

# 状況に適応して複製を生成する Adaptive NA ( ANA ) の提案

仁 平 和 博<sup>†</sup> 井 上 昭<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、自律的に端末間を移動することで、特定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。モバイルアドホックネットワークでは歩行者とともに携帯端末が移動するため、一時的に特定の範囲内の人口密度が減少することがある。この場合、NA が特定の範囲内に復帰することが困難になり、消滅してしまう恐れがある。本提案では、そのような状況に適応して NA の複製を生成することで長時間の継続した位置情報サービスを可能とする Adaptive NA ( ANA ) の提案を行う。

## A Proposal of the Adaptive NA Which Generates Its Replica Adaptively Considering Ad-hoc Network Environment

KAZUHIRO NIHEI,<sup>†</sup> AKIRA INOUE<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. In Mobile Ad hoc network, there is every possibility of reducing population density in the specific area briefly since mobile terminal moves belonging to its owner. In such case, it is difficult for NA to return to the specific area and that causes the lost of NA. To adapt such situation, we propose Adaptive NA ( ANA ) which is a duplication technique of NA to provide a long term location based service continuously.

### 1. はじめに

総務省が 2007 年 4 月以降、3G 携帯電話は原則として GPS 機能を搭載するという方針を打ち出したことを背景に、各キャリアが GPS 携帯を投入し始めている。また、各キャリアではパケット/メール通信が使い放題となるパケット通信料定額制サービスを提供しており、今後さらに魅力的な携帯コンテンツや、アプリケーションが登場することで、定額制サービスを利用するユーザが増大することが予想される。

しかし、多くのユーザが基地局を介してネットワークに接続しようとする、通信帯域やサーバにかかる負荷も大きくなり、十分なサービスを受けることができないケースが発生することが考えられる。特に観光地などでの経路案内や位置情報サービスなど、特定の場所でのみ多くのユーザが同じ情報を利用するような

場合、各ユーザが個々にサーバに接続し情報を取得することは、必ずしも効率的ではない<sup>1)</sup>。また、定額制を利用するユーザは必ずしも基地局を介して情報を取得する必要はなく、同じ品質でサービスを受けることができるのであれば情報の取得経路は問題とならない。そこで、特定の場所でのみ必要な情報や多くのユーザが必要とするような情報は、必要に応じてサーバから取得し、その場所に存在するユーザ間で共有し保持することで、通信帯域やサーバへの負荷の軽減が可能である。また、一度サーバから取得した情報をその場所に残しておくことで、次回以降他の端末が同じ情報を取得しようとした際にも再びサーバに接続する必要がないため、レスポンスタイムの向上が期待できる。

そのための手法として著者らは、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情報の収集・提供を行う Nomadic Agent ( NA )<sup>2)~5)</sup> を提案した。NA とは、通信範囲内に存在する端末間を移動することで、情報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

<sup>†</sup> 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

ジェントである。しかし、実環境では歩行者とともに端末が移動するため、一時的に端末密度が減少することがある。このような場合、特定の範囲内に戻ることが困難となり NA が消滅してしまう。これは、位置情報サービスを提供するアプリケーションには好ましくない。

そこで、一時的な端末密度の減少時に NA を複製し、移動先端末の探索範囲を広くとることで、特定の範囲内に戻る確率を高くする Adaptive NA (ANA) を提案する。これにより、長時間の継続的な位置情報サービスの提供を可能とする。

## 2. 関連研究

本研究の関連研究として、測位技術と位置に応じた情報提供サービスを以下にあげる。

### 2.1 Locky.jp

Locky.jp<sup>6),7)</sup>とは、無線 LAN を用いた位置情報・測位に関する総合ポータルサイトである。Locky.jp では、多数のユーザの協調によりあらかじめ個々の場所における無線 LAN 電波状況の調査を行うことで測位システムを実現する。無線 LAN による測位はセル ID 方式、3 点測量方式、電波環境方式の 3 つをハイブリットした方式により行っている。測位精度はセル ID 方式の場合 50 ~ 100 m、3 点測量方式では 10 ~ 30 m、電波環境方式では理想的な環境で 3 m 程度である。

### 2.2 SC (Skip Copy) 方式

SC 方式<sup>10)</sup>とは、位置情報をもとにアドホックネットワーク上で効率的に情報を複製配布する方式である。アドホックネットワークでは端末が移動するため、リンクの切断が頻繁に発生し、他の端末のデータにアクセスできない場合がある。そこで、SC 方式ではフラッシングにより数ホップごとの端末に複製を作成する。これにより、オリジナルの情報を持った端末とのリンクが切断された場合でも、複製された情報を持つ端末にアクセスすることで、目的の情報を取得することが可能となる。しかし、端末数に応じて複製個数も変化するため、端末に不必要な負荷を与えてしまう場合がある。また、伝播範囲を制限した手法<sup>11)</sup>でも、複製を保持した端末が移動することにより、データにアクセスできなくなり、アクセス成功率が低下する。現実的な環境では、歩行者の移動とともに端末が保持している情報が移動するため、特定の場所の情報にアクセスできなくなるという状況は十分に考えられる。そのため、複製を再配置する方式<sup>12)</sup>が提案されているが、情報の更新については考慮されていない。

### 2.3 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<sup>8)</sup>

この方式も SC 方式と同様にアドホックネットワークの分断時に備え、複数の端末にデータの複製を配置することでアクセス成功率の向上を図る方式である。この方式では、各端末の持つデータのアクセス頻度とネットワークの接続状態を考慮して情報の複製を配置する。これにより、データの利用率が向上する。また、その後の研究<sup>9)</sup>では端末の消費電力についても考慮して複製の配置を行っており、端末の消費電力の削減を図っている。しかし、この方式ではデータのアクセス頻度を既知のものとして評価を行っている。そのため、現実的な環境下ではアクセス頻度の取得方法が問題となる。

### 2.4 Data on the Road

Data on the Road では、ORDI (Opportunistic Resource Dissemination with Invalidation) を利用する情報拡散手法が提案されている。ORDI とは、位置や時刻に応じて情報の価値を評価し、価値の高い情報のみ所持することで必要な情報だけを所持することが可能なシステムである。情報の価値は、距離と時刻で決定する。たとえば、特定の場所に必要な情報の場合、特定の場所から遠くに拡散されるにつれて価値を劣化させる。期限付きの情報などは、時間が経つにつれて価値を劣化させる計算方法が提案されている<sup>13)</sup>。この提案では、長時間特定の場所に情報を残すことは考えられていない。

## 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<sup>2)-5)</sup>。

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 は深夜などの人が存在しない場合、特定の場所付近にとどまることができない。この場合、情報を必要とするユーザが存在しないため、その場所に関する情報を収集・保持する必要性は低い。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。このような時空間限定の位置情報サービスなどを提供する場合、長期間にわたって継続して情報を蓄積する必要性は低いものと考えられる。

### 3.2 想定する情報提供サービス

NA を使用した情報提供サービス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>3)</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

とが可能のため、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 を発生させるといったことも可能である。

### 3.3 NA の発生

NA はアプリケーションにより様々な発生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。

#### (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 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。

### 3.4 NA の基本動作

ブロードキャストの動作を図 1 に、NA の移動動作を図 2 に示す。

NA は発生後、消滅するまで一定間隔で NA 自身の情報やアプリケーションの情報などを提供するためにブロードキャストを行い続ける。ブロードキャストに含まれる情報の詳細を以下に示す。

- NA を保持している端末の IP アドレス
- NA の ID
- NA 端末の座標
- 実装されているアプリケーションの ID
- 次に移動する端末の IP アドレス

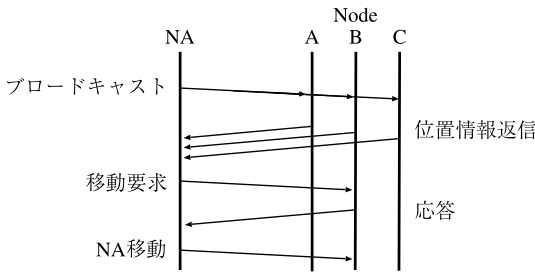


図 1 ブロードキャスト動作  
Fig. 1 Broadcast.

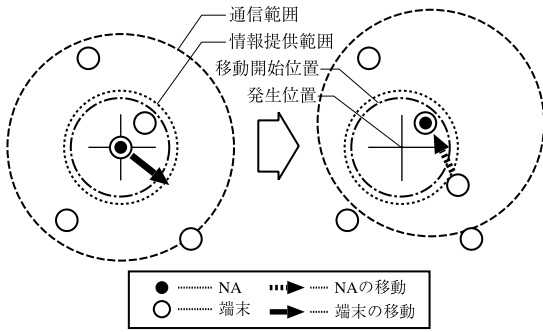


図 2 NA の移動動作  
Fig. 2 NA migration scheme.

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。

3.5 情報提供範囲外での移動動作

図 3 に、情報提供範囲外での NA の移動動作を示す。NA は、自身を保持する歩行者の移動にともない、移動先端末を発見できずに情報提供範囲外に出してしまった場合でも、しばらくは移動先となる端末を探し続ける。このとき、直接範囲内に戻ることが可能な端末を発見した場合、その端末に移動することで範囲内に戻ることができる。また、図 3 (a) のように直接範囲内に戻ることができない場合でも、範囲外に存在する端末に移動することで特定の範囲内に戻すことを試みる。しかし、図 3 (b) のように、移動先となる端末を発見できずに生存範囲を越えた場合 NA は消滅する。ここで、生存範囲とは NA の発生時に任意に設定される範囲であり、情報提供範囲内へと戻ることが難しいと考えられる位置に設定される。

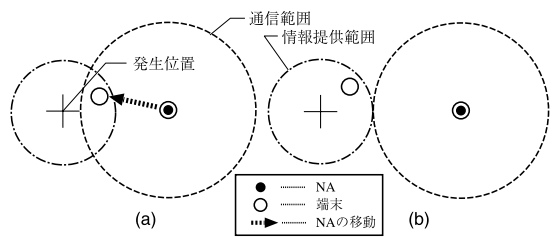


図 3 情報提供範囲外での移動動作  
Fig. 3 Migration scheme on outside the area.

3.6 データアクセスモデル

NA は特定の場所近傍の情報を収集、保持することを目的としている。特定の場所近傍に存在する端末は時間とともに移動するため、近傍付近でネットワークを構成する端末は変化する。この近傍の範囲が NA の情報提供範囲となる。

NA を用いて情報を収集する場合を考えると、情報提供範囲を通過する端末から NA が情報を収集することになる。NA のブロードキャストを受信し、NA が自身の情報を収集していると判断した端末は NA に対して情報送信を要求し、NA が必要とする情報を提供する。この場合、基本的にはそれぞれの端末は情報提供範囲を通過中に一度情報を送信すれば十分である。

NA を用いて情報を提供する場合、各端末は NA が定期的にブロードキャストしている情報から、自分が欲しい情報や自分が動かしているアプリケーションに対応する情報を NA が保持しているかどうかを判断する。NA が情報を保持している場合には、その NA の情報提供範囲を通過している間に一度、NA に対して情報を要求し、情報を取得する。すなわち、端末から NA への情報要求は NA の情報提供範囲を通過している間に最大で一度、ということになる。

3.7 NA を利用する環境

NA は歩行者による利用を想定しているため、PDA や携帯電話などの携帯端末上に Java を用いて実装する。また、NA はアドホックネットワーク上に存在する端末の位置情報をもとに移動するため、各端末はアドホック接続可能な無線通信機器と GPS などの位置検出デバイスを備える必要がある。

4. DNA (Dual NA)

従来の NA では、NA を保持している端末の電源が落ちるなどのアクシデントが起きた場合、NA は保持している情報ごと消滅してしまう。DNA (Dual NA)<sup>5)</sup> では、情報提供範囲内に 2 つの NA をペアで発生させ、お互いの状態を監視することで、これらのアクシデントに対応する。これにより、より長く特定の場所

に情報を残すことが可能である。

#### 4.1 DNA の発生

DNA では従来の NA と同様に、アプリケーションによって指定された発生の形態をとる。その後、発生された 1 つの NA (Main-NA) は一定時間ネットワークを監視し、自身のほかに NA が存在しないことを確認した場合、自身の対となる NA (Sub-NA) を発生させる。Sub-NA は従来の NA と同様に、最も発生位置の近くに存在する端末に発生させる。この際、1 つの端末が保持する NA はつねに 1 つとし、複数の NA を保持することはしない。また、Sub-NA を発生させることのできる端末が存在しない場合は通常の NA と同様の動作を行う。

「Main-NA」と「Sub-NA」は従来の NA と同様の機能を持っており、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扱う。また、周辺の端末に対して 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。

#### 4.2 複製

各 NA は 1s 程度と短い間隔でブロードキャストを行い、その応答によりメッセージを交換することで、情報提供範囲内に存在している端末の位置情報を高い精度で取得している。取得した情報の中に対となる NA 端末の情報が含まれていない状況が一定時間続いた場合、もう一方の NA が範囲内に存在しないと判断する。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。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、継続した情報提供を可能とする。

#### 4.3 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に含まれるタイムスタンプをもとに、両者の保持する情報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。

#### 4.4 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 が再び範囲内に戻ってくる場合がある。しかし、その間に範囲内に残っていた端末がすでに複製を行っていた場合、不必要な端末の負荷をなくすために NA の統合を行う。

このような場合、範囲外を移動してきた NA は範囲内の NA とは別の情報を取得していることが考えられるため、NA 間で情報の同期 (4.3 節参照) をとった後、再び戻ってきた NA を消滅させることで統合処理を実現する。これにより、情報提供範囲内に存在する NA の数はつねに最大 2 つに保たれる。

### 5. ANA (Adaptive NA)

DNA では、情報提供範囲内に 2 つの NA を存在させることで、端末に対するアクシデントに対応した。しかし、DNA では情報提供範囲内でのみ複製を行っており、範囲外での動作は考慮されていない。また、実環境では歩行者とともに端末が移動するため、一時的に特定の場所の人口密度が減少することがある。このような場合、DNA では移動先端末の発見が困難となり NA が消滅してしまう可能性が高い。これは、長時間の情報収集・蓄積が必要なアプリケーションには好ましくない。

そこで本研究では、情報提供範囲外においても NA を複製し、探索範囲 (移動先端末を探す範囲) を広くとり続けることで、移動先端末の発見確率の向上を図り、NA の長時間の生存を可能とする Adaptive NA (ANA) の提案を行う。この際、無作為に端末を選択して複製を行うと、複製された NA の個数が多くなり、不要なトラフィックや端末のメモリ資源に負荷を与えてしまう可能性がある。そのため、周囲の状況に適応して NA の複製・統合を行うことで、これらの影響の軽減を図る。

本提案は、特定の場所近傍での情報の保持・提供が目的であり、参考文献 (8)~(11) のように、広い範囲にわたって位置に依存した情報を提供するための方式とは性質が異なる。

本研究では、状況に適応した複製・統合方式を 3 つ提案し、より効率的な方式の検討を行う。以下に各方式の動作概要を述べる。

#### 5.1 対移動方式

一時的に特定の場所の人口密度が減少すると、移動

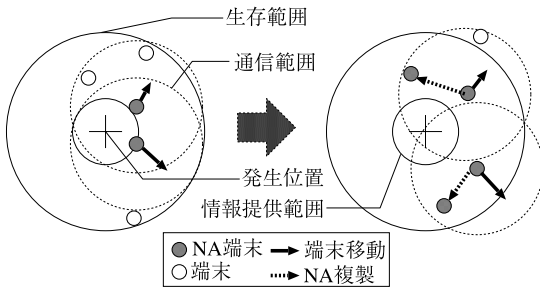


図 4 対移動方式  
Fig. 4 Pair migration method.

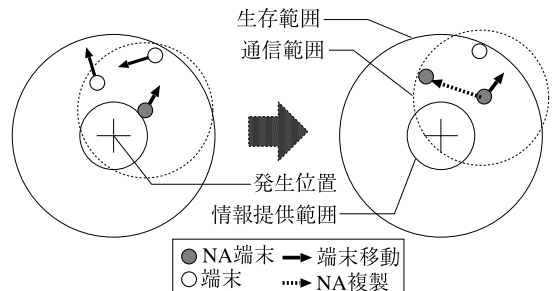


図 5 移動方向予測方式  
Fig. 5 Movement estimation method.

先端末を発見することが困難になり消滅する可能性が高い。そこで、NA 端末が情報提供範囲外に存在する場合は NA の複製を生成し、あらかじめ人口密度の減少に備えることで、長時間の生存を図る。

NA は一定間隔で送信されるブロードキャスト情報を受信することで、互いの存在を認識している。図 4 のように、各 NA 端末間の距離がお互いの通信範囲より離れ、相手の存在を認識できなくなった場合、NA の複製を行う。複製は移動先となる端末を探索する範囲（通信範囲）の重複領域が狭くなり、端末の移動により情報提供範囲内へと復帰が容易になる端末に対して行う。具体的には、NA 端末からの距離が 20m 以上離れており、発生位置に最も近い端末を複製先として選択する。これにより、広い探索範囲を維持し移動先端末の発見確率を向上させることができる。そのため、情報提供範囲外での動作を想定していない DNA では移動先となる端末を発見できず生存範囲外へと出てしまい、NA が消滅してしまうような状況でも、NA を長時間生存させることが可能となる。

端末間の距離が 20m 以下と短い場合、複製を作成しても探索範囲が重複するため、複製は行わない。また、複製後、端末の移動により NA 端末間の距離が 20m 以下となった場合は NA の統合（4.4 節参照）を行う。統合は、最も発生位置に近い端末に対して行う。また、NA 端末間の距離に関係なく、現在位置と移動履歴から NA 端末の移動方向を算出し、情報提供範囲内へと復帰することが予想される場合も統合を行う。

統合は、復帰することが予想された端末に対して行う。これにより、端末に対する不要な負荷を軽減する。

5.2 移動方向予測方式

NA 端末の周辺に情報提供範囲内に接近している端末が存在しない場合、NA は範囲内に戻ることができずに消滅してしまう可能性がある。そこで、範囲内に接近している端末がいなくなる前に複製を行うことで消滅を回避する。具体的には NA 端末が情報提供範囲

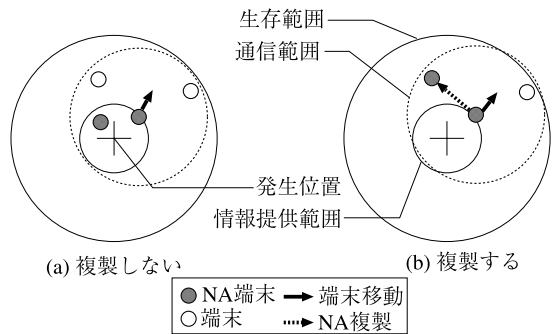


図 6 人口密度予測方式  
Fig. 6 Population estimation method.

外に出てしまい、範囲内に接近している端末が NA 端末の通信範囲内に 2 台以下しか存在しない場合、発生位置に最も近い端末に複製を行う（図 5）。また、対移動方式と同様に 2 つの NA 端末間の距離が近い場合、探索範囲の重複領域が広がるため統合を行う。

5.3 人口密度予測方式

情報提供範囲内に存在する NA 端末が最後の 1 台として範囲外へ出るとき、通信範囲内の端末数が 3 台以下の場合、周辺の人口密度が低下しているものと考えられる。このような場合、移動により再び範囲内へと復帰することが困難であると予測されるため、図 6 (b) のように複製を行い、探索範囲を広くすることで移動先端末の発見確率を上げ、長時間の生存を図る。また、NA 端末が生存可能範囲の距離を 80% 超えた場合、そのまま移動先端末を発見できずに生存範囲外へと出てしまい消滅してしまう可能性が高い。

そのような場合、緊急時対応として通信範囲内に存在するすべての端末に複製を行う。NA の移動は基本的に自端末よりも発生位置に近い端末に行く。そのため、移動先端末が存在しない緊急時に行う複製では、自身より発生位置から遠い、もしくは、ほぼ同じ距離に存在する端末へも複製を行うことになる。その後、複製した先でも同様に緊急時対応として複製を行うた

め、一時的に NA の複製数が増加し、移動先となる端末の探索範囲を非常に広くとることができるため、NA の消滅回避に効果的であると考えられる。

統合は端末間の距離に関係なく、NA 端末の通信範囲内に自身以外に 3 つ以上の NA が存在した場合、発生位置に最も近い端末に対して行う。

この方式では、対移動方式や移動方向予測方式がつねに複製待機状態にあるのに対し、特定の状況でのみ複製の有無を判断している。そのため、必要以上に周辺の端末の状況を把握する必要がなく、NA 端末に対する負荷を抑えられるものと考えられる。

#### 5.4 複製・統合のループの回避

どの提案方式も不要なトラフィック、端末の負荷を避けるため、NA 端末から 1 hop 端末についてのみ、位置情報を把握し、その中から複製先を選択している。そのため、2 hop 以上先の端末状態が判断できず、自身が複製を行った端末に対して 2 hop 先の端末が統合を行い、その後再び複製を行うといったように、複製・統合を繰り返してしまう場合がある。そこで、一度統合された端末はある程度の時間が経過しない限り複製先として選択しないようにすることで、複製・統合が繰り返して発生する発振状態に陥るのを回避する。

### 6. シミュレーションと評価

#### 6.1 ネットワークモデル

本研究では、各提案方式が NA の生存時間などに与える影響についてのみ評価を行っているため、シミュレーションでは特に通信帯域や MAC 層プロトコルに対する想定はしていない。そのため、以下のような環境を仮定した。

- すべての端末は現在位置を GPS により取得する。
- 各端末が他の端末との通信リンク確立にかかる時間は 1 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。
- 通信における衝突は無視できるか、十分に小さい時間で回復される。
- すべての端末は、自身の通信範囲内にあるすべてのほかの端末の送信情報を受信できる。

#### 6.2 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。歩行者移動モデルについては、Random Waypoint Model (RWP)<sup>14)</sup> を利用した。RWP では、端末が目的地に向けて移動を行い、到着後にランダム時間待機状態となる。その後、再び目的地を設定し移動を繰り返す。

シミュレーション条件を表 1 に示す。本研究では、

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)
端末の移動距離	平均 225 m
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

特定の場所付近の人口密度が一時的に低くなり、移動先となる端末が存在しないような環境下での NA の生存時間の評価を行う。また、従来の NA を用いた場合でも人口密度が高い場合、十分な生存時間が得られるため、深夜帯のような 40 ~ 280 人/km<sup>2</sup> と比較的人口密度の低い環境を想定した。NA の生存範囲外からの通信は想定しておらず、シミュレーション範囲内に存在する NA の領域は 1 つとした。端末の通信範囲は無線 LAN を想定し半径 100 m とした。NA 端末が情報提供範囲内に存在するすべての端末に対して情報提供を可能とするため、情報提供範囲は通信範囲の半分の半径 50 m とした。また、NA 端末が情報提供範囲外へと出る際の移動処理にかかる時間などを考慮し、NA の移動開始位置を情報提供範囲よりも若干狭い 45 m とした。生存可能範囲は 1 ホップで直接情報提供範囲へと戻ることができなくなる位置として半径 150 m と設定した。歩行者の移動速度については、我々が実験的に近隣の交差点や道路上などで測定した歩行者の移動速度の実測値をもとに、0.9 m/s から 1.7 m/s の範囲内で分散を 0.01 とした正規分布をとるものとした。ここで、端末の移動距離とは RWP で設定される目的地までの平均移動距離であり、1 つの信号から、次の信号までを想定して 50 ~ 500 m の間で一様乱数によって設定される。待機時間は信号待ちを想定して平均 30 秒とした。

提案方式との比較対象として、参考文献 8) ~ 11) の手法があげられる。これらの手法では遠方からマルチホップを行うことにより位置に依存した情報を収集するアプリケーションを想定しているため、十分な端末がシミュレーション内に配置されている。しかし、提案方式では特定の場所近傍での情報の保持・提供が目的であり、人口密度が低い環境下において NA の生存時間の延長を図る方式であるため、端末数の少ない環境下でのシミュレーションを行っている。そのため、

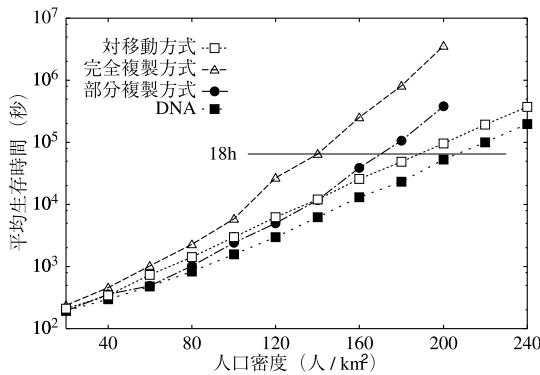


図7 目標値と平均生存時間

Fig. 7 Target time and average lifetime.

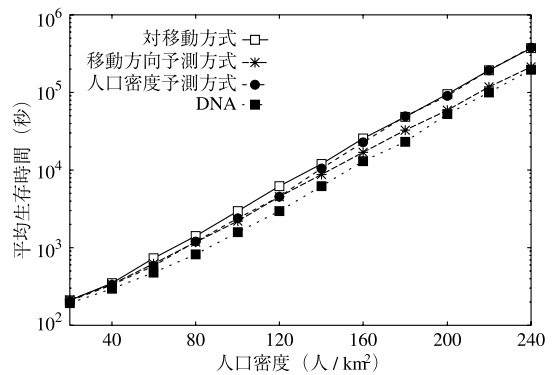


図8 平均生存時間

Fig. 8 Average lifetime.

参考文献 8) ~ 11) の手法とは性質が異なり、直接比較を行うことは難しいため、先行研究である DNA と、後の 6.3 節で設定する目標値との比較を行う。

### 6.3 目標値

NA は特定の場所に端末が存在しない場合、情報提供を行う対象が存在しないため消滅する。しかし、一時的に人口密度が減少した場合には、継続して情報提供を行えるようにするため、その場に NA をとどめる必要がある。そのため、提案方式では周辺の端末状況に適応して複製を行い、NA を継続して特定の場所にとどめるための処理を行っている。この点を評価するため、特定の範囲内に存在しているすべての端末に NA を保持させシミュレーションを行った。具体的には、従来と同様に NA を発生させ、情報提供範囲内、生存範囲内に存在するすべての端末に NA の複製を行った。これにより、局所的・一時的な人口密度の減少に影響されずに特定の場所付近に 1 人でも人（端末）が存在している場合、NA はつねに生存することができる。そのため、このシミュレーション結果が理論上の最大生存時間であるといえる。

この結果を図 7 に示す。部分複製方式とは、情報提供範囲内に存在するすべての端末に複製を行う方式であり、完全複製方式とは、生存範囲内に存在するすべての端末に複製を行う方式である。結果から、人口密度が低い場合、部分複製方式・DNA とともに生存時間が変わらないのに対し、完全複製方式では高い結果が出ていることが分かる。これは、人口密度が低い場合、部分複製方式では範囲内に端末が存在しないため複製することができないからであると考えられる。しかし、範囲外の端末に複製を行う完全複製方式では生存時間を延ばしていることが分かる。このことから情報提供範囲外に複製することは有効であるといえる。

この結果を生存時間の目標値とする。また、NA は

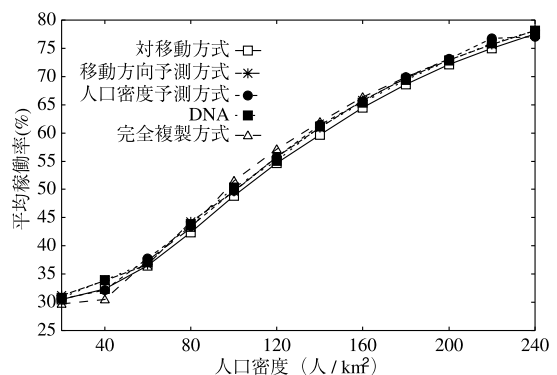


図9 平均稼働率

Fig. 9 Average active rate.

夜間などの人が存在しない環境では生存することができないため、最長でも早朝から深夜までの約 18 時間程度生存することができれば、十分なサービスを提供することが可能となる。そのため、本提案では人口密度が低い場合でも、約 18 時間生存し続けることを目標とする。

### 6.4 生存時間と稼働率

各提案方式の平均生存時間を図 8 に、平均稼働率を図 9 に示す。

NA は設定されている生存範囲を越えた場合消滅してしまう。その場合、これまで収集し保持していた情報ごと消滅してしまうため、継続した情報サービスを行うことができなくなる。しかし、生存範囲内に存在している場合は、歩行者の持つ端末間を移動することで、再び情報提供範囲内に復帰することが可能である。そのため、生存範囲内に NA が存在していた時間を NA の生存時間とする。また、稼働率とは生存時間に対して情報提供範囲内に NA が存在していた割合であり、生存時間内にどれだけ情報サービスを行うことができたかを表している。



図 8 より、対移動方式では人口密度にかかわらず生存時間は DNA の約 2 倍となった。これは、つねに複製を行うことで、人口密度が低い状況でも移動先端末を高い確率で発見できているためであると考えられる。移動方向予測方式では、人口密度が低い場合には生存時間が長く、人口密度が高くなるにつれて DNA とほとんど変わらない結果となった。これは、人口密度が低い場合、情報提供範囲内へと接近する端末がほとんど存在しないため、頻りに複製を行ったからであると考えられる。人口密度予測方式では、人口密度が高くなるにつれて生存時間が延びていることが分かる。この方式では、つねに複製待機状態にある他の 2 方式と違い、複製する状況が限られているため、人口密度が低い場合には複製先となる端末が存在しないためであると考えられる。しかし、人口密度が高くなるにつれて、限られた状況でも複製が可能となるため、生存時間が延びているものと考えられる。

次に目標値との比較を図 7 に示す。提案した 3 つの方式のうち最も良好な結果であったのは対移動方式であるが、他の 2 方式と比較して大きな差が見られなかったため、対移動方式とのみ比較を行う。

対移動方式を完全複製方式と比較した場合、生存時間の差が大きいことが分かる (図 7)。しかし、部分複製方式と比較した場合、140 人/km<sup>2</sup> 以下の人口密度では生存時間が延びており、情報提供範囲外での複製が有効であるといえる。また、DNA よりも 20 人/km<sup>2</sup> ほど低い人口密度で目標値である 18 時間を達成することが可能となった。

図 9 より、各方式ともほぼ同じ稼働率であり、人口密度が高くなるにつれて稼働率が上がっていることが分かる。すべての端末に NA を複製する完全複製方式の結果ともほぼ同じ結果であることから、稼働率は人口密度にのみ影響しており、情報提供範囲内に端末が 1 台以上存在している場合、つねに NA 端末も同時に存在していることが分かる。このことから、NA 端末が存在している場合、すべての情報を必要とする端末に位置情報サービスを提供することが可能であるといえる。

### 6.5 平均 NA 数と移動・複製間隔

提案方式では、DNA の拡張であるため通常時には 1 セット (2 つ) の NA が存在している。しかし、一時的な人口密度の減少時に NA の複製を行っているため、シミュレーション範囲内には通常時よりも多くの NA が存在することになる。NA は携帯端末のリソースのみを用いて様々な処理を行うため、NA を保持している端末ではその他の端末と比べて多くの負荷

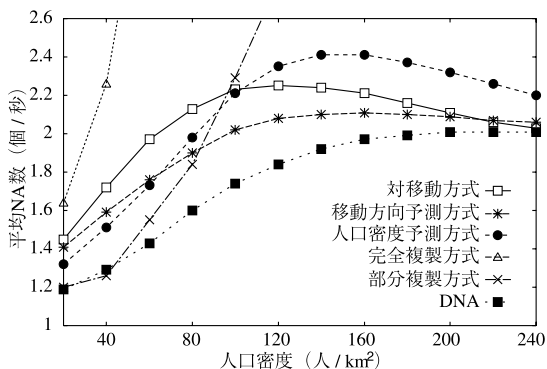


図 10 平均 NA 数  
Fig. 10 Average number of NA.

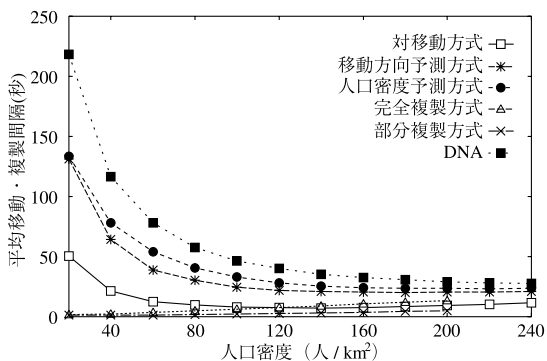


図 11 平均移動・複製間隔  
Fig. 11 Average migration/duplicate interval.

がかかる。また、NA は自身が保持しているすべての情報とともに移動や複製を行うため、頻りに移動や複製を行うと端末に対する負荷が多くなるため好ましくない。そのため、シミュレーション範囲内に存在する NA の数が少なく、移動や複製頻度が少ない方が端末に負荷をかけずに効率的な複製が行えているといえる。これらの点について評価するため、人口密度ごとの平均 NA 数を図 10 に、移動・複製間隔を図 11 に示す。平均 NA 数とは、シミュレーション範囲内で、1 秒間あたり平均して存在している NA の数である。

図 10 より、対移動方式では、人口密度が低い場合、情報提供範囲内の端末が存在しないため、即座に帰ることができずに頻りに複製が行われているが、人口密度が高くなるにつれて、統合処理が効果的に働いているため複製を抑えることができていることが分かる。移動方向予測方式は、全体的に NA 数が少なく、端末に対する負荷が低い方式であるといえる。人口密度予測方式では、人口密度が低い場合、複製を行う端末が存在しないため NA 数が少なく、人口密度が高い場合、頻りに複製を行うため NA 数が多くなった。また、す

すべての方式において人口密度が高くなるにつれて NA 数が多くなり、一定の人口密度を超えると少なくなっている。また、完全複製方式では生存範囲内、部分複製方式では情報提供範囲内のすべての端末に複製を行っているため、人口密度に比例して複製端末数が増加している。部分複製方式では人口密度が 80 人/km<sup>2</sup> 以下と低い場合においては平均 NA 数が抑えられている。これは、人口密度が低い場合にはほとんど情報提供範囲内に複製先となる端末が存在しないためであると考えられる。完全複製方式では、人口密度に関係なく NA 数が非常に多くなっており、ネットワークに負荷をかける方式であるといえる。

提案した 3 方式を DNA と比較した場合、各方式とも人口密度が 220 人/km<sup>2</sup> までは DNA よりも多くの複製をしており、その後ほぼ同じ NA 数となっていることが分かる。提案方式では人口密度が低い場合、消滅する危険を回避するため複製する機会が多くなっているが、DNA では最大で 2 つの NA を情報提供範囲内のみ発生させるものとしている。そのため、低い人口密度ではそもそも 2 つの NA を発生させることができないといった状況が多くなるため、提案方式と比べて少ない NA 数となっている。しかし、人口密度が 220 人/km<sup>2</sup> 以上と高くなると情報提供範囲内につねに 2 つの NA を発生させることが可能となり、平均 NA 数が 2 個程度に収束する。提案方式である対移動・移動方向予測方式でも人口密度が高くなると同様に平均 NA 数が 2 個程度に収束する。これは、人口密度が高くなると単純に消滅する危険性が減り、複製する機会が減るためである。また、それと同時に消滅する危険性があるときのみ複製を行っているため、DNA よりも生存時間が伸びているものと考えられる(図 8)。

これらの結果より、提案方式では人口密度が低い環境では積極的に複製を行うため、端末に対する負荷が大きくなるが、消滅の危険を回避することができる方式であるといえる。また、人口密度が高い環境下では、適切に複製を行っているため、DNA と変らない NA 数で生存時間を延ばすことができた。NA は一度消滅してしまうと、それまで収集してきた情報ごと消滅してしまうため、継続した情報サービスを行うことができなくなる。そのため、一時的な人口密度の低下により NA が消滅してしまう場合、各端末にかかる負荷よりも、消滅を回避して生存させることの方が重要であるといえる。

平均移動・複製間隔とは、シミュレーション範囲内に存在するすべての NA が移動・複製した回数の合計

を生存時間で割ったものである。NA は移動時に自らが保持している情報ごとの端末へ移動するため、移動先となる端末は実質的に複製と同様の負荷を受けることになる。そのため、移動と複製を同じものとして合計した。図 11 より、完全・部分複製方式では DNA や他の提案方式と比較しても移動・複製間隔が短いことが分かる。これは、情報提供範囲内・生存範囲内のすべての端末につねに複製するためであり、端末にかかる負荷が大きいことを示している。また、提案方式は DNA と比べて頻繁に移動や複製を行っていることが分かる。これは DNA が情報提供範囲内でのみ複製を行っているのに対し、提案方式では情報提供範囲外でも複製を行っているからである。特に対移動方式では、人口密度が 60 人/km<sup>2</sup> 以上になると約 10 秒に 1 回と頻繁に移動・複製を行っていることが分かる。このことより、対移動方式ではつねに複製を行うことで生存時間を延ばすことができたが、端末に対する負荷も大きい方式であるといえる。移動方向予測方式、人口密度予測方式では、DNA と比較してもそれほど移動・複製間隔に差はなく、負荷が抑えられていることが分かる。また、人口密度予測方式では人口密度が高い場合には良好な生存時間となっており、複製による負荷も抑えられていることから、一時的な人口密度の減少に対応することができる効率的な複製方式であるといえる。

## 7. ま と め

本研究では、位置情報サービスが可能な NA の問題を解決する ANA の提案を行った。ANA では、周辺端末の状況に適應して NA の複製・統合を行う 3 つの方式を提案した。結果より、ANA では人口密度が低い NA の消滅の危険性が高い場合に積極的に複製を行い、人口密度が高い場合は NA の複製を抑えていることが分かるこのことから、周囲の状況に適應して複製をすることができたといえる。また、それにより各方式とも人口密度が低い場合でも NA を長時間生存させることができた。

これにより、特定の場所に有益な情報をより長く残すことができるため、必ずしもサーバに接続して情報を取得する必要がなくなる。そのため、帯域や基地局の負荷を軽減し、情報を取得する際のレスポンスタイムの向上を図れるため、効率的に経路案内や位置情報サービスを提供することが可能となる。

## 参 考 文 献

- 1) 中川正雄：第4世代のモバイル通信，情報処理学会高度交通システム2003シンポジウム，Vol.2003，No.3，pp.89-117 (2003).
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 伊藤誠悟，吉田廣志，河口信夫：locky.jp：無線LANを用いた位置情報・測位ポータル，情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信，Vol.2005，No.34，pp.25-31 (2005).
- 7) 伊藤誠悟，吉田廣志，河口信夫：locky.jp.  
<http://locky.jp>
- 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，電子情報通信学会論文誌，Vol.J84-B，No.3，pp.632-642 (2001).
- 9) 篠原昌子，林 秀樹，原 浩隆，西尾章治郎：アドホックネットワークにおける移動体の消費電力に基づいた複製配置方法についてマルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2005)シンポジウム論文集，IPSJ Symposium Series，Vol.2005，No.11，pp.325-328 (2005).
- 10) 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.7，pp.31-36 (2001).
- 11) 佐仲貴幸，峰野博史，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布方式—実環境への適用実験，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.785-788 (2003).
- 12) 土田 元，沖野智幸，田森正紘，渡辺 尚，水野忠則，石原 進：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，電子情報通信学会和文論文誌B，Vol.J88-B，No.11，pp.2214-2227 (2005).

- 13) Wolfson, O. and Xu, B.: Data-on-the-Road in Intelligent Transportation Systems, *Proc. IEEE International Conference on Networking, Sensing, and Control (ICNSC2004)*, Taipei, Taiwan (2004).
- 14) 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18年3月31日受付)

(平成18年10月3日採録)



仁平 和博 (学生会員)

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 昭

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、研究生として同大学情報ネットワーク学科に在籍中。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主査。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。