

## 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>  
<sup>†</sup> 千葉工業大学

あらまし：

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事が可能な一種の Mobile Agent である。現実的な環境では歩行者と共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 environment

Kazuhiro Nihei<sup>†</sup>, Akira Inoue<sup>†</sup>, Tomoyuki Yashiro<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> Chiba Institute of Technology

Abstract :

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 real environment, 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事を背景に、各キャリアが GPS 携帯を投入し始めている。これにより、歩行者ナビゲーションなど GPS を利用したアプリケーションが注目されている。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)[1] [3] 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ジェントである。しかし、実環境では歩行者と共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挙げる。

### 2.1 Locky.jp

Locky.jp[4][5] 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 50~100m、3 点測量方式では 10~30m、電波環境方式では理想的な環境で 3m 程度である。

### 2.2 SC(Skip Copy) 方式

SC 方式 [6] 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 方式ではフラグディ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。

### 2.3 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。例えば、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 [7]。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。NA は発生時に、発生位置を基準として情報提供範囲や生存範囲などの設定を行う。NA では、この情報提供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、常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。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形態をとることが可能である。発生条件の例を以下に挙げる。

1. 位置情報を利用

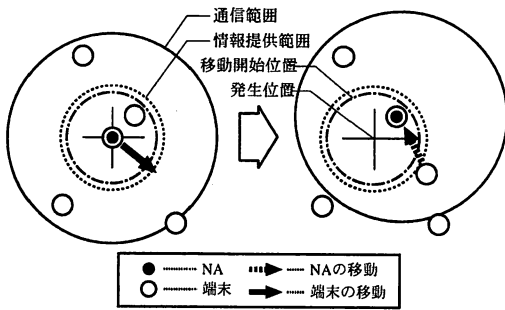


図 1: NA の移動動作

地図情報と位置情報を利用し、駅や交差点などの常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。

## 3.3 移動動作

図 1 に NA の基本的な移動動作を示す。

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、自身を保持する歩行者の移動に伴い、移動先端末を発見できずに情報提供範囲外に出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。この時、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

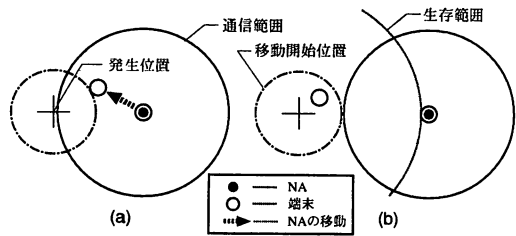


図 2: 情報提供範囲外での移動動作

できる。また、図 2(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 2(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。

## 3.5 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) [3] 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を可能である。

### 4.1 DNA の発生

DNA で発生させる 2 つの NA を、「Main-NA」と「Sub-NA」と呼ぶ。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は常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。

## 4.3 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。

## 4.4 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、常に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 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、端末に対するアクセシビリティに対応した。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共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 分裂方式

一時的に特定の場所の人口密度が減少すると、移動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、常にNA端末の通信範囲内に複製を生成し、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。

具体的には、図3のように情報提供範囲外において、NA端末間の距離が離れ、互いの存在を確認できなくなった場合にNAの複製を行う。これにより、広い探索範囲を維持することができ、移動先端末の発見確率を向上させる事で、NAが長時間生存することが可能となる。ただし、自身に近い端末は通信範囲の重複が大きいため複製先として選択せず、NA端末が接近した場合は統合を行う。

NA端末の通信範囲内に自身以外に2つのNAが存在する場合、通信範囲の重複部分が大きくなり、探索範囲を広くとることができないため統合を行う。また、NA自身が情報提供範囲内に戻ることが予想される場合は、NAの複製を行わず、通信範囲内に存在するすべてのNA端末を統合することで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

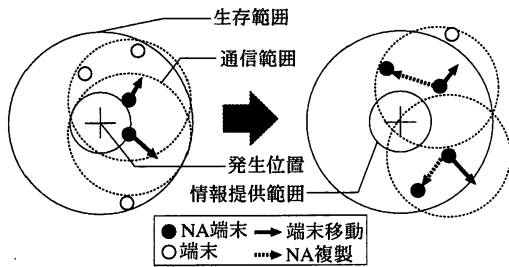


図 3: 分裂方式

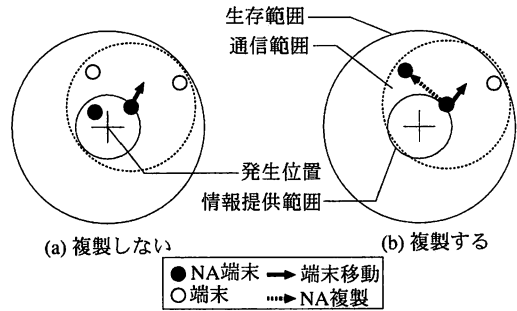


図 5: 人口密度予測方式

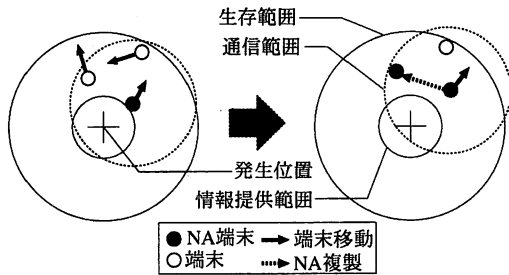


図 4: 移動方向予測方式

近している端末がいなくなる前に複製を行う事で消滅を回避する。具体的には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4)。また、分裂方式と同様に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時、通信範囲内の端末数が一定数以下の場合、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5(b)のように複製を行い、探索範囲を広くと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、移動先端末を発見できずに生存範囲から出てしまうことが予想される場合、緊急に対処する必要があるため、通信範囲内に存在する全ての端末に複製を行う。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 が存在した場合に行う。

この方式では、分裂方式や移動方向予測方式が常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1hop 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、2hop 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2hop 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・統合のループを回避する。

## 6 シミュレーションと評価

### 6.1 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(RWP)[8]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。ここで、端末の移動時間とは端末が目的地まで到達するまでの時間の平均である。

表 1: シミュレーション条件

| パラメータ      | 値                                  |
|------------|------------------------------------|
| シミュレーション範囲 | 0.5km × 0.5km                      |
| 人口密度       | 40~280 人 / km <sup>2</sup>         |
| 歩行者の移動速度   | 0.9~1.7m/s(平均値が<br>1.3m/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<br>(指数分布乱数)                |
| 端末の通信範囲    | 半径 100m                            |
| NA の情報提供範囲 | 半径 50m                             |
| NA の移動開始位置 | 半径 45m                             |
| NA の生存可能範囲 | 半径 150m                            |

## 6.2 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 を留める必要がある。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留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全ての端末に 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全ての端末に 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一人でも人(端末)が存在している場合、NA は常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。情全方式とは、情報提供範囲内に存在する全ての端末に複製を行う方式であり、生全方式とは、生存範囲内に存在する全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、情全方式・DNA 共に生存時間が変わらないのに対し、生全方式では高い結果が出ていることがわかる。これは、人口密度が低い場合、情全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生全方式では生存時間を延していることがわかる。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出来れば、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。

## 6.3 生存時間と稼働率

各提案方式の平均生存時間を図 6 に、平均稼働率を図 8 に示す。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、稼働率とは生存時間に対する情報提供範囲内に NA が存在していた割合である。

図 6 より、分裂方式では人口密度に関わらず生存時間は DNA の約 2 倍となった。これは、常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、頻繁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わかる。この原因として人口密度予測方式では、常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では複製先となる端末が存在せずに複製することができないことが挙げられる。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。

これら 3 つの方式のうち最も安定して良好な結果であったのは分裂方式であるが、生全方式と比較した場合、生存時間の差が大きいことがわかる(図 7)。しかし、情全方式との比較では人口密度が低い場合、ほぼ同じ結果が得られた。また、DNA よりも約 20 人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 8 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わかる。全ての端末に NA を複製する生全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一台以上存在している場合、常に NA 端末も同時に存在して

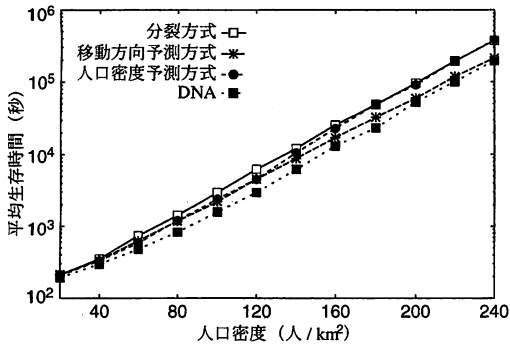


図 6: 平均生存時間

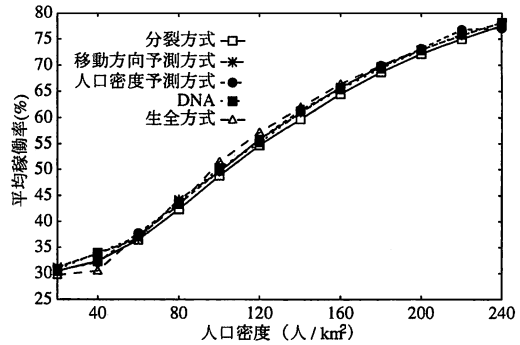


図 8: 平均稼働率

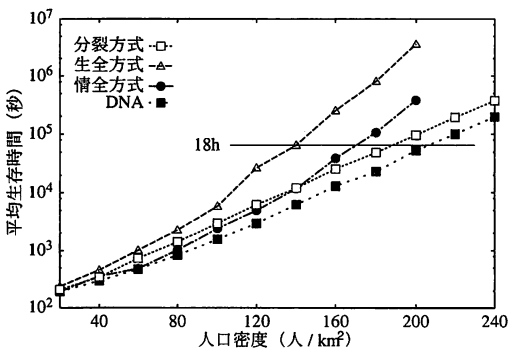


図 7: 平均生存時間

いることがわかる。このことから、NA 端末が存在している場合、全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。

## 6.4 平均 NA 数

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がかかる。そのため、シミュレーション範囲内に存在する NA の数が少ないほど、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 9 に示す。平均 NA 数とは、シミュレーション範囲内で、1 秒間平均して存在している NA の数である。

分裂方式では、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、即座に戻る事ができずに頻繁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た。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、頻繁に複製を行うため NA 数が多くなった。また、全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、一定の人口密度を越えると少なくなっている。このことから、各方式において人口密度が低い場合には積極的に複製を行い、人口密度が高くなると NA が消滅する可能性が低くなるため、複製を抑えていることがわかる。

## 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。この結果、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事ができた。また、人口密度が低く 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から、周囲の状況に適應することができたと見える。これにより、NA は端末に不要な負荷

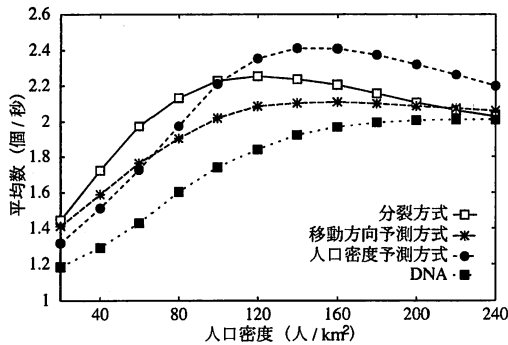


図 9: 平均 NA 数

を与える事なく、長時間の情報収集・蓄積が可能となり、利便性が向上した。

## 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] 屋代 智之, Thomas F. La Porta.: 「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).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 伊藤 誠悟, 吉田 廣志, 河口 信夫. 「locky.jp」, <http://locky.jp>
- [6] 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).

- [7] Ouri Wolfson, Bo Xu.: 「Data-on-the-Road in Intelligent Transportation Systems」, Department of Computer Science University of Illinois at Chicago Chicago, IL 60532, USA.
- [8] Johnson, D.B. 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).