端末間のリンクが結ばれることになるため、最短距離端末選択方式との差が出なかったものと考えられる。

これらの結果から、人口密度が40~80人と低い場合には各方式間の差がほとんど出なかったため、人口密度が低い状況では、処理が単純な最短距離端末選択の方が端末への負荷を軽減でき、有効であると考えられる。また、最接近端末、予測最接近端末選択方式で

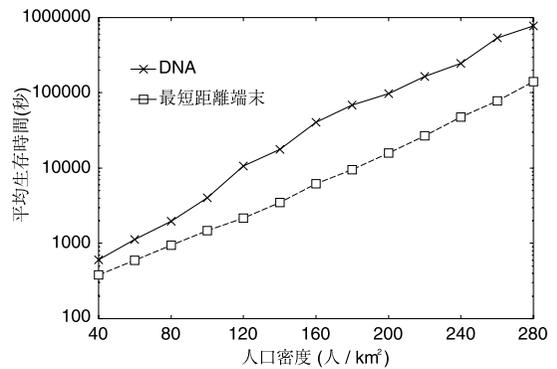


図9 DNAの平均生存時間(アクシデントなし)

Fig. 9 Average lifetime of DNA without accidents.

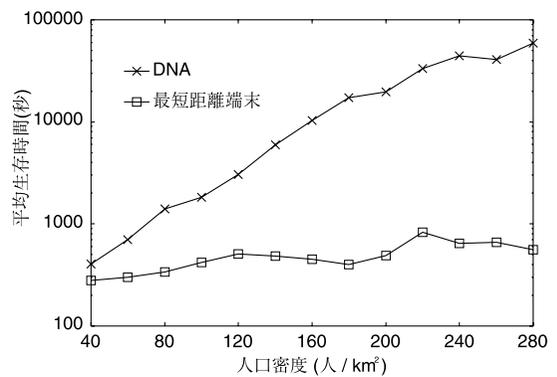


図10 DNAの平均生存時間(アクシデントあり)

Fig. 10 Average lifetime of DNA with accidents.

は人口密度に比例して良好な結果が出ていることから、人口密度が高い状況が想定される環境で有効であると考えられる。2hop内最短距離端末選択方式では前述の考察より、人口密度が80~160人程度となる状況では選択率が落ちていることから、80~160人といった適度に人口の分布にばらつきの発生するような状況において有効であると考えられる。

## 7.2 DNA

アクシデントを考慮しない場合のDNAと、前章の最短距離端末選択方式の平均生存時間を図9に、アクシデントを考慮した場合の平均生存時間を図10に示す。

図9より、DNAの生存時間は最短距離端末を選択した場合に比べ、約3倍と飛躍的に延びている。これは、従来の1つのNAに比べて移動先端末の発見確率が高いことを示している。このことから、NAを2つ配置することは有効であることが分かる。

アクシデントを考慮した場合、1つのNAではアクシデントに対応できないため、NA保持端末にアクシデントが起こった時点でNAは消滅してしまう。その

ため、図 10 においてどの人口密度でも生存時間はほとんど変わらず、低い値となっていることが分かる。また、DNA での生存時間はアクシデントを考慮しない場合と比べると、1/10 以下となっている。これは、シミュレーション条件において人口密度が低い場合に、一方の NA が範囲外に出ている際に、もう一方の NA がアクシデントにより消滅してしまい、範囲外の NA も戻ってくるできない状態が高い確率で起きていることが考えられる。しかし、アクシデントなしで最短距離端末を選択した場合とほとんど差がない結果であり、アクシデントの対応はできているといえる。

## 8. ま と め

本論文では、特定の場所の情報をその場所に残し続けることが可能な NA について、その生存時間を延ばすための手法を提案した。

移動先端末の最適化と DNA により、NA の生存時間は飛躍的に向上した。また、一時的な人口の過疎化、端末のアクシデント、電源断や建物などの電波の届かない場所への移動による電波遮断にも耐えられるものとなった。これにより、より安定した情報提供が可能となり、長時間の情報収集を必要とする NA のアプリケーションの実装も可能になるものと考えられる。

今後は、電源断による影響を調べ、この影響を回避する方法を検討していく必要がある。また、人口分布を流動的に過密・過疎にするなどして、より現実の環境に近づけた移動モデルを作成し、シミュレーションを行う予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 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).
- 2) 井上真吾, 八木啓介, 屋代智之: 歩行者 ITS 版 Nomadic Agent への UWB の適用に関する評価, 情報処理学会第 65 回全国大会, Vol.3, pp.314-315 (2003).
- 3) 八木啓介, 菊池聡敏, 井上真吾, 屋代智之: Nomadic Agent を用いた情報提供と UWB 適用に関する評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2003) シンポジウム論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2003, No.9, pp.565-568 (2003).
- 4) 菊池聡敏, 八木啓介, 加藤泰子, 屋代智之: Nomadic Agent の提案と応用, 情報処理学会第 16 回高度交通システム研究会, Vol.2004, No.19, pp.7-14 (2004).
- 5) 垂水浩幸, 森下 健, 中尾 恵, 上林弥彦: 時空

間限定型オブジェクトシステム: SpaceTag, インタラクティブシステムとソフトウェア VI, pp.1-10, 近代科学社 (1998).

- 6) Tarumi, H. Morishita, K. Nakao, M. and Kambayashi, Y.: SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application, *Proc. International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'99)*, Vol.1, pp.207-212 (1999).
- 7) 田森正紘, 石原 進, 水野忠則: アドホックネットワークにおける移動体の位置を考慮した複製配布方式, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2001) シンポジウム論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2001, No.9, pp.31-36 (2001).
- 8) 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. and Gerd. K. (Eds.), pp.16-20 (Nov. 2002).
- 9) 富田隆彦, 高田眞吾, 飯島 正, 土居範久: モバイルエージェントのためのポリシーに基づくフォールトトレランス機能の制御, FIT (情報科学技術フォーラム) 2003, pp.223-225 (2003).
- 10) Pleisch, S. and Schiper, A.: FATOMAS — A Fault-Tolerant Mobile Agent System Based on the Agent-Dependent Approach, *Proc. Intl. Conf. on Dependable Systems and Networks*, pp.215-224 (2001).
- 11) 菊池聡敏, 八木啓介, 屋代智之: PROBER—歩行者版プローブ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 (2003-ITS-13), Vol.2003, No.56, pp.47-54 (2003).
- 12) Johnson, D.B. and Malts, D.A.: Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, *Book on "Mobile Computing,"* Imielinski, T. and Korth, H. (Eds.), Kluwer Academic Publishers (1996).

(平成 17 年 4 月 4 日受付)

(平成 17 年 10 月 11 日採録)



仁平 和博 (学生会員)

1982 年生。2004 年千葉工業大学工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。

**井上 真吾**

1980年生．2003年千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科卒業．2005年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了．同年日本IBMアドバンスソリューション(株)入社．Webアプリケーション開発に従事．

**沖原 光晴**

1983年生．2005年千葉工業大学情報科学部情報ネットワーク学科卒業．同年日本通信機(株)入社．ワークフローシステムの開発に従事．

**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助教授．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運営委員，情報処理学会論文誌編集委員会ネットワークグループ副査．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．