

アドホックネットワークにおける 端末の位置を考慮した複製配布方式の評価

田 森 正 紘[†] 石 原 進^{††} 水 野 忠 則^{††}

近年携帯端末に GPS が搭載されるなど、位置情報の携帯端末での利用が広がりつつある。また IEEE802.11 や Bluetooth などの安価かつ高速な通信が可能となり、携帯端末を用いたアドホックネットワークを構成する環境が整いつつある。無線アドホックネットワークでは移動体の移動に伴うトポロジの変化や、障害物によるトポロジの変化によりネットワークの分断が生じる。本稿ではアドホックネットワーク上での移動体によるデータ収集・交換を行う場合に各収集データへの十分なデータ利用性を得るためのデータ複製配置方法の提案とその評価について述べる。このような状況下では、ある一部の端末がネットワークから離脱した場合、この端末が保持していた情報を他の移動体が参照できなくなる。これを回避するために互いに隣接しない、データの関連する位置同士の複数端末で互いの情報を複製として保持する。この複製を配布する一方式として SC 方式を提案する。これは複製の冗長度を抑えた上でアクセス成功率を高くすることを目的とし、またトラフィックが少ない複製配布を実現する。提案手法についてシミュレーションによる評価を行い、有効性を確認した。

Evaluation of a replica distribution method with consideration of the position of mobile hosts on wireless ad-hoc networks

MASAHIRO TAMORI,[†] SUSUMU ISHIHARA^{††} and TADANORI MIZUNO^{††}

One of the features of wireless ad hoc network technology is that networks can be constructed without any fixed network infrastructure. Communication in a disaster situations is one of useful applications of mobile ad hoc networks. If we collect regional data by mobile hosts consisting ad hoc networks, we can exchange collected data between mobile hosts. However, the connectivity in wireless ad hoc network is not guaranteed because of moving of hosts or obstacles etc. Because of this, it is useful for realizing high accessibility to the data objects to have replicas of data objects at multiple hosts. In this paper, we propose a effective method for distributing replicas of regional data on mobile ad-hoc networks. We assumed that the probability of access to the regional data objects collected by mobile hosts depends on the distance between the requesting host and the place relating the collected data. The proposed method offers high accessibility to the replicas of the data objects with small traffic and small redundancy of replicas. We confirmed that effectiveness of the proposed method by simulations.

1. はじめに

近年 Bluetooth や IEEE802.11 のような近距離無線伝送方式に関する研究が行われ、モバイルアドホックネットワークを構築する環境が整いつつある¹⁾。アドホックネットワークとは既存のインフラがない場合でも、基地局を介さずに移動端末 (MH: Mobile Host) どうして直接または他の MH の中継を通して通信を行うネットワークである。この技術により、既存の通信インフラがない場所でもネットワークを構築できるので、災害時における情報伝達やパーソナルエリアネットワークなどへの活用が期待されている。

MH を用いた災害時などでの情報収集は、アドホックネットワークにおける MH の移動性や通信インフラがなくてもネットワークを構築できる点を生かした有効なアプリケーション

ンといえる。災害時などでは地理的な位置に依存した情報を利用することが多い。特に災害時のように緊急の情報を扱う場合や、人命に関わる情報を扱う場合、収集されたすべての情報をすべての MH が利用できることが望ましい。災害現場で MH を利用し、個々の MH がお互いに収集した情報を利用する研究として FiReCos²⁾ がある。これは消防隊員が実際に使用することを前提とした、PHS を使った防災通信システムで、GPS を使用し消防隊員の位置情報を把握することや位置依存データの入出力が可能である。ただし、データの耐障害性や複製管理については検討されていない。

無線通信が可能な距離は有限なので、アドホックネットワークでは、お互いの通信範囲を越えて各 MH が移動することにより、相互通信を行っていた MH 同士が通信を行えなくなる状況が生じる。よってネットワーク内の MH が相互に情報を交換する状況を想定すると、MH の移動によりネットワークが分断された場合にはそれまで相互に利用可能であった情報が利用できなくなる。

この問題を回避するために、複数の MH で互いの情報の

[†] 静岡大学大学院情報学研究所
Graduate School of Information, Shizuoka University
^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

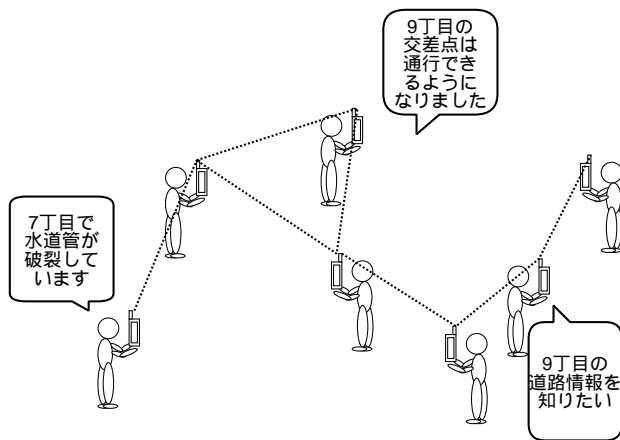


図 1 災害時への応用

複製を保持するという方法がある⁴⁾。各 MH が保持しているデータに対するアクセス成功率を高めるためには、あるデータの複製を他の多くの MH で保持することにより実現できると考えられる。しかしながら携帯端末では固定端末に比べ記憶容量の制限が厳しいので、個々の MH で保持できる複製の数を極端に多くすることは現実的でない。また携帯端末では記憶容量以外にバッテリー容量の制限も厳しい。通信に長距離無線ではなく、近距離無線を用いることによりある程度電力消費を抑えることができるが、バッテリー容量の制限がなくなるわけではない。そのため電力消費を抑えるため、できるだけ通信量を少なくすることが重要である。

そこで本研究では MH の位置を考慮し、MH の記憶容量を節約した上でデータのアクセス可能性を高くすることを目的としたアドホックネットワークにおけるデータ複製配布方式を検討する³⁾。アドホックネットワークにおける複製配置方式として原の方式⁴⁾がある。これは再配置周期とアクセス頻度およびトポロジ情報を用いて低通信量と高いアクセス成功率を目的とした効率的な複製配置を行う方式である。この方式では移動体の位置についての考慮はされていない。またアドホックネットワークで位置情報とトポロジの変化を対象とした研究としてはルーティングプロトコルで位置情報を活用した例がいくつかある^{5),6)}。

2. アドホックネットワークにおける複製配布

2.1 想定環境

アドホックネットワークにおいて各 MH が自由に移動して、位置に依存したデータを収集し、これらの情報を相互に利用する状況を想定する。現実的な例として、災害時に携帯端末を保持した救援者や復旧作業員が復旧作業状況や被害状況を MH に入力し他の救援者がその情報を利用するといった場合が考えられる (図 1)。

また ITS への応用も考えられる。事故の情報をいち早く近隣の車か、これから事故地点に向かう車へ伝送する場合を考える。VICS のように道路沿いに基地局がある場合は、事故情報を既存の固定ネットワーク側で保持管理できる。一方、道路沿いに通信設備がない場合、事故に関する地域的な情報をその地点を通行する車が保持するというモデルが考えられる。このモデルの場合、事故が発生した情報を事故発生地点

付近にいる車が保持していれば、新たにその地域に近づいた車がその情報を利用できる。

以上のような利用例を想定し、本稿では MH によるデータ取得およびデータ参照のためのモデルとして以下のような仮定をする。

- i) 各 MH は自身の位置情報を取得できる。
- ii) MH は移動を行いながら、その位置に関連したデータを取得する。
- iii) MH は自分の周辺の位置に関連するデータを自分自身だけでなく、他の MH にも問い合わせるデータを利用する。
- iv) MH は MH の現在位置の近隣で取得された情報に対して、アクセスする可能性が高い。
- v) MH の記憶容量は有限である。

MH の移動などによりネットワークが分断され、利用可能であったデータを利用できなくなることを防ぐため、各 MH は取得したデータの複製を複数の MH で保持する。またそのためにデータ取得後に複製を他の MH に配布する。目標とするデータ複製配布方式の目的は次の 3 項目である。

- i) ネットワーク全体の複製の数の減少 (冗長度の減少)
- ii) 高いアクセス成功率
- iii) データ要求・応答時のトラフィック減少

2.2 SC 方式

複製配布の一方式として SC(Skip Copy) 方式を提案する。この方式の基本方針は、

- MH は近隣の情報にアクセスする可能性が高いため、ある位置 P に関する情報の複製を、 P 周辺に配置すること
- MH の記憶容量を節約するために、隣接する MH 間ですら同じ複製を保持しないようにすること

である。この方針に従うと、ある位置で取得されたデータの複製は、そのデータの関連する物理的な位置の周辺の MH のいくつかに配布される。

以下に SC 方式の複製配布手順について記述する。MH がある位置 P でデータを取得すると、この MH は取得したデータにその取得位置を付加して自身の記憶領域に保持する。この位置とは、災害時の情報収集の例であれば、被害があった位置や復旧作業が行われている位置であり ITS への応用を考えるならば事故が発生した位置である。

データを取得した MH は、複製を直接通信できる MH にフラッディングする。複製を受け取った MH i は、受け取った複製を次の MH にフラッディングするかどうかを次の条件にしたがって決定する。

$$C_c \bmod s = 0 \quad (1)$$

$$\frac{C_c}{PP_i} < R \quad (2)$$

式 (1) と式 (2) が同時に満たされるとき、MH i は複製を保持する。それ以外は複製通過済みマークをつける。

式 (1) において C_c はホップカウントと呼ばれ、複製に与える付加情報である。情報を取得した MH は C_c の初期値を 0 とし、複製に付加する。複製を受け取った MH は C_c をインクリメントしてから隣接の MH に複製をフラッディングする。 s の値は複製が配置される密度を決定する自然数のパラ

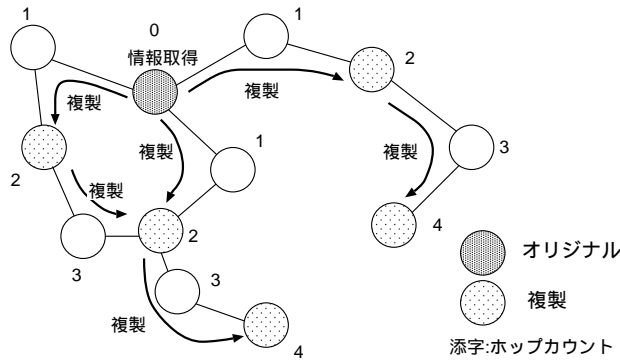


図2 $s=2$ のときの複製配置

メータである。 $s \geq 2$ とすることにより複製配布時から隣接 MH 間での同一複製の重複が起こらないようにすることができ、隣接する MH 間で同じ複製を保持することがなくなる。

P_i は MH i の位置である。 R は複製配布範囲である。複製配布範囲とは複製を配布する範囲をオリジナルデータが取得された位置から距離 R に限定するものである。複製配布範囲を設けることにより無制限に複製が配布されることを抑制する。複製配布範囲の値の設定は、すべての MH で等しく設定する場合と各データに対して設定される場合の 2 通りが考えられる。図 2 に $s=2$ の時の複製配置結果を示す。

前述した通り、MH は複製を 1 度でも受け取った場合、複製自身を保持するか複製通過済みマークを保持する。既に 1 度受け取った複製を再度受信した場合、MH はこれを無視する。

MH の記憶容量には制限がある。この制限を越えて複製を保持しようとした場合は、MH の現在位置から最も遠い位置にあるデータの複製が破棄される。また最も遠い位置にあるデータの複製の距離が等しい複製がある場合は、LRU 法に従い最近最もアクセスされていない複製が破棄される。

2.3 データアクセス

ある MH が他の MH が保持しているデータを参照しようとする場合、アクセス要求送信方法およびその要求に対する応答方法が問題になる。以下、要求方法と応答方法について述べる。

2.3.1 要求方法

データへのアクセス要求は、要求メッセージを位置を利用した制限付きのフラッディングにより行う。要求メッセージには、取得したデータのオリジナルが関連する地域の位置情報、すなわちその地域の中心座標 P_D と半径 r_r 、要求元 MH の現在位置 (P_c) が含まれる。メッセージの中継時にこれを用いることによって、要求元から要求データの位置付近の経路上に存在する複数の MH へのみに要求を送ることができる。

MH が要求メッセージを受け取ると、要求された地域内をオリジナルの位置とするデータのオリジナルデータまたは複製を保持している場合、この時点で応答を行い、フラッディングはそれ以上行われぬ。一方、要求されたデータのオリジナルデータまたは複製を保持していない場合、このメッセージをさらにフラッディングするかを判断する。この判断は要求を受けとった MH i の現在位置 (P_i)、1 ホップ前の MH

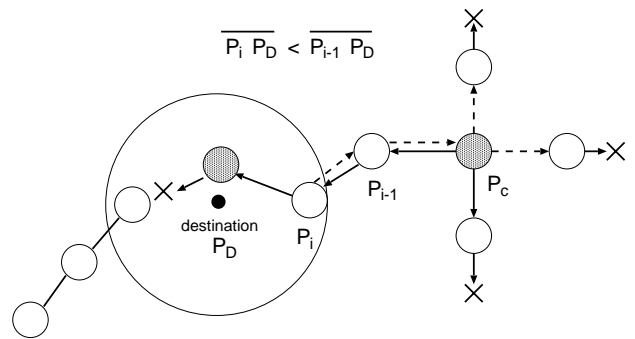


図3 アクセス要求

の位置 (P_{i-1})、アクセス要求の地域の中心位置 (P_D) に基づく。位置 P_a 、 P_b 間の距離を $\overline{P_a P_b}$ と表すとすると、

$$\overline{P_i P_D} \leq \overline{P_{i-1} P_D} \quad (3)$$

$$\overline{P_i P_D} < r_r \quad (4)$$

式 (3) または式 (4) を満たす MH i はフラッディングを行う。要求メッセージの流れを図 3 に示す。

この方法で要求を行うことにより、フラッディングが行われる方向が限定される。これによって余計なトラフィックを抑制することができる。

2.3.2 応答方法

要求を受け取った MH が対象となるデータのオリジナルデータまたは複製を保持していた場合、要求元の MH へこのデータを含むメッセージを送る。要求元への応答メッセージの送信方法には、その中継端末をルーティングプロトコルに任せることもできる。しかしながら、後に述べる複製の動的再配置を考慮すると、アプリケーションレベルで中継経路を選択する方が都合が良い。この場合の応答方法には次の 2 つの方法が考えられる。

方法 1. 目的方向にフラッディング

基本的に要求と同様の方法を用いる。対象となるデータのオリジナルデータまたは複製を保持している MH が応答メッセージをフラッディングする。この応答メッセージを受けた MH は、メッセージをさらにフラッディングするか判断する。この判断は、応答メッセージを受け取った MH の位置 P_i 、応答メッセージを最終的に受け取るべき MH c 、即ち要求メッセージを送信した MH の位置 P_c 、1 ホップ前の応答メッセージ送信元の位置 P_{i-1} に基づく。

$$\overline{P_i P_c} \leq \overline{P_{i-1} P_c} \quad (5)$$

$$\overline{P_i P_c} < r_r \quad (6)$$

式 (5) または式 (6) を満たす MH i はフラッディングを行う。 r_r は P_c における半径で、応答メッセージがどの範囲まで送られるかを表す。中継端末は転送したメッセージの識別子と宛て先を保持し、一度中継したデータをそれ以上転送しない。

方法 2. アクセス要求時の経路を保存

アクセス要求を行うときに中継していく MH の ID を記憶し、要求メッセージに付加する。応答する MH は要求メッセージに付加された経路情報を逆順にたどる。

そして、アクセス要求元の MH まで応答メッセージをユニキャストする。

中継端末では、データを転送したら応答メッセージをすぐに破棄する。

方法 1 では、要求元の位置をキーとするので要求元の MH が大幅に移動しなければ、その他の MH が多少移動しても応答メッセージは要求元まで送信される可能性が高い。一方、必ずしも要求送信元への経路上にはいない MH も応答の経路中継する場合があります、トラフィックが多くなる。方法 2 は方法 1 よりもメッセージ数を少なくすることができるが、保存した経路に沿って応答メッセージが送信されるので、要求元の MH が移動しなくても途中経路の MH が移動すると、応答メッセージが要求元まで送信されない可能性が高くなる。

3. 複製の再配置

3.1 ネットワーク全体の複製数減少

前述の SC 方式において、移動体が MH の記憶容量を越えて複製を保持しようとした場合、MH の現在位置においてもっとも遠い位置で取得され、かつ最もアクセスされていないデータが破棄される。SC 方式ではデータを取得した位置の近隣の MH がそのデータの複製を保持しているが、複製を保持している MH がすべて移動すると、そのデータが取得された近辺に複製を持った MH が存在しなくなる。またその位置に他の MH が移動しても複製が取得されるわけではない。よって他の MH がそのデータを参照しようとした場合に失敗する可能性が高くなる。MH の移動が頻繁な場合、この現象がすべてのデータに対して起こり、ネットワーク全体の複製の数が減少し、データの冗長度が減少する。この結果、システム全体のアクセス成功率が低下することが予想される。この問題を解決するために、複製の再配置を行う。

ここで述べる複製の再配置とは、データ取得時に MH が配布した複製を再び複製配布範囲内に配置することである。基本的な方針はデータへの要求応答を繰り返しているうちに、SC 方式で理想とするように、データのオリジナル位置付近の MH のいくつかが複製を保持するようにすることである。具体的にはデータアクセス時にデータ取得時の複製配布時と同様にホップカウントを用いて、応答を中継する MH が複製を保持するか否かを判定する。

要求メッセージを受け取った MH が対象となるデータ (オリジナル位置 P) を保持していた時、対象となるデータを含む応答メッセージを返信する。このときホップカウント C_a を 0 としてメッセージに付加する。中継する MH は C_a をインクリメントし、以下の条件に従って複製を保持するか判断する。

$$C_a \bmod s = 0 \quad (7)$$

$$\overline{PP_i} < R \quad (8)$$

P_i は応答メッセージを受け取った端末の位置である。 R は複製範囲である。式 (7) かつ式 (8) を満たす MH i は複製を保持する。MH i が複製を保持していても、この条件を満たさない場合、複製を破棄するとともに複製通過済みマークをつける。それ以外の MH i は複製通過済みマークをつける。

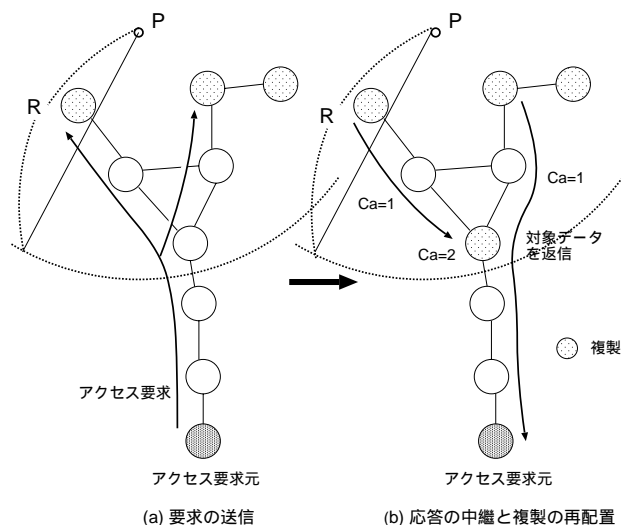


図 4 再配置

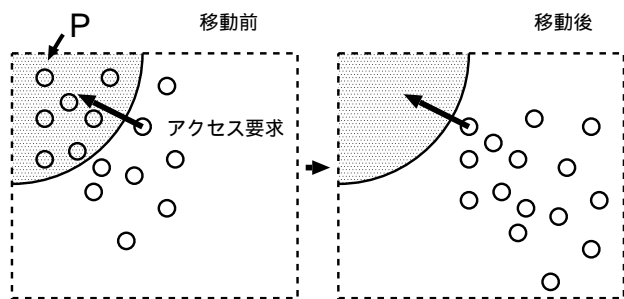


図 5 アクセス失敗の例

再配置の例を図 4 に示す。要求元からの要求メッセージは通常通りに行われる (同図 (a))。応答メッセージが要求元へ中継される結果、複製が図 4(b) のように配置される。図 4(b) では完全に SC 方式の配置になっているわけではない。あるデータにアクセス要求が行われると、そのデータに対する複製の再配置が行われる。再配置はアクセス頻度が高いデータに対してより多く行われることになるので、結果としてアクセス頻度の高いデータがネットワーク上に存在し続ける。

3.2 移動体の移動に関する問題

SC 方式ではそのデータが取得された位置がデータ要求時のキーとなる。ここでは、どの MH も以前情報が取得された位置 P の近辺から移動した場合を考える。このとき位置 P で取得されたデータの複製を、現在その位置の近辺にいない MH が保持していたとしても、アクセス要求メッセージは P の方向に向かって送られるので、アクセス要求は成功しなくなる。(図 5)

また図 6 のように、障害物が存在し送信元と目的位置への経路が直線上になく、障害物を迂回する経路しかない場合がある。図 6 において SC 方式では送信元 s が目的位置 P_D 方向にアクセス要求を行おうとする。まず送信元 s から要求メッセージがフラッディングされる。MH a, b はともにメッセージを受け取る。 $\overline{P_a P_a} < \overline{P_d P_s} < \overline{P_d P_b}$ の位置関係から MH a はさらにメッセージのフラッディングを行おうとするが、MH b

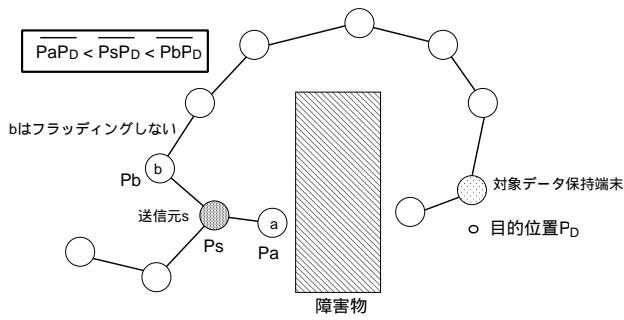


図 6 障害物

はフラッディングを行わない。このとき位置を用いたアクセス要求は失敗する。

MH の移動や障害物などによる特殊なトポロジが形成された場合などでは、位置を用いたアクセス要求のみでは失敗する可能性があるといえる。そこで、次のように 2 段階でアクセス要求を行うこととする。

1. 方向を限定したフラッディング
2. 無制限にフラッディング

アクセス要求の 1 回目は方向を限定したフラッディングにより行う。これは 2.3.1 に述べた通りの方法である。1 回目のアクセス要求が失敗した場合は、2 回目のアクセス要求を行う。この時は要求を無制限にフラッディングする。アクセス要求を送信する MH はアクセス要求メッセージを相互通信できる MH にフラッディングする。この要求メッセージを受け取った MH は、対象となるデータを保持していない場合はさらにアクセス要求メッセージを相互通信できる MH にフラッディングする。

このような 2 段階アクセス要求方式では 1 回目にアクセス要求が成功する場合においては、トラフィックを減少させることができ、2 回目を行った場合、トラフィックは増加するもののアクセス成功率は向上すると考えられる。

4. 評価

シミュレーションにより提案方式の評価を行った。

4.1 シミュレーションモデル

50m×50m の 2 次元平面上に 625 個のオリジナルデータが等間隔に存在しているものとする。MH の総数は 25 で、各 MH の通信範囲は 8m である。距離 8m 以内の MH は相互通信可能とする。各移動体はオリジナルデータは無限に保存できるが、複製データは MH に定められた個数しか保持できない。また複製配布範囲 R は 16m とする。またアクセス要求応答の範囲である r_r は R に等しいものとした。初期状態ではすべての MH はオリジナルデータ及び複製データを保持していない。複製配布時のパラメータは $s = 2$ とする。またデータの更新は発生しない。MH は次の移動モデルとデータ取得・アクセスモデルに従って行動する。

4.1.1 移動モデル

各 MH の初期値はランダムに決定され、単位時間ごとに 2 次元ランダムウォークモデルに従い移動する。0 ~ 2π の範囲でランダムに与えられた θ と 0 ~ $v (= 2)$ の範囲でランダム

に与えられた速度 v で移動する。MH が 50m×50m の 2 次元平面上を越えようとした場合、設定された平面の枠において反射する。

4.1.2 データ取得・データアクセスモデル

MH が移動し、オリジナルデータの半径 0.5m 以内に停止するとそのオリジナルデータを取得するものとする。データを取得した時点で複製を開始する。複製は単位時間内で終了するものとし複製中の MH の移動は考えない。

各 MH ごとに単位時間ごとに 1/2 の割合でデータアクセスが発生する。また MH の現在位置に近いデータに対してアクセスが行われる確率を高くする。具体的には各 MH は単位時間ごとに 1/2 の確率でデータへのアクセスを行う。データアクセスを行う場合、以下のルールでアクセス先のデータを選択する。

MH m_j の現在位置 P_{m_j} とデータ d_i のオリジナル位置 P_{d_i} との間の距離を $\overline{P_{m_j}P_{d_i}}$ とする。また $\overline{P_{m_j}P_{d_i}} < 0.1m$ なら $\overline{P_{m_j}P_{d_i}} = 0.1m$ とする。すでに n 個のデータが取得されていれば、データ $d_i (i = 1, 2, \dots, n)$ は確率 $(1/\overline{P_{m_j}P_{d_i}}) / \sum_{i=1}^n (1/\overline{P_{m_j}P_{d_i}})$ で選択される。

4.1.3 要求・応答モデル

データアクセスに関するメッセージ送信方法に関しては 2.3 および 3.2 で述べたモデルを用いる。以降の説明ではアルファベット 2 文字の略称を用いる。

- 要求方法
 - 位置を利用した制限つきフラッディング:LB (Location Base)
 - 無制限にフラッディング:FL(Flooding)
 - 2 段階アクセス:2L(2 Level access)
- 応答方法
 - 位置を利用した制限つきフラッディング:LB (Location Base)
 - 保存した経路を逆順にたどる:RR(Reverse Route)

4.2 評価指標

提案方式の性能評価指標を次に定義する。

- アクセス成功率 A_S (Access Success ratio)

$$A_S = \frac{A_T}{R_T} \quad (9)$$

A_T (Answer success Time) はアクセス要求元が対象となるデータの応答メッセージを受け取った回数の総和であり、 R_T (Request success Time) は各 MH がアクセス要求メッセージを送った回数の総和である。 A_S の算出はシミュレーション時間全体での A_T 、 R_T を利用した。 A_T 、 R_T はシミュレーション上の各ステップで計算し、全ステップの平均を算出した。

- 冗長度 R_e (Redundancy)

$$R_e = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (10)$$

n は取得されたデータの総数であり、 D_i はデータ i の複製の数である。

- トラフィック

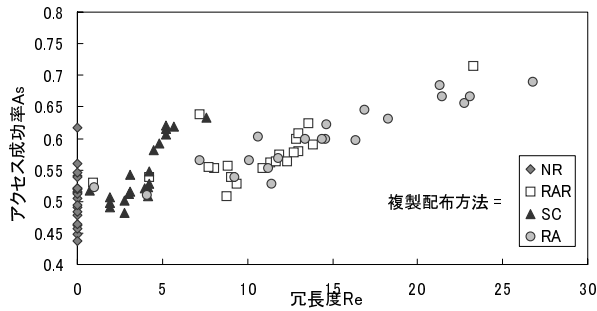


図7 冗長度とアクセス成功率の相関図 (要求方法 =LB, 応答方法 =LB)

- 要求時のトラフィック
- 応答時のトラフィック

ここでトラフィックとは、メッセージ中継に要する MH 間のホップ数として算出した。

このような指標に関し、以下に示す 5 つの複製配布方法の比較を行った。

- 複製を全く行わない場合:NR(No Replica)
 $R = 0$ とした SC 方式
- 通信できる端末すべてに複製:RAR(Replica ALL in R)
 $R = \infty$ とした SC 方式
- 複製配布範囲内の端末すべてに複製:RA(Replica ALL)
 $s = 1$ とした SC 方式
- SC 方式:SC(Skip Copy)、 $s = 2$
- 再配置を考慮した SC 方式:RSC(Relocation SC)
 $s = 2$

の 5 つである。

4.3 評価結果

単位時間を 0.5 秒とし、100 秒間のシミュレーションを MH の記憶容量をデータ 1 個からデータ 100 個まで変化させ、10 試行し各性能指標について平均を求めた。

4.3.1 SC 方式の有効性検証

図 7 は要求時に位置 (要求方法 =LB) を用いて、応答時にも位置 (応答方法 =LB) を用いたモデルにおける冗長度 R_e とアクセス成功率 A_s との相関図である。図 7 の結果から、通信できる MH すべてに複製を配布する方式は特に、冗長度 R_e が高いほどアクセス成功率 A_s が大きくなることを示している。 R_e が高ければ高いほど、ネットワーク上の複製が数多く存在することを表すので、このことは当然である。複製を全く行わない場合では、複製を保持しないので R_e は 0 となる。ここで SC 方式では、複製配布範囲内すべてに複製を配布する場合 (RA) と、ほぼ同様の A_s でありながら、 R_e を半減させることができた。この点で SC 方式は冗長度を抑えた状態でアクセス成功率をあげることができると言える。

図 8 は図 7 と同様のモデル (要求方法 =LB, 応答方法 =LB) で、要求時に要するトラフィックと応答時に要するトラフィックの和と A_s の相関図である。複製をまったく行わない場合はトラフィックが大きく、 A_s が低くなっている。これは、複製がないので、アクセス要求メッセージが近隣のノードにおいて応答されずにそのオリジナルデータを保持しているノ

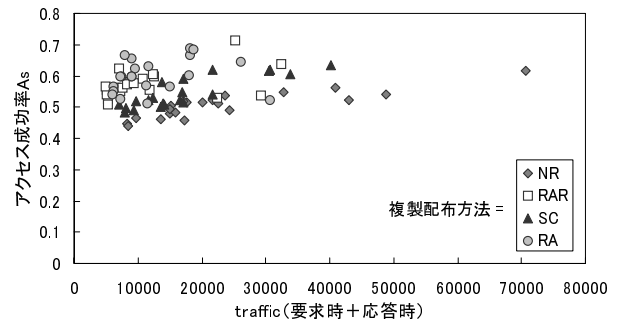


図8 トラフィックとアクセス成功率の相関図 (要求方法 =LB, 応答方法 =LB)

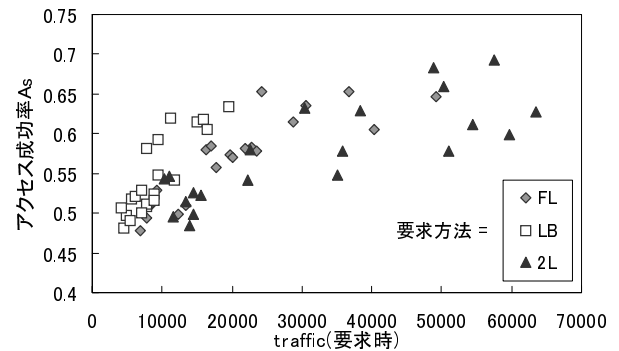


図9 トラフィックとアクセス成功率の相関 (複製配布方法 =SC)

ドまで要求メッセージが送られるからだと考えられる。すべて複製する場合や、複製配布範囲内にすべて複製する場合はトラフィックが少なく済んでいる。これは複製が多く存在しているので近隣のノードで対象となるデータを保持していることが多いからである。一方 SC 方式では若干トラフィックが増加している。これは複製が複製配布範囲内にまばらに複製されるため、データを最終的に取得できるが、取得するまでにいくつかのノードを経由する場合があることが原因だと考えられる。

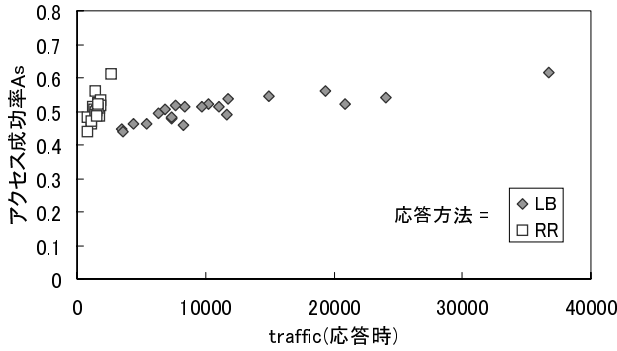
4.3.2 要求方法の検証

図 9 は SC 方式におけるアクセス成功率 A_s に対するトラフィックの増加を表している。ここでのトラフィックは要求時にかかるトラフィックのみである。

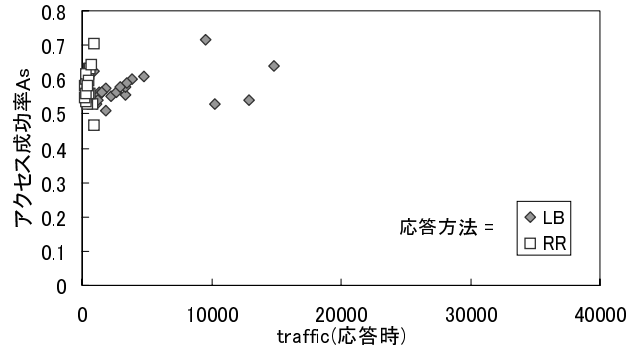
図 9 よりフラッディングする場合 (要求方法 =FL) と位置を利用する場合 (要求方法 =LB) では A_s は若干フラッディングする場合の方が高い程度で大差はない。しかし、トラフィックは LB よりも FL の方が増加している。2 段階でアクセスする場合 2L は、LB よりも若干 A_s が増加しているが、トラフィックも増加している。これは 2 回目のアクセス要求を行い無制限にフラッディングすることが発生したことに起因する。今回は位置を用いたフラッディング LB が最もトラフィックを抑えることができ、ある程度大きな A_s を得た。しかし、障害物がある場合や、各 MH が集団で移動するような特殊な移動モデルを用いた場合では、位置のみを利用する場合が良いとは限らない。よって要求方法の検証には今回シミュレーションで行ったモデル以外のモデルも用いる必要がある。

4.3.3 応答方法の検証

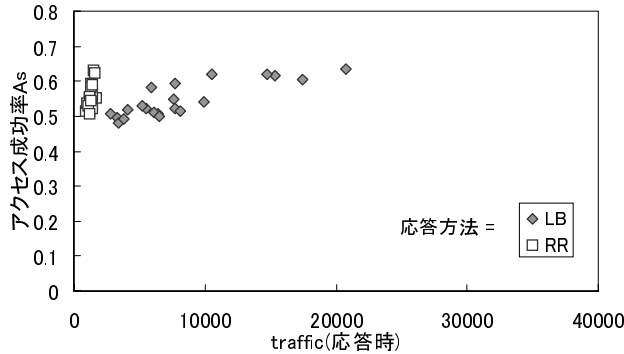
図 10 は要求方法 =LB における、応答時のトラフィックと



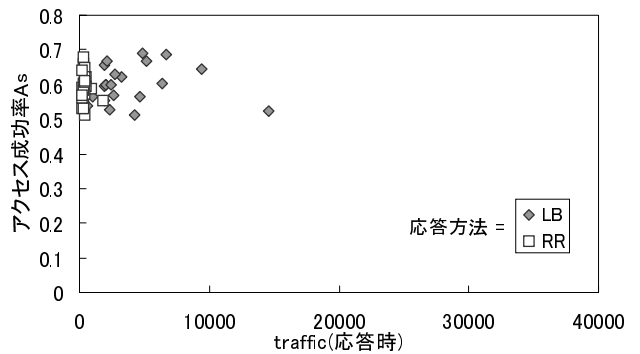
(a) 複製配布方法 = NR



(b) 複製配布方法 = RAR



(c) 複製配布方法 = RA



(d) 複製配布方法 = SC

図 10 応答時トラフィックとアクセス成功率

アクセス成功率 A_S の相関図である。(a) は複製を全く行わない場合 (NA)、(b) は複製配布範囲内にすべて複製する場合 (RAR)、(c) は SC 方式の場合 (SC)、(d) は通信できるものすべてに複製する場合 (RA) である。

図 10 より応答方法 = LB と応答方法 = RR では、 A_S 変わらないが、応答方法 = LB の時よりも応答方法 = RR の方がトラフィックの減少がみられる。図 10(a) では最もトラフィックが多い。この理由は、複製を全く配布しない場合において、近隣の MH が対象となるデータを保持しているとは限らないことが原因である。この場合データを取得するために、他の方式よりもさらにホップ数がかかる MH にまで要求メッセージを送信するので、要求時のトラフィックが増加する。応答時のトラフィックは要求時のトラフィック以上になるので、要求時のトラフィックが増加すると応答時のトラフィックも増加する。また応答方法 = LB では、応答メッセージがたどる経路は一本ではないことがある。そのため、図 10(a) の複製を全く行わない場合のようにアクセス要求時において他の方式よりもホップ数が多いと、応答メッセージが要求元に返信されるまでのトラフィックが増加する。

4.3.4 再配置方式の有効性検証

図 11 は要求方法 = LB で、複製配布方法 = SC、応答方法 = LB と複製配布方法 = RSC、応答方法 = LB における R_e と A_S の相関図である。図 12 は要求方法 = LB で、SC 方式 (複製配布方法 = SC、応答方法 = RR) と再配置を考慮した SC 方式 (複製配布方法 = RSC、応答方法 = RR) における R_e と A_S の相関図である。図 11 と図 12 より、再配置を行った場合に

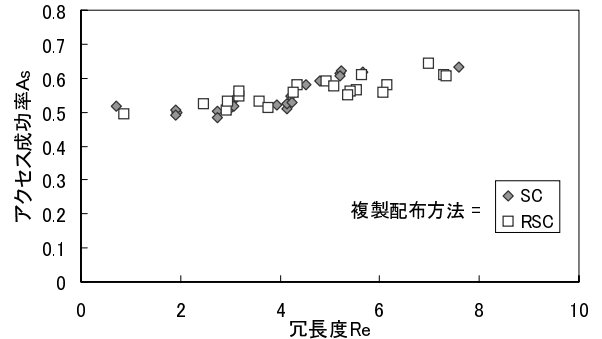


図 11 SC 方式と再配置 SC 方式 (要求方法 = LB, 応答方法 = LB)

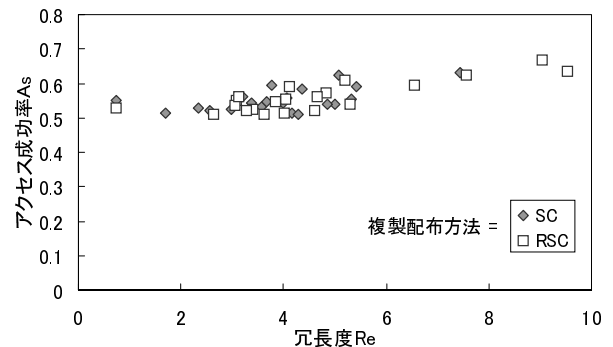


図 12 SC 方式と再配置 SC 方式 (要求方法 = LB, 応答方法 = RR)

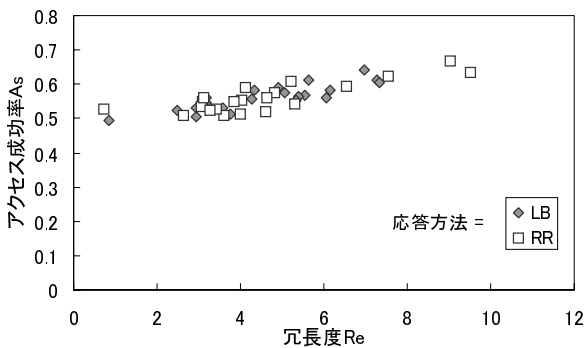


図 13 冗長度とアクセス成功率 (複製配布方法 =RSC)

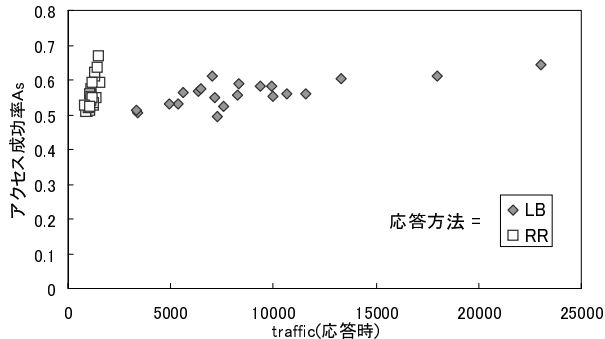


図 14 トラフィックとアクセス成功率 (複製配布方法 =RSC)

は R_e が増加し、若干 A_s が増加している。 R_e の増加すなわち複製の数が増えたことによりわずかだが A_s が増加した。 A_s の増加がわずかに留まったのはシミュレーション時間が短かったため、複製がそれほど破棄されず、再配置を行う必要がなかったといえる。そのため、シミュレーション時間を十分長くとした場合の評価が必要になる。

図 13 は複製配布方法 =RSC における冗長度 R_e とアクセス成功率 A_s の相関図である。図 14 は複製配布方法 =RSC における応答時のトラフィックと A_s である。図 13 から、複製配布方法 =RSC, 応答方法 =LB と複製配布方法 =RS, 応答方法 =RR で R_e に関しては違いがないという結果になった。図 14 から図 10 と同様に位置を利用した方がトラフィックが大きくなっている。この理由は図 10 の考察と同様で、複製配布方法 =RSC, 応答方法 =LB の場合応答時の経路が複数存在するからである。

5. おわりに

アドホックネットワークにおける位置依存情報の複製配布の方式として SC 方式を提案した。この方式は複製配布時に位置を用いて複製を配布する範囲を限定し、複製をオリジナルデータを取得した MH から数ホップおきの MH に配布する方式である。これによって MH の制限された記憶領域でもアクセス成功率を高めることを目標としている。また、SC 方式では MH の移動によって複製の適切な配置がくずれてしまう。その解決策として、複製の再配置や 2 段階アクセスについて検討した。また提案手法を評価するために、シミュレーションによる評価を行った。

シミュレーションによる評価の結果、SC 方式は記憶容量が制限されている状況においても、複製配布範囲内にすべて

複製する場合と同等のアクセス成功率で複製の冗長度を少なくすることができた。また、アクセス要求メッセージの送信方法に、位置を用いて制限付きフラッディングする方法を用いた場合、要求時にかかるトラフィックを減少した上で無制限に要求をフラッディングする場合と同様のアクセス成功率を確認できた。

しかしながら、今回のシミュレーションでは 3.2 で指摘したような障害物により、通信が困難になった場合や移動体が集団で大幅に移動する場合に同様の評価結果を得られるかは検証できなかった。また総シミュレーション時間が短かったため、再配置を行った場合による効果は得ることができなかった。今後は、シミュレーションモデルに検討を加え、より現実のモデルに近い場合についての詳細評価を行う必要がある。

また現在の SC 方式では複製配布時において、複製を保持する MH の決定方法に位置を用いずホップ数のみを用い、MH 間の位置関係を用いていない。今後は複製配布時にも位置を用いる方式を検討するとともにネットワークの密度の変化による考察を行う予定である。

参考文献

- 1) <http://www.bluetooth.com/developer/specification/specification.asp>
- 2) 田村裕之, 松原美之, 細川直史, 高梨健一, 志賀崇, 白井達郎, 吉澤信一, 消防庁消防研究所, 日本ビクター株式会社, 統合化した消防防災通信システム (FiReCos) の開発, 消防研究所報告第 89 号, pp. 11-25, 2000
- 3) 田森正紘, 石原進, 水野忠則, 静岡大学大学院情報学研究所, 静岡大学情報学部, 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, DICOMO 2001, pp. 31-36, 2001
- 4) 原隆浩, 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻, 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 nnnnnn 情報通信学会論文誌, pp. 632-642, 2001
- 5) Rahul Jain, Anuj Puri, and Raja Sengupta, University of California, Berkeley, Geographical Routing Using Partial Information for Wireless Ad Hoc Networks, IEEE Personal Communications, vol.8 No.1, February 2001, pp. 48-57
- 6) 橋本英卓, 中西恒夫, 福田晃, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, 九州大学大学院システム情報科学研究科, セル位置情報に基づくアドホックネットワークルーティング, DICOMO 2001, pp. 127-132 2001