

# モバイルサービスにおけるクローキングとダミーに基づく位置情報プライバシー

三浦 健太<sup>1</sup> 佐藤 文明<sup>1,a)</sup>

受付日 2013年5月14日, 採録日 2013年10月9日

**概要:** 近年, 高精度な位置検出デバイスの普及にともなって, 様々なタイプの位置情報サービス (LBS) が提供されている. 一方で, このような位置データは個人情報を含んでおり, 位置のプライバシーを保護することは LBS における重大な問題の 1 つとなっている. 位置情報のプライバシーを保護するための方法として, 多くの提案がなされてきている. たとえば, サイレントピリオドに基づく手法, ダミーノードに基づく手法, そしてクローキングリージョンに基づく手法がある. しかし, 多くの研究は匿名性を改善しようとする LBS の品質が低下し, LBS の品質を高めようとする匿名性が下がる問題があった. この論文では, ダミーノード方式とクローキングリージョン方式を組み合わせたハイブリッド手法を提案する. この方式では, ノード密度に基づいて適切な方式を使ってノードの位置のプライバシーを保護する. シミュレーション結果から, 提案方式は位置情報の品質を低下させることなく, ターゲットノードの特定確率を改善することが可能となった.

**キーワード:** 位置情報プライバシー, 位置匿名性, 位置情報サービス, モバイルサービス

## Cloaking and Dummy-based Location Privacy in Mobile Services

KENTA MIURA<sup>1</sup> FUMIAKI SATO<sup>1,a)</sup>

Received: May 14, 2013, Accepted: October 9, 2013

**Abstract:** Recently, highly accurate positioning devices enables us to provide various types of location based services (LBS). On the other hand, because such positioning data include deeply personal information, the protection of location privacy is one of the most significant problems in LBS. Lots of different techniques for securing the location privacy have been proposed, for instance the concept of Silent period, the concept of Dummy node, and the concept of Cloaking-region. However, many of these researches have a problem that quality of the LBS (QoS) decreased when anonymity is improved, and anonymity falls down when QoS is improved. In this paper, we present a node density-based location privacy scheme which can provide location privacy by utilizing hybrid concept of Dummy node and Cloaking-region. Simulation results show that the probability of tracking of a target node by an adversary is reduced and the QoS of LBS is also improved.

**Keywords:** location privacy, location anonymity, location based services, mobile services

### 1. はじめに

近年, GPS デバイスやモバイルコンピューティング技術の進展により, 位置情報サービス (LBS) の重要性が広く認識されるようになってきた. 位置情報サービスを利用するためには, ユーザの現在の位置情報をサービスプロバイ

ダに通知する必要がある. 位置情報はサービスプロバイダがモバイルユーザに対して位置に依存したサービスを提供するために必要であるが, 一方でプライバシー情報の漏洩源になることがある. たとえ位置情報に付与される ID を定期的に変更したとしても, 位置情報の相関から ID の関連性が検出されてしまう問題がある. 位置情報と他の情報 (たとえばオフィスや自宅の住所) とを組み合わせることで, ID から実際のユーザに対応付けすることも可能となり, 利用者の行動履歴が追跡されてしまうなどの問題が生

<sup>1</sup> 東邦大学理学部情報科学科  
Department of Information Science, Faculty of Science, Toho University, Funabashi, Chiba 274-8510, Japan  
a) fsato@is.sci.toho-u.ac.jp

じる可能性がある．このような問題を解決するために，位置匿名化の研究が行われるようになってきた．

サイレントピリオド方式 [1], [2], [3], [4] は，ユーザの位置情報を一定時間，あるいは一定領域においてサービスプロバイダに通知することを停止する方法である．ユーザの位置情報が一定時間途絶えることで，攻撃者が位置推定を行うことを防ぐことができる．近接する 2 つ以上のノードが同時にサイレントピリオドに入ることによって，ID とノードとの関連付けを難しくすることができる．この方法の欠点は，サイレントピリオドにおける位置情報が途絶えることで，LBS としての品質が低下することである．

ダミーノード方式 [5], [6] は，ノードの位置情報プライバシーを保護するために，自分の位置情報のほかにダミーの位置情報をサービスプロバイダに通知する方式である．また，ユーザが自身の位置情報に依存した情報を検索したい場合でも，自身の位置情報に加えてダミーの位置情報をプロバイダに通知することで，自身の位置情報を特定されにくくする．そして，検索結果としてはダミーの位置情報に関する結果も受け取るが，必要な情報以外は破棄すればよい．しかし，ダミーノードの情報は，他の利用者から見れば明らかにノイズであり，LBS の品質は低下することになる．

クローキングリージョン方式 [8], [9], [10] は，他の  $k-1$  個のノードと位置情報が重複する程度に位置をばやけさせる方式である．したがって， $k$  個のノードが同じ位置情報の中に含まれるようになる．この考えは， $k$ -匿名化 ( $k$ -anonymity) と呼ばれる考え方であり，あるノードの確からしさを  $1/k$  にすることができる．しかし，このばやけさせる領域 (クローキングリージョン) が大きくなればなるほど，LBS としての情報の精度が下がってしまう．

これらの研究の多くは，匿名性を上げようとする LBS の品質が低下し，LBS の品質を上げようすると匿名性が下がる問題があった．この論文では，ダミーノード方式とクローキングリージョン方式を組み合わせたハイブリッド方式を提案する．そして，ノード密度に応じた方式の選択によって，位置情報のプライバシーを効率良く保護する．提案方式の有効性を評価するために，LBS の品質を評価する尺度として，位置情報の平均誤差を定義し，匿名性を評価する尺度として，ノードの特定確率を定義した．そして，シミュレーションによって有効性を確認した．

以下，本論文の構成は次のとおりである．2 章において，従来の位置匿名化手法の特徴と問題点について述べる．3 章において，我々が提案するハイブリッド型の位置匿名化アルゴリズムおよび評価基準について述べる．4 章において，シミュレーションによる評価結果について述べる．5 章は，本論文のまとめである．

## 2. 関連研究

### 2.1 サイレントピリオド方式

サイレントピリオド方式は，ある一定の期間，あるいは一定の領域において，位置の変更や ID の変更をサービスプロバイダに通知しない方式である [1], [2], [3], [4]．サイレントピリオドが終了すると，各ノードは新しい ID によって位置情報を通知し始める．そのため，サイレントピリオドによって，変更の前と後とで ID の関連付けを難しくすることができる．図 1 は，2 つのノードによるサイレントピリオドプロトコルの例である．ユーザ 1 とユーザ 2 は同じ時刻にサイレントピリオドに入っており，各 ID は A から A' に，また B から B' にそれぞれ更新されている．ユーザ 1 にとって，A' と B' は更新された ID の候補となりうるため，ユーザ 1 の匿名性は向上したといえる．

このことから，できれば長いサイレントピリオドがあれば，ユーザに対する ID の候補は増えることになり，匿名性は向上するが，位置情報サービスの品質は低下する．それは，サイレントピリオドの期間では位置情報が入手できなくなるためである．

### 2.2 ダミーノード方式

ダミーノード方式では，ユーザの位置情報プライバシーを保護するために，ユーザの実際の値のほかにいくつかのダミーの位置情報を生成して，サービスプロバイダに送る [5], [6], [7]．ユーザによって送られたダミーを含む位置情報から，ユーザの位置を特定することは難しいことから，これらの生成されたダミーによってユーザの位置情報が匿名化されている．ユーザが近隣のレストラン情報を取得したいとき，ユーザは自身の位置情報に加えて，ダミーの位置情報を問合せメッセージに含めてサービスプロバイダに送信する．サービスプロバイダはレストランのリストを返信するが，その中にはユーザの位置に近いレストランも，ダミーの位置に近いレストランも含まれる．ユーザは，自身の実際の位置に近いレストランを取り出せばよい．ダミーノード方式の考え方を図 2 に示す．

ダミーノード方式はユーザの位置情報を匿名化するのに

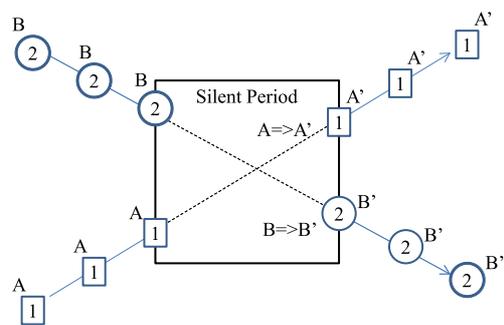


図 1 サイレントピリオド方式

Fig. 1 Silent Period concept.

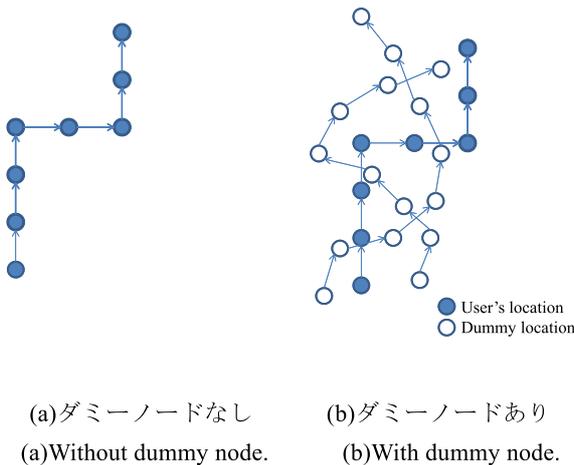


図 2 Dummy node concept.

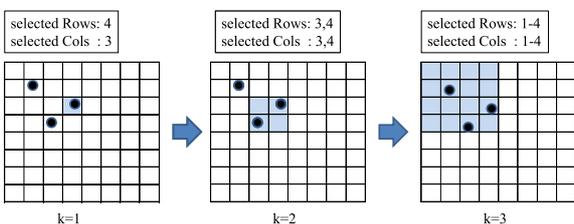


図 3 Cloaking region concept.

効果的ではあるが、ダミーの位置情報はサーバに蓄積されていき、位置情報サービスの品質を低下させていくことになる。

### 2.3 クローキングリージョン方式

クローキングリージョン方式では、サービス要求を発行するモバイルユーザの位置情報がある「クローキングリージョン」と呼ばれる空間領域に曖昧化してサービスプロバイダに提供することで、位置の匿名化を行う方式である [8], [9], [10]。この空間領域は、自身を含めて少なくとも  $k$  個のユーザが含まれるように拡大されて設定される。この方法では、攻撃者はユーザの曖昧化された位置情報しか得ることができない。また、攻撃者が正確な位置情報を得ることができたとしても、同じ位置情報には  $k$  個のノードが存在するため、目的とするノードの確からしさは  $1/k$  以下になる。この方式の概念を図 3 に示す。

この  $k$ -匿名性に基づくいくつかの方式が提案されてきた。Casper [9] では、パラメータ  $k$  として、匿名化された空間領域における最小のノード数が設定され、また空間領域の最小サイズが規定される。Casper の匿名化機構では、ターゲット領域に対する 4 分木状のピラミッドデータ構造に基づいて格子領域が管理されている。この格子領域に基づくピラミッド構造によって、ユーザが存在する空間領域をユーザの与えた匿名要件を満たすまで拡張するボトム

アップクロッキングアルゴリズムが用いられる。

PrivacyGrid [10] 方式は、格子領域に基づく匿名化を行っている点では Casper と類似している。しかし、PrivacyGrid では動的な領域の拡張を使っていることから、Casper と比べて匿名化のためにより小さな空間領域を使うことができ、サービス品質が改善されている。

クローキングリージョン方式は、クローキングリージョンを拡大することで、近隣のノードと位置情報を同一化することで匿名化するが、近隣にノードが存在しない場合、あまり効果がない。

## 3. ユーザプライバシー保護のためのハイブリッド方式の提案

### 3.1 提案方式の特徴

提案方式は、位置情報を匿名化するためにクローキングリージョン方式とダミーノード方式を組み合わせたハイブリッド方式を用いている。位置情報のクローキング（曖昧化）は、ノード密度が小さいときには匿名化にはあまり寄与しない。一方で、位置情報の曖昧化は位置情報サービスの品質を低下させる。したがって、曖昧化レベル、つまりクローキングリージョンの大きさはノードの密度を考慮して動的に変更するべきである。ダミーノード方式は、利用者の匿名度を向上させるのに有効な方式であるが、位置情報サービスの品質を低下させる。たとえば、道路の混雑度を推定したり、店舗周辺の客の流れを推定するなどといったサービスを提供する場合、ダミーノードの情報は大きな誤差となる。ダミーノードは、周辺にノードが存在しないときに匿名性を高めるのに役立つが、一方でノード密度が高いときにはダミーノードの必要性は低下する。したがって、ダミーノードの出現についても、ノード密度に応じて動的に決定する必要がある。

本提案方式の特徴は、周辺のノード密度に応じて、クローキングリージョンの大きさ、およびダミーノードを利用するかどうかを動的に決定することである。もし、周辺のノード密度が高い場合、クローキングリージョンの大きさは小さく、そしてダミーノードを利用せずに匿名化を行う。その結果、位置情報サービスの品質を低下させることなく、匿名化を行うことができる。また、周辺のノードの密度が低くなるにつれて、クローキングリージョンを拡大するが、ノード密度が非常に低い場所ではクローキングリージョンの拡大だけでは匿名化を向上させることはできない。その場合は、ダミーノードを出現させることで、ノード密度を向上させて、匿名度を向上させる方式である。

### 3.2 提案方式のアルゴリズム

各ノードの位置情報は、GPS によって取得され、緯度・経度情報としてノード内に管理されるものとする。さらに各ノードは、曖昧化レベル（クローキングリージョンのサ

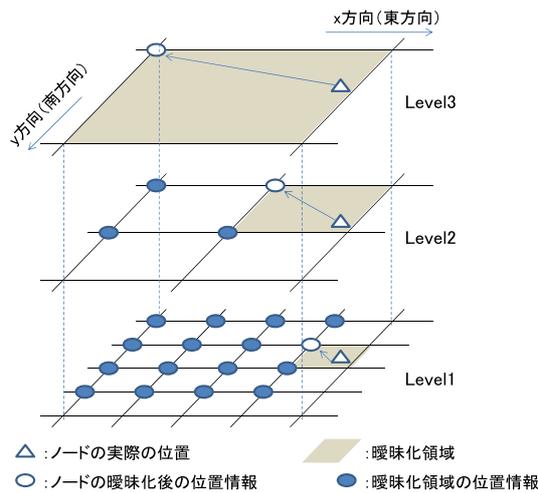


図 4 位置情報管理方式

Fig. 4 Location information management.

イズ), ダミーノードの数, そしてダミーノードの位置情報を状態情報として管理しているものとする (図 4 参照).

この方式では, 位置情報サーバが管理する領域を対象として, その北西の角を原点とする  $x$ - $y$  座標があると仮定する. 原点から東方向が  $x$  軸の正の方向, 原点から南の方向が  $y$  軸の正の方向とする. 図 4 に示すように, 位置情報サーバが管理する領域は, 曖昧化レベルに応じて格子領域に分割されており, ノードの位置情報はその格子領域 (曖昧化領域) の北西の角の座標として管理される.

各ノードは, 位置情報管理サーバ (位置情報プロバイダ) に対して定期的に自身の曖昧化された位置情報と曖昧化レベルを通知する. この場合, 位置情報は格子領域の北西の角の点とする. 周辺のノード密度に応じて, いくつかのダミーノードを含む 2 つ以上の位置情報を報告することもある. 位置情報管理サーバは, ダミーノードを含むすべてのノードの位置情報を曖昧化レベルに応じて公開する. さらに, 公開される位置情報に付与される ID は頻繁に変更されるために, 実際のユーザを特定するために重要ではないと仮定する.

曖昧化領域のサイズは, 最小の曖昧化レベルの領域から開始して, 「条件」が満たされるまで曖昧化レベルを上げて (縦横を 2 倍にして) 拡大していく. すなわち, 「条件」を満足する最小の曖昧化レベルが選択される. 曖昧化レベルには上限があり, その上限のサイズでも「条件」を満たすことができないときは最小の曖昧化レベルを選択するとともに, ダミーノード出現の条件の 1 つとなる. ここで, 「条件」とは, 曖昧化領域内に何個のノードが同時に含まれるか, ということである. もし「条件」が, 「曖昧化領域に  $k$  個のノードが同時に含まれる」である場合, 自分以外の  $k-1$  個のノードが含まれるまで領域を拡大していく. これは,  $k$ -匿名性を目標として曖昧化を行うことを意味する.

各ノードは, 周辺ノードの密度が閾値より小さい場合ダ

ミーノードを生成する. ただし, 前回生成した時刻から一定時間経過している必要がある. ダミーノードは, 現在のユーザの位置情報と同じ場所に生成され, 異なる目的地で異なる速度で移動するものとする. ダミーノードは, 一定時間経過すると消去される. また, 1 つのノードがダミーノードを同時に生成できる数に上限を設定している. これは, ダミーノードが多数生成されることによる位置誤差の増加を抑制するためである.

これらの処理の流れを図 5 に示す.

### 3.3 評価基準

このアルゴリズムを評価するために, ここでは 2 つの評価基準を導入する. 1 つは位置情報の品質についての基準であり, もう 1 つは匿名性に関する基準である. 位置情報管理サーバから提供される位置情報は曖昧化されている. そのとき, 位置情報が曖昧化されずに本来の高い精度の位置情報として与えられた場合と比べて位置誤差が生じる. この論文では, ノードの位置誤差を次のように与える.

まず初めに, ノードの位置情報は最小格子の粒度 (最も高い精度) で座標  $x$  と  $y$  のように管理されているものとする. ここで, ノード  $i$  の位置情報は,  $x_i$  と  $y_i$  のようになり, 曖昧化された位置情報は,  $s_i$  と  $t_i$  のように表現される. さらに, 曖昧化された領域は  $x$  方向と  $y$  方向にそれぞれ  $m$  と  $n$  個分の格子が集まったものとする. このとき, 最も高い精度の位置情報は二次元の配列  $A$  に管理することができる. つまり, 配列  $A$  の要素 ( $A[x_i][y_i]$ ) には, その格子の位置 ( $x_i, y_i$ ) にノードが存在するときに, 1 が足し込まれる. 一方, 曖昧化された位置情報は二次元配列  $B$  に管理される. もしノード  $i$  が曖昧化されていれば,  $B$  の要素 ( $B[p][q], p = s_i, \dots, s_i + m - 1, q = t_i, \dots, t_i + n - 1$ ) にそれぞれ  $1/(m \cdot n)$  が足し込まれる. すべてのノードの位置情報が配列  $A$  と  $B$  に足し込まれた後に, 位置誤差は次の式を計算することで求める.

$$D = \sum_{i=0}^{x \max - 1} \sum_{j=0}^{y \max - 1} |A[i][j] - B[i][j]| / N \quad (1)$$

ここで,  $x \max$  と  $y \max$  は  $x$  方向と  $y$  方向の格子分割の数である. また,  $N$  はノード数 (ダミーノードを含まない) である. 位置誤差の計算方法の概念図を図 6 に示す.

もしこの値が小さければ, 位置情報は高い精度で提供できていることを示す. そして, これは位置情報サービスの評価基準となる.

次にノードの特定確率を定義する. これは, あるノードが特定のユーザに対応すると考えられる確率を表しており, すべてのノードの初期値は 1 とする. つまり, 最初にすべてのノードはユーザと対応付けられていると考える. あるノードが他のノードと同じ領域に同時に存在するとき, その特定確率は  $1/2$  になる. なぜなら, 2 つのノード

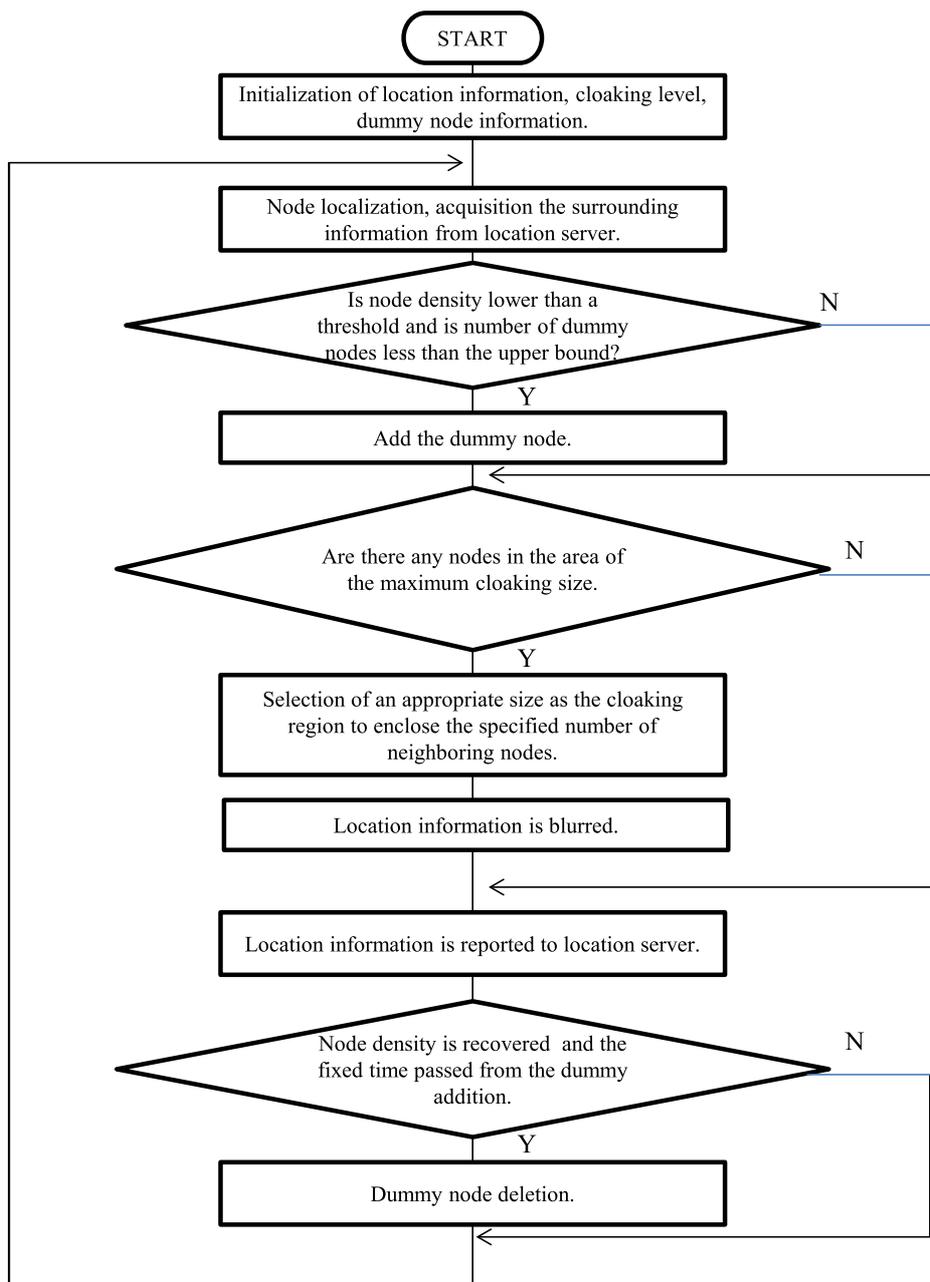
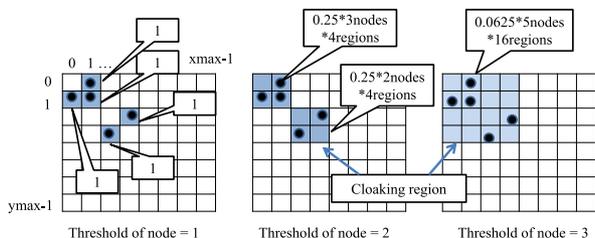


図 5 提案アルゴリズム

Fig. 5 Proposal algorithm.



(a)配列 A の内容 (b)配列 B の内容  
 (a)Contents of array A. (b)Contents of array B.

図 6 位置誤差の計算

Fig. 6 Location error calculation.

のうち、どちらが正しいノードかを識別できないからである。もし、しばらくして別のノードと出会ったとき、またそのノードの特定確率は現在の値の 1/2 になる。また、もし同時に自分も含めて  $k$  個のノードと一緒にになったとき、特定確率は  $1/k$  になる。このコンセプトを図 7 に示す。

一定時間の後、システム全体のノード（ダミーノードを除く）の特定確率の平均値を匿名性の評価基準とする。この値が小さいほど、匿名性が高まっていることを示す。

#### 4. シミュレーション評価

##### 4.1 シミュレーションの条件

提案手法の有効性を評価するため、以下の条件でシミュ

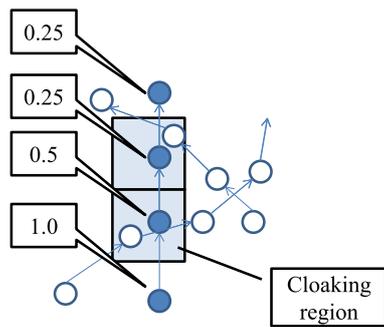


図 7 特定確率の減少

Fig. 7 Decrease of the node identity.

表 1 シミュレーションパラメータ

Table 1 Parameter of simulation.

Number of nodes	50, 100, 150, 200
Velocity of node	1 m/s(max)
Pause time	600 sec
Simulation time	3600 sec
Maximum dummy	2 nodes simultaneously.
Smallest area size	10m x 10m
Max. cloaking area size	8x8, 16x16, 32x32 of smallest area
Node threshold for cloaking area expansion.	At least 2 nodes in a cloaking area.
Dummy deletion time	600 sec
Dummy addition int.	1200 sec

レーションを実施した. ノードが移動する空間は, 1,000 m × 1,000 m とし, 移動速度は人間が歩く速度を想定している. また, ノードの移動モデルは, 空間を自由に移動できるランダムウェイポイントモデルと,  $x$  方向と  $y$  方向に 100 m 間隔で格子状に道路を仮定して, その道路上のみを移動する制限付きのランダムウェイポイントモデルの 2 種類を実施した. その他のシミュレーションパラメータを表 1 に示す.

ノードが生成できるダミーノードの数は同時に 2 ノードまでとし, また曖昧化領域を拡大するための条件とするノード数の閾値は 2 ノードとする. この値は, 予備実験で良好な値が得られたパラメータ値を選択している.

平均の位置誤差と平均の特定確率を, 動的に曖昧化する領域サイズを変更する従来のクローキングリージョン方式と比較した.

#### 4.2 シミュレーション結果 (道路なし)

図 8 に自由移動モデルでの平均位置誤差のシミュレーション結果を示す. 図 8 における実線は提案方式であり, 点線はクローキングリージョン方式の結果を示す. 位置誤差は小さい方が精度の良い位置情報サービスを提供できる

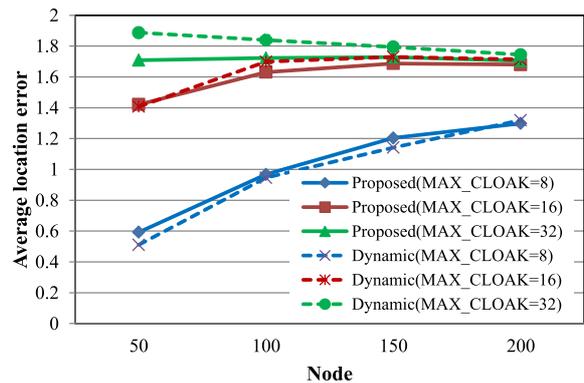


図 8 平均位置誤差 (道路なし)

Fig. 8 Average location errors (free mobility).

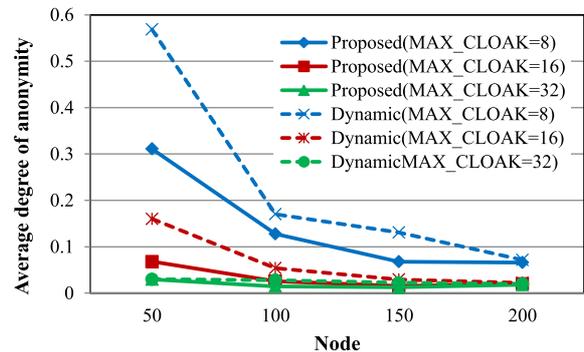


図 9 平均特定確率 (道路なし)

Fig. 9 Average degree of anonymity (free mobility).

ということを示す.

図 8 よりノード数が多くなると平均位置誤差は大きくなるが, それはノード密度が高まって最大の曖昧化レベルにしたときに他のノードが含まれる可能性が高まってからである. 他のノードが曖昧化領域に含まれるとき, その領域サイズまで曖昧化しようとするため, 平均の位置誤差は大きくなる. しかし, 最大の曖昧化領域サイズが非常に大きいとき (MAX\_CLOAK = 32), ノード密度に関係なくほとんど近傍に他のノードを含むことになり, つねに曖昧化が行われることから, ノード数に関係なく位置誤差は高くなる.

平均の位置誤差は, 提案方式とクローキングリージョン方式はほぼ同等の結果であるが, 特に最大の曖昧化領域サイズが大きい場合, 平均位置誤差が改善されている. 提案方式では, 曖昧化領域に他のノードが含まれるまで拡大していくが, ノード密度が小さいとこの領域が大きくなりやすく位置誤差が大きくなりやすい. しかし, 提案方式がダミーノードを生成することで, ダミーノードが近傍に存在する分だけ小さい曖昧化領域ですんでいることが影響していると考えられる.

また, 図 9 は自由移動モデルでの平均特定確率のシミュレーション結果を示す. 特定確率は, 値が小さいほど特定されにくいことを示しており, 匿名性が高まることを示

す。図 8 の実線は提案方式を表し、点線はクローキングリージョン方式の結果を示す。ノード数が増加するにつれて、平均特定確率は減少している。これは、他のノードと出会う確率が高まるためである。このシミュレーション結果から、提案方式はクローキングリージョン方式と比較して特定確率を改善していることが分かる。特に、最大の曖昧化領域サイズが小さいとき、クローキングリージョン方式では他のノードと出会う確率が小さくなってしまふ領域でも、提案方式ではダミーノードの出現によって特定確率が改善されている。

### 4.3 シミュレーション結果 (道路あり)

図 10 に道路移動モデルでの平均位置誤差のシミュレーション結果を示す。図 8 と同様に実線は提案方式であり、点線はクローキングリージョン方式の結果を示す。

図 10 より、位置誤差のノード数に対する変化の傾向は、自由移動モデルと大きくは変化しないことが分かる。そして、提案方式と従来方式とではほとんど位置誤差は同等となった。これは、移動が道路上に制限されているため、ノード密度があまり高くなくても、ノードが近傍にある割合が高かったことが影響していると考えられる。

また、図 11 は道路移動モデルでの平均特定確率のシミュレーション結果を示す。図 9 と同様に、実線は提案方

式を表し、点線はクローキングリージョン方式の結果を示す。ノード数が増加するにつれて、平均特定確率が減少することも自由移動モデルと同様である。しかし、特定確率の値は自由移動モデルと比べて小さい値となっている。これは、自由移動モデルにくらべて道路モデルは移動が制限されているため、ノードが出会う確率が高まっているためである。この移動モデルにおいても、特に、最大の曖昧化領域サイズが小さいとき、クローキングリージョン方式では他のノードと出会う確率が小さくなってしまふ領域で、提案方式ではダミーノードの出現によって特定確率が改善されている。

## 5. まとめ

位置情報サービスでは、ユーザの位置情報のプライバシー保護に関心が集まっている。本論文では、ユーザの位置情報を匿名化する方法として、クローキングリージョン方式とダミーノード方式を組み合わせたハイブリッド手法の提案を行った。クローキング手法とダミーノード方式は、それぞれ利点と欠点があるが、周囲のノード密度に応じて適切にパラメータを制御することで、位置情報サービスの品質を損なうことなく、匿名性を改善できることをシミュレーションによって示した。

今後の課題は、実際の地図や利用者の移動履歴などを用いた、より現実的な移動モデルにおける提案方式の評価がある。また、曖昧化手法を空間で曖昧化するのみでなく、道路に沿って曖昧化することで、余分な領域に誤差が拡散しないようにする新たなアルゴリズムの提案と評価がある。

## 参考文献

- [1] Tomandl, A., Scheuer, F. and Federrath, H.: Simulation-based evaluation of techniques for privacy protection in VANETs, *IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2012)*, pp.165-172 (2012).
- [2] Song, J.-H., Wong, V.W.S. and Leung, V.C.M.: Wireless Location Privacy Protection in Vehicular Ad-Hoc Networks, *IEEE International Conference on Communications, ICC '09*, pp.1-6 (2009).
- [3] Sampigethya, K., Li, M., Huang, L. and Poovendran, R.: AMOEBA: Robust Location Privacy Scheme for VANET, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.25, No.8, pp.1569-1589 (2007).
- [4] Matsuura, K., Yamane, H. and Sezaki, K.: Enhancing wireless location privacy using silent period, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2005)*, pp.1187-1192 (2005).
- [5] Kido, H., Yanagisawa, Y. and Satoh, T.: An anonymous communication technique using dummies for location-based services, *International Conference on Pervasive Services, ICPS '05*, pp.88-97 (2005).
- [6] Kato, R., Iwata, M., Hara, T., Suzuki, A. and Arase, Y.: A Dummy-based Anonymization Method Based on User Trajectory with Pauses, *ACM SIGSPATIAL GIS '12*, pp.249-258 (2012).

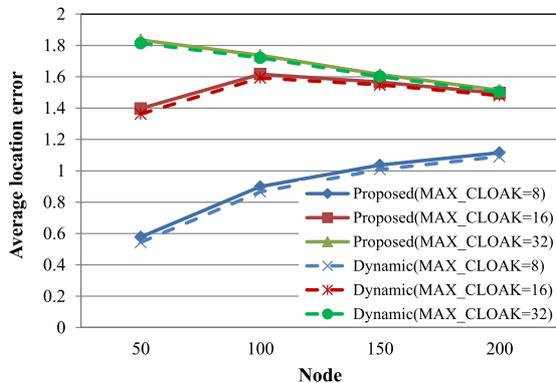


図 10 平均位置誤差 (道路あり)

Fig. 10 Average location errors (road mobility).

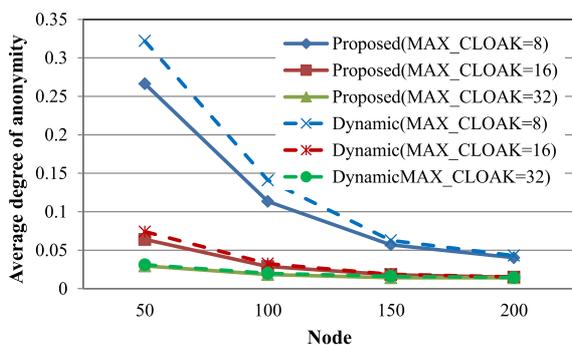


図 11 平均特定確率 (道路あり)

Fig. 11 Average degree of anonymity (road mobility).

- [7] Suzuki, A., Iwata, M., Arase, Y., Hara, T., Xie, X. and Nishio, S.: A user location anonymization method for location based services in a real environment, *Proc. 18th SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '10)*, pp.398-401 (2010).
- [8] Mano, M. and Ishikawa, Y.: Anonymizing user location and profile information for privacy-aware mobile services, *Proc. 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Location Based Social Networks (LBSN '10)*, pp.68-75 (2010).
- [9] Mokbel, M.F., Chow, C.-Y. and Aref, W.G.: The New Casper: Query Processing for Location Services without Compromising Privacy, *Proc. VLDB*, pp.763-774 (2006).
- [10] Bamba, B., Liu, L., Pesti, P. and Wang, T.: Supporting Anonymous Location Queries in Mobile Environment with PrivacyGrid, *Proc. WWW*, pp.237-246 (2008).



三浦 健太

平成 25 年東邦大学理学部情報科学科卒業。同年 (株) SKI 入社。モバイルコンピューティング, 位置情報匿名化に関する研究に興味を持つ。



佐藤 文明 (正会員)

昭和 61 年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士前期課程修了。同年三菱電機 (株) 入社。通信ソフトウェアの研究開発に従事。平成 7 年より静岡大学工学部助教授。平成 8 年同大学情報学部助教授。平成 17 年同教授。同年 10 月より東邦大学理学部教授。通信ソフトウェア, 分散処理, モバイルコンピューティング, センサネットワークに関する研究に従事。博士 (工学)。平成 19 年情報処理学会学会活動貢献賞。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。