

移動ノードの協調による位置依存情報の保持手法

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科
石川 裕章 桧垣 博章
E-mail: {yusho, hig}@higlab.net

位置依存情報を無線アドホックネットワークを通信基盤とするネットワークシステムで扱う手法を提案する。小規模のアドホックネットワークでは、検索要求に対して平均的に低通信オーバーヘッドで応答可能な手法としてアドホックネットワークの中心付近に存在するサーバノードにすべての情報を保持する手法が提案されている。しかし、広領域に低密度に移動ノードが分布し、比較的高速に移動するアドホックネットワークでは、位置依存情報を情報生成位置の近隣にある移動ノードに格納し、位置を送信先として指定可能なルーティングプロトコルによって検索要求メッセージを配送する手法が有効に機能する。そこで本論文では、位置依存情報を移動ノードの経時的位置変化にも関わらず、指定された保持領域内部での保持を維持する手法を提案する。

Cooperation Method among Mobile Nodes for Keeping Location Information within Predetermined Region in MANETs

Yusho Ishikawa and Hiroaki Higaki
Department of Computers and Systems Engineering
Tokyo Denki University
E-mail: {yusho, hig}@higlab.net

This paper proposes a novel cooperation method among mobile nodes for keeping location-dependent information within a predetermined region in Mobile Ad-Hoc Networks. In a small-scale ad-hoc network, location-dependent information is also stored into a server node located around the center of the ad-hoc network for achieving responses for queries with averagely low communication overhead. However, in a large-scale ad-hoc network, especially in which mobile nodes are widely distributed with relatively lower density, with high mobility, keeping location-dependent information within a predetermined region and transmitting query messages with a location-based ad-hoc routing protocol achieves higher performance. This paper examines achieved performance in three different conditions for exchanging location-information among neighbor mobile nodes and density of mobile nodes is found to be the most efficient factor for the performance.

1 はじめに

移動コンピュータネットワーク技術の発達により、固定基地局を必要とせず、無線通信デバイスを搭載した移動ノードのみで構成される無線アドホックネットワークに関する研究開発が活発に行なわれている。ここでは、移動ノード間の通信には IEEE802.11 や Bluetooth といった CSMA/CA を基礎とした無線 LAN プロトコルやその拡張が用いられる。互いに無線信号到達範囲に含まれない移動ノード間の通信は、他の移動ノードによるデータメッセージの中継による無線マルチホップ配送が用いられ、経時的にネットワークトポロジが変化する環境に対応したさまざまなルーティングプロトコルが提案されている [9]。ここでは、送信先移動ノードを位置 (領域) で指定するプロトコルがある。

一方、移動ノードを含むネットワーク環境では、移動するユーザに適切な情報を提供する位置情報サービスとその実現技術が検討されている。また、センサネットワークでは、ユーザは特定の領域のセンサの取得データを収集するといった位置で検索対象を特定することがある。このように、情報の属性のひとつである位置 (領域) がその情報の提供、検索等において重要な役割を占める特性を持つネットワークシステムへの要求が高まっている。無線アドホックネットワークでは、基地局を含む固定インフラストラクチャが存在しないため、このような位置属性を移動ノードに格納する必要がある。本論文では、各情報をその情報の持つ位置 (領域) 属性を含む保持領域に含まれる移動ノードに格納し、ノードの移動とともに隣接移動ノードに情報を転送することにより、各情報が保持領域に存在し続けることを実現する手法を提案する。

2 従来手法とその問題点

移動ノードを構成要素として含むコンピュータネットワークにおいて、情報の属性として「位置 (領域)」が重要な役割を果たす様々なアプリケーションが検討されている。

ユーザが携帯端末を用いて情報取得するサービスにおいては、ユーザの現在位置や移動速度 (速さと方向) と各情報が持つ位置属性に基づいて、ユーザの情報検索要求に対して応答するサービスやユーザの要求発生とは独立に情報提供する放送型サービス等の位置情報サービスへの要求が高まっており、その基盤技術の研究開発や実用化検討がなされている [13]。また、センサネットワークにおいて各センサノードが取得したセンサデータには、その取得位置という属性が与えられ、センサデータの検索等に用いられる。これまでに、このセンサデータをシンクノードを通して固定サーバに保持するシステムやセンサネットワークに分散配置されたサーバに保持するシステ

ム、情報を取得したセンサノードに保持するシステム、他の属性に基づいて決定されるいずれかのセンサノードに保持するシステム等が提案されている。

移動ノードを相互接続する無線ネットワークに有線ネットワークやインターネットへのゲートウェイとしての無線基地局を含む場合には、固定サーバに情報を保持する手法を適用することが可能である。しかし、無線基地局やそれに接続する有線ネットワークの存在を前提としない無線アドホックネットワークを移動ノードの相互接続基盤として用いる場合には、移動ノードでの情報保持手法が検討対象となる。例えば、位置情報サービスにおいては、移動ユーザの携帯端末や ITS サービスを享受する車載コンピュータに情報を保持することが考えられる。また、センサネットワークにおいては、安価に提供されることが期待されるセンサノードには十分な記憶装置を搭載することが必ずしも容易ではない [17] ことから、センサデータの分布空間に存在する移動ノードがセンサデータの利用と無線マルチホップ配送を担う手法 [16] が現実的であり、これらの移動ノードにセンサデータを保持する手法が考えられる。

無線アドホックネットワークにおいて、複数移動ノードによる協調作業アプリケーションを支援するための調停サーバノードをネットワークトポロジの変化に応じて動的に変更する手法として REMARK が提案されている [19]。ここでは、無線アドホックネットワークの中心付近に位置する移動ノードをサーバノードとして選択し、このサーバノードをネットワークのトポロジ変換に応じて動的に変更している。本論文では、サーバノードを移動ノードの協調動作を調停する一般的な機能を備えたものと定義しているが、協調動作のひとつとして位置依存情報の保持と検索要求への応答を考えると、先に述べた移動ノードに情報を保持するための一手法ととらえることができる。この場合、各移動ノードから情報へのアクセスに要する通信オーバーヘッドを平均的に削減することが可能であり、その有効性が実験的に示されている。しかし、すべての位置依存情報が単一サーバノードに集約保持される手法であることから、情報検索要求にともなうトラフィックがサーバノードおよびその周辺ネットワーク部分に集中する、情報が検索されるか否かに関わらずサーバノードまでの配送に通信オーバーヘッドを要するといった問題点がある。そこで、位置依存情報をその情報が持つ位置 (領域) 属性で指定される位置 (領域) もしくはその近隣に位置する移動ノードで保持する手法が有効であると考えられる。この場合、各情報は無線アドホックネットワークを構成する各移動ノードに分散的に配置されるため、情報検索要求にともなうトラフィックは単一サーバノードに集中することはなく、また、

位置依存情報が恒常的にサーバノードへと無線マルチホップ配送されることもない。位置依存情報を情報の生成位置周辺の移動ノードで保持する手法は、論文 [20] でも検討されている。ここでは、情報の取得要求ノードが情報の生成位置の近隣に存在する場合を対象としているが、本論文では情報の取得要求ノードはアドホックネットワークの全域に分布する状況を想定する。

無線アドホックネットワークにおいては、ノードの移動にともないネットワークのトポロジが経時的に変化することから、有線ネットワークとは異なるルーティングプロトコルが必要であり、様々な無線マルチホップ配送のためのルーティングプロトコルが提案されている [9]。移動ノードに GPS 等の位置取得デバイスが搭載されていないことを前提とする場合には、経路探索要求メッセージのフラッディングを用いる手法が主に検討されており、AODV [10]、DSR [4]、TORA [11] 等が代表的なルーティングプロトコルである。一方、すべての移動ノードに位置取得デバイスが搭載されていることを前提とする場合には、この位置情報を活用することによって、制御メッセージのフラッディングにともなう通信オーバーヘッドを削減することができる可能性があり、LAR [6]、GEDIR [7]、GPSR [5] といったルーティングプロトコルが提案されている。これらのプロトコルでは、DREAM [1]、Octopus [12]、HRLI [8] といった送信先移動ノードの位置取得サービスと組み合わせることが必要である。しかし、データメッセージの送信先を移動ノード識別子ではなく、位置 (領域) で指定する場合には位置取得サービスは不要となる。Geocast [3] や GVGrid [14] は、送信先を位置 (領域) で指定するルーティングプロトコルであり、FACE-2 [2] も指定領域に含まれる移動ノードへのマルチキャストに用いることができる¹。情報 I がその位置 (領域) 属性 $R(I)$ で指定される位置 (領域) に存在する移動ノードに保持されているならば、この情報 I の検索を要求する移動ノードが検索要求メッセージを $R(I)$ に対して送信し、この検索要求メッセージをこのようなルーティングプロトコルで配送すればよい。このとき I を保持する移動ノードの識別子を送信元移動ノードが取得する必要がない。

3 提案手法

3.1 位置依存情報保持手法

本論文では、アドホックネットワークにおける位置依存情報をその情報の位置 (領域) 属性で指定される位置 (領域) を含む領域に存在するいずれかの移動

¹GVGrid および論文 [18] で提案されているプロトコルは、無線マルチホップ配送の中継ノードをその識別子ではなく領域で指定する特異なルーティングプロトコルである。

ノードに格納する方法を提案する²。ここでは領域 $R(I)$ を各情報 I の属性として含むアプリケーションを対象とする。例えば、センサネットワークにおける各センサノードが取得したセンサデータや ITS における道路交通情報のような位置依存情報においては、各情報 I が生成される領域が $R(I)$ である。情報 I が領域 $R(I)$ において生成される場合、前章で述べたように I を $R(I)$ を含む限られた保持領域 $DR(I)$ に含まれる移動ノードに保持することが求められる。この方法は、前章での検討で示したように、1) 検索トラフィックがサーバノードとその周辺ネットワーク部分に集中せず分散化が可能、2) 情報を無条件にサーバノードへ配送する通信オーバーヘッドの削減が可能、3) 情報の属性である領域を検索要求メッセージの送信先として指定するアドホックルーティングの適用が可能、という優れた性質を持つが、さらに情報の更新を考えた場合、更新前の情報を保持する移動ノードが限られた領域に存在することが保証されているため、更新要求の転送範囲をこの領域に限定することが可能であり、通信オーバーヘッドの削減に貢献する。

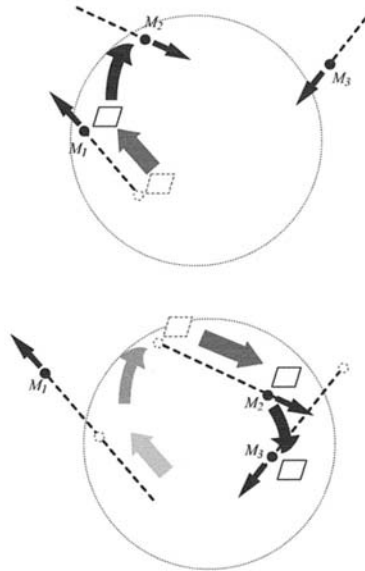


図 1: 位置依存情報保持手法

上記の有効性によるメリットを享受するためには、移動ノードが経時的に位置を変え、アドホックネットワークのトポロジが変化する場合においても、情報 I がその保持領域 $DR(I)$ に含まれるいずれかの移動ノードによって十分に高い確率で保持されるこ

²以下では、「位置」を面積 0 の「領域」と扱い、より一般的な用語として「領域」を用いる。

とが必要である。そのためには、以下の3点を検討しなければならない。

- 情報 I を保持する移動ノードが I を他の移動ノードに転送する条件。
- 情報 I を保持する移動ノードが I を転送する移動ノードを決定する方法。
- 情報 I を保持する移動ノードが I を破棄する条件。

I を保持している移動ノードが $DR(I)$ 外部への移動を行なう以前に I を $DR(I)$ 内部に存在する他の移動ノードへと転送しなければ、 I が $DR(I)$ に含まれない可能性がある。この場合、他の移動ノードが発行した I に対する検索(取得)要求メッセージが $DR(I)$ 内部に存在する移動ノードに配送されても応答を返送することができない。そのため、 I を保持している移動ノードは、自身の位置や速度と $DR(I)$ との関係から、 I を $DR(I)$ 内部のいずれかの隣接移動ノードへ転送するタイミングを決定しなければならない。ただし、転送条件を厳しく設定すると転送対象隣接移動ノードを決定できないまま $DR(I)$ 外部へ移動する可能性が高くなり、一方、必要以上に緩和した転送条件を設定すると I の不要な転送を頻繁に行なうことになり、通信オーバーヘッドを拡大することになる。

I を転送する隣接移動ノードを選択するためには、その移動ノードの位置や速度といった属性情報が必要となる。以下に示すような I の転送先の決定に用いることが可能である属性情報の多くは、各隣接移動ノード自身で取得される。

- 位置(座標)
- 速度(速さと方向)
- 領域内存在時間(位置と速度から予測可能)
- 移動ノード密度(隣接移動ノード数)

これらの移動ノード属性情報を各移動ノードが隣接移動ノードに通知する場合、 I を転送する移動ノードは隣接移動ノードから取得した属性情報に基づいて転送先隣接移動ノードを選択することができる。ただし、属性情報の交換に恒常的な通信オーバーヘッドを要する。一方、これらの移動ノード属性情報を各移動ノードが自身に保持する場合、属性情報の配送を恒常的に行なわない点で通信オーバーヘッドを削減することができるが、隣接移動ノードの属性を手軽に転送先を決定する手法が必要となる。また、隣接移動ノードのどの属性に基づいて I の転送先を決定するかは、 I の保持と転送オーバーヘッドに関する特性に対する優先度に依存すると考えられる。考慮すべき特性には、以下のようなものが考えられる。

- I を $DR(I)$ に保持する確率、もしくは、保持可能な時間

- I の保持実現に要する通信オーバーヘッド
- I の保持実現に要する記憶オーバーヘッド (I の複製数)

$DR(I)$ 外部への移動が見込まれる I を保持する移動ノードが $DR(I)$ 内部に存在する隣接移動ノードへ I を転送したならば、 I を破棄することが可能である。ただし、隣接移動ノードや自身の移動計画の変更等によって再度 I を保持する必要性が生じることを考慮し、一定期間情報を保持し続ける等の工夫によって性能向上が期待できる場合もある。

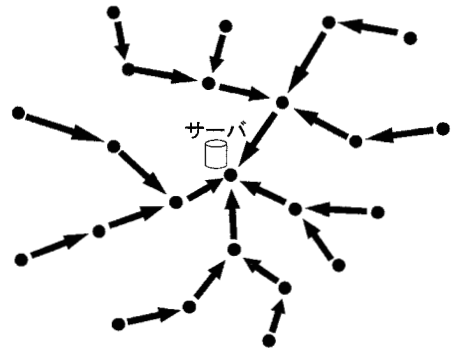


図 2: 集中サーバ保持方式による位置依存情報配送

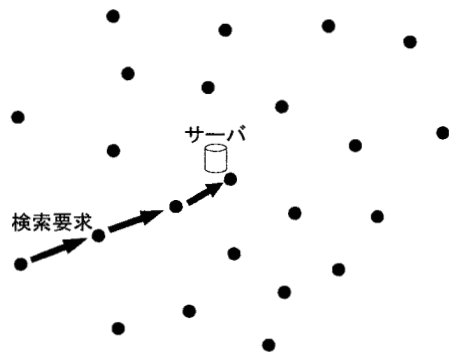


図 3: 集中サーバ保持方式による検索要求

3.2 情報転送プロトコル

3.1 節で述べたように、位置依存情報を保持する移動ノードが隣接移動ノードのいずれかに転送する場合、その転送先決定に用いられる移動ノード属性を隣接移動ノードに定期的に通知するか否かによって、情報転送先決定プロトコルが異なる。取得した自身の移動ノード属性を各移動ノードが隣接移動ノードに定期的にブロードキャスト送信する場合には、情報転送には単一のユニキャストメッセージのみを要する以下のプロトコルを適用することができる。

[情報転送プロトコル (α)]

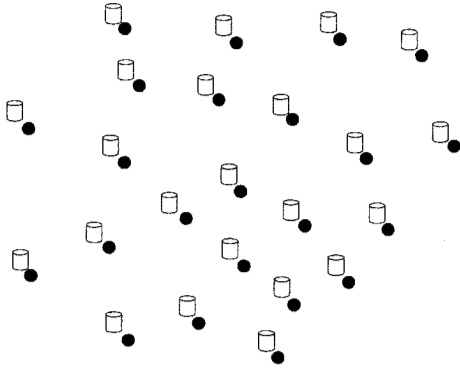


図 4: 生成位置保持方式と位置ベースルーティングによる位置依存情報配送

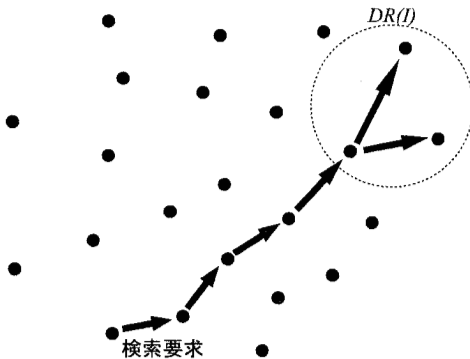


図 5: 生成位置保持方式と位置ベースルーティングによる検索要求

1. 情報 I を保持する移動ノード M が情報の転送条件を充足する。
2. M は、自身の持つ各隣接移動ノードに関する情報に基づいて I の転送先としての各隣接移動ノードの優先度を算出する。
3. M は、優先度の最も高い隣接移動ノード NM に I を転送する。

□

これに対して、移動ノード属性を隣接移動ノードに通知しない手法では、情報を転送する移動ノードが転送先隣接移動ノードを決定するのではなく、論文 [15] [18] で提案されている隣接ノード間の協調によって決定する方法を用いる。ここでは、転送すべき情報はブロードキャストによってすべての隣接移動ノードへと送信され、移動ノード属性で定められる情報転送先の優先度に応じて異なる長さのタイマを各隣接移動ノードが設定する。最初にタイムアウト

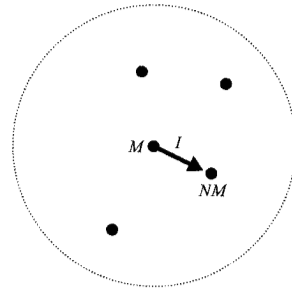


図 6: 情報転送プロトコル (α)

した最高優先度の隣接移動ノードが情報を保持し、他の移動ノードに対して転送完了メッセージをブロードキャストすることによって、分散的に転送先ノードを決定する。

[情報転送プロトコル (β)]

1. 情報 I を保持する移動ノード M が情報の転送条件を充足する。
2. M は、 I をすべての隣接移動ノードにブロードキャスト送信する。
3. I を受信した M の各隣接移動ノード NM_i は、自身に関する情報に基づいて I の転送先としての優先度を算出する。
4. 各隣接移動ノード NM_i は、優先度に基づいたタイマを設定する。
 - 他の隣接移動ノードからの I に関する受理完了メッセージを受信する以前に設定したタイマが時間切れとなった場合には、受理完了メッセージをすべての隣接移動ノードにブロードキャスト送信する。
 - 設定したタイマが時間切れとなる以前に他の隣接移動ノードからの I に関する受理完了メッセージを受信した場合には、タイマをリセットし、 I を破棄する。

□

4 評価実験

提案手法の性能を評価するために、位置依存情報の隣接移動ノードへの転送条件と転送先隣接移動ノードの選択手法として3つの異なる設定について、位置依存情報を情報保持領域に保持し続けることができる時間をシミュレーション実験評価する。シミュレーション条件は以下の通りである。

- シミュレーション領域: 500m × 500m
- 無線信号到達距離: 100m (固定)
- 移動ノード数: 50台~300台 (50台刻み)

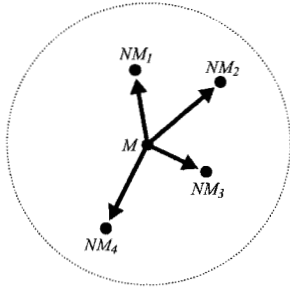


図 7: 情報転送プロトコル (β)(1)

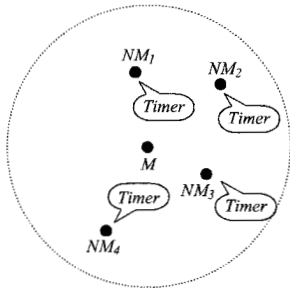


図 8: 情報転送プロトコル (β)(2)

- 移動モデル: ランダムウェイポイント (移動速度 1m/秒までの一様分布)
- 情報保持領域: ランダムに決定した情報生成位置から半径 100m の円の内部

また、以下の 3 つの設定条件による評価実験を行なった。

条件 1 情報を保持する移動ノードは、情報保持領域の境界に達すると情報保持領域と自身の無線信号到達範囲の共通部分に含まれる移動ノードのうち情報保持領域内部に含まれる時間が最長と予測される隣接移動ノードへ情報を転送する。

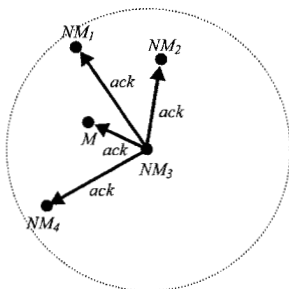


図 9: 情報転送プロトコル (β)(3)

条件 2 情報を保持する移動ノードは、情報保持領域の境界に達すると情報保持領域と自身の無線信号到達範囲の共通部分に含まれる移動ノードのうち情報保持領域の中心に最も近い隣接移動ノードへ情報を転送する。

条件 3 情報を保持する移動ノードは、情報保持領域の中心から 50m の位置に達すると情報保持領域と自身の無線信号到達範囲の共通部分に含まれる移動ノードのうち情報保持領域内部に含まれる時間が最長と予測される隣接移動ノードへ情報を転送する。

実験結果を図 10、図 11、図 12 に示す。ここでは、位置依存情報生成時刻からの経過時間 t に対して、この情報が保持領域に含まれる移動ノードに保持されている確率を測定した結果を示している。いずれの条件設定においても、移動ノード数 (すなわち移動ノード密度) が情報保持時間への大きな影響を与えることが分かる。また、条件 1 と条件 2 の性能はほぼ同等であり、これらよりも条件 3 が情報紛失率が 15% 程度低い結果が得られた。これは、転送先隣接移動ノードの探索開始条件を厳しくすることによって、情報の保持確率を高めることができることを示している。ただし、隣接移動ノードの属性情報収集のためのトラフィックを高めることになることから、通信オーバーヘッドとのトレードオフとなる。転送先隣接移動ノードの探索開始条件と通信オーバーヘッドとの関係評価は今後の課題である。

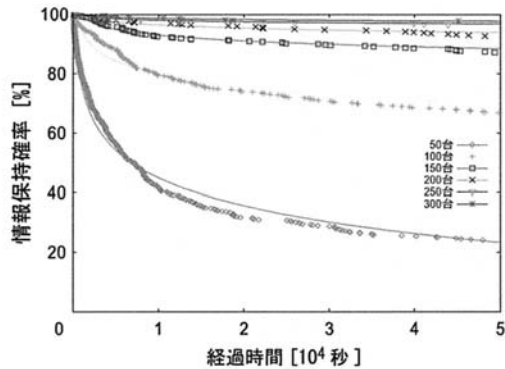


図 10: 情報保持確率 (設定条件 1)

5 まとめと今後の課題

本論文では、位置依存情報を情報生成位置を含む情報保持領域に含まれる移動ノードに格納し、情報検索要求メッセージを位置を送信先に指定するアドホックルーティングプロトコルによって配送するために、ノードの移動にともなって情報を選択した隣接移動ノードのひとつに転送するための基準設定と

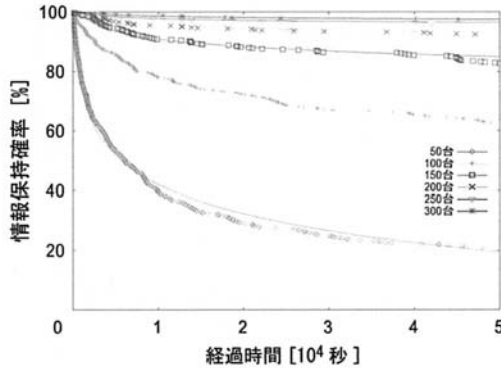


図 11: 情報保持確率 (設定条件 2)

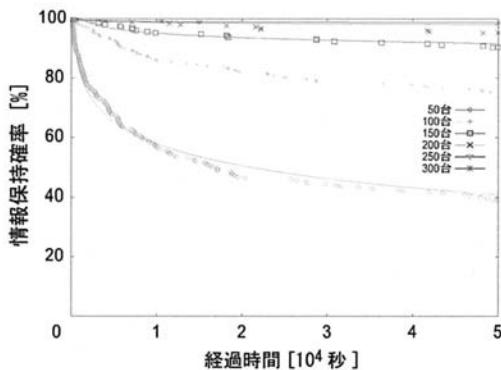


図 12: 情報保持確率 (設定条件 3)

その転送プロトコルについて検討した。また、性能評価実験によって、移動コンピュータ密度による性能変化が大きいことを確認した。今後はより広領域、低密度、高速移動の環境を想定したシミュレーション実験を行ない、情報を単一のサーバノードに保持する方法との比較により、提案手法の有効性を検証する。

参考文献

[1] Basagni, S., Chlamtac, I., Syrotiuk, V.R. and Woodward, B.A., "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility," Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 76-84 (1998).

[2] Bose, P., Morin, P., Stojmenovic, I. and Urrutia, J., "Routing with Guaranteed Delivery in Ad Hoc Wireless Networks," Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp. 48-55 (1999).

[3] Jiang, X. and Camp, T., "A Review of Geocasting Protocols for a Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the Grace Hopper Celebration (2002).

[4] Johnson, D.B., Maltz, D.A., Hu, Y.C. and Jetcheva, J.G., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft (2000).

[5] Karp, B. and Kung, H.T., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 240-250 (2000).

[6] Ko, Y.B. and Vaidya, N.H., "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 66-75 (1998).

[7] Lin, X. and Stojmenovic, I., "Geographic Distance Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Technical Report TR-98-10, SITE, University of Ottawa (1998).

[8] Nakagawa, H., Ohta, T., Ishida, K. and Kakuda, Y., "A Hybrid Routing with Location Information for Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the 8th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, pp. 129-136 (2007).

[9] Perkins, C.E., "Ad Hoc Networking," Addison-Wesley (2000).

[10] Perkins, C.E. and Royer, E.M., "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100 (1999).

[11] Park, V. and Corson, S., "Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification," Internet Draft (2001).

[12] Roie Melamed, I.K. and Barel, Y., "Octopus: A Fault-Tolerant and Efficient Ad-Hoc Routing Protocol," Proceedings of the 24th IEEE International Symposium on Reliable Distributed Systems, pp. 39-49 (2005).

[13] Schiller, J., "Location-Based Services," Morgan-Kaufmann (2004).

[14] Sun, W., Yamaguchi, H., Yukimasa, K. and Kusumoto, S., "GVGrid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks," Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Quality of Service, pp. 130-139 (2006).

[15] Watanabe, M. and Higaki, H., "No-Beacon GEDIR: Location-Based Ad-Hoc Routing with Less Communication Overhead," Proceedings of the 4th International Conference on Information Technologies: New Generations, pp. 48-55 (2007).

[16] 小野, 桧垣, 古田, "長期運用を実現するセンサデータベースのためのセンサネットワーク," 情処研報, vol. 2007, no. 58, pp. 61-66 (2007).

[17] 坂本, 桧垣, "近隣ノードによるバッファリングを用いたセンサデータ配送手法," 情処研報, vol. 2007, no. 91, pp. 67-72 (2007).

[18] 島田, 小野, 桧垣, "高移動頻度環境のための位置ベースアドホックルーティングプロトコル," 情処研報, vol. 2007, no. 98, pp. 113-120 (2007).

[19] 鈴木, 石原, 水野, "アドホックネットワークにおけるトポロジー依存情報の動的再配置," 情報処理学会論文誌, vol. 43, no. 12, pp. 3959-3969 (2002).

[20] 土田, 沖野, 田森, 渡辺, 水野, 石原, "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手法," 電子情報通信学会和文論文誌, vol. J88-B, no. 11, pp. 2214-2227 (2005).