

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

田森正紘[†] 石原進[‡] 水野忠則[‡]

[†] 静岡大学大学院情報学研究科 [‡] 静岡大学情報学部

アドホックネットワーク上で、記憶容量が制限された移動体間での効率的なデータ複製配置方法を提案する。近年、GPSなどの位置情報サービスがカーナビゲーション等で一般的に利用され、携帯端末に搭載されているものもある。また Bluetooth 等の近距離無線伝送方式に関する研究が行われ、携帯端末間で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、相互に通信できていた端末同士が移動などにより通信できなくなったり新しい端末と通信可能になるなどの状況が発生する。このため、ある一部の端末がネットワークから離脱しただけで、その端末が保持していた情報がネットワーク内の他の端末からアクセス不能となる場合がある。このような場合複数の端末で複製を保持することにより各端末からアクセス可能なデータ量に与える影響を少なくすることが可能になる。本研究では、端末の位置を考慮して複製の配置を決定する方式を提案し、シミュレーションにより評価する。

A replica distribution method with consideration of the position of terminals in ad-hoc networks

Masahiro Tamori[†] Susumu Ishihara[‡] Tadanori Mizuno[‡]

[†]Graduate School of Information, [‡]Faculty of Information,
Shizuoka University

An efficient data replica arrangement method between terminals with the restricted storage on ad-hoc networks is proposed. In recent years, position information services like GPS are widely used. Moreover, ad-hoc networks are becoming realistic by research of short-distance radio transmission system. In radio ad-hoc networks, the terminals which are able to communicate mutually become unable to communicate by the movement. For this reason, they may become impossible to access the data held by other terminals in the network, when a terminal of a certain part leaves from the network. It can be made not to affect the data accessibility by holding the replica of the data at two or more terminals in the network. In this paper we propose a method to determine the arrangement of replicas in the consideration of the position of terminals.

1 はじめに

近年携帯端末が普及している。無線 LAN、Bluetooth [1]、HomeRF [2] のような近距離無線ネットワークの開発が進み、無線アドホックネットワーク環境が整いつつある。また、GPS 等の位置情報サービスがカーナビゲーションなどで一般的に利用されるようになってきている。無線アドホックネットワークとは、複数の端末が基地局を介さずに端末同士で直接または他の端末の中継により通信を行うネットワークである。無線アドホックネットワークでは、特定の基地局を介さずに通信を行えるので、ネットワークが構成されていない場合でも一時的にネットワークを構成することがで

きる。

しかしながら無線アドホックネットワークでは、無線によって相互に通信できていた端末同士が移動などにより通信できなくなったり新しい端末と通信可能になるなどの状況が発生する。ネットワークのトポロジによっては一部の端末がネットワークから離脱しただけで、その端末が保持していた情報がネットワーク内の他の端末からアクセス不能となる場合がある。

このような事態の対策として複数の端末で情報の複製を保持する方法がある。データへのアクセス成功率を高めるにはデータの複製を複数端末で保持すればよい。しかしながら、データの欠落が完全にならないように

するには全ての端末に複製を保持させる必要があるが、携帯端末では記憶容量の制限があるのでこの方法は実用的でない。さらに携帯端末では記憶容量の制限以外にバッテリーの制限がある。近距離無線を用いることによりある程度の電力消費を抑えることができるが、携帯端末のバッテリーの制限がなくなることはない。そのため電力消費等を考慮する必要がある。また特定の地域に関わる情報は近隣の端末によってアクセスされる可能性が高い場合では、位置が重要になる。

アドホックネットワークにおける複製配置方式の研究として [3] がある。これは、再配置周期とアクセス頻度を用いて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、消防隊員が実際に使用することを前提とした研究として FiReCos[4] がある。これは 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、データの耐障害性については検討されていない。

本研究では携帯端末の容量および位置情報を考慮し、利用可能性が未知なものを含むすべての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複製配布方式を検討する。つまり、記憶容量が少ない場合においてもアクセス可能性が十分で、また、複製を配置するときのメッセージが少ない複製配布方式を目指す。

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移動体が自由に移動する状況で、移動体が自分自身および他の移動体を持つデータに対してアクセス要求を行いそのデータを取得する環境を想定する。現実的な利用例として、災害時に携帯端末を保持した救援者が復旧作業状況や被害状況を端末に入力し、他の救援者がその情報を参照するといった場合が考えられる。(図1)このような利用例を想定し、情報が取得された位置の近くにいる移動体はその情報にアクセスする可能性が高いことを前提とする。

各移動体は自身の位置情報を取得できるものとし、複製の配布方法やデータアクセス時のキーとして、移動体自身および目的とするデータの発生した位置を用いるとする。また各移動体は記憶容量が制限されてい

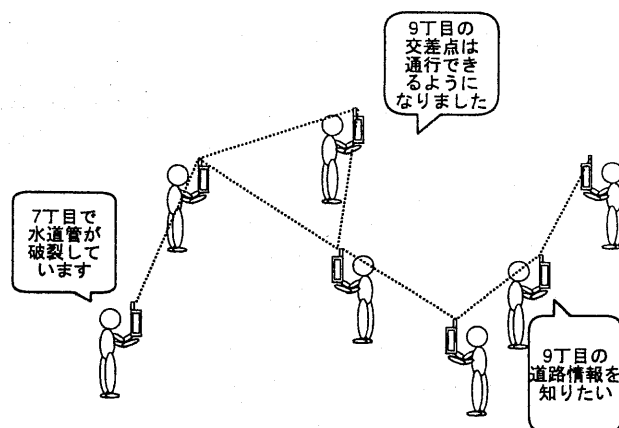


図1 災害時への応用

るものとし、オリジナルデータ以外に一定個数の複製を保持できる。また各データのサイズは一定とする。

2.2 関連研究

アドホックネットワークにおける複製配置に関する研究が行われている。ここでは参考として簡単に触れる。[3] では SAF(Static Access Frequency) 方式、DAFN(Dynamic Access Frequency and Neighborhood) 方式、DCG(Dynamic Connectivity based Grouping) 方式を提案している。SAF 方式は移動体の物理領域が許す限り複製を保持する方式である。DAFN 方式は SAF 方式を拡張し隣接する移動体間で複製の重複を解消していく方式である。DCG 方式では複製再配置時のネットワークトポロジにおいて 2 連結成分をグループとして複製の共有を行う方式である。

DAFN 方式を行った結果は後に提案する SC 方式と類似しているので DAFN 方式について詳しく述べる。DAFN 方式はまず SAF 方式に基づいて配置する複製を暫定的に配置する。その後隣接移動体間で複製の重複がある場合にそのデータに対するアクセス頻度が低い方の移動体において、配置する複製を変更する。これを再配置周期毎に行う。

2.3 SC 方式

複製配布の一方式として SC(Stepped Copy) 方式を提案する。SC 方式における複製の方針は、

- ある位置に関する情報の複製をその位置の周辺に配置すること
- 移動体のもつ記憶領域を節約するため隣接する移

動体できるだけ複製を保持しないようにすることである。具体的には複製が数ホップおきに配置されるようにする。

以下 SC 方式におけるデータ複製配置手順について説明する。移動体がある位置でデータを取得すると複製を開始する。複製のフラッディングはブロードキャストにより行う。このとき複製するデータにはデータが発生した位置情報が付加される。

複製を受け取った移動体は複製に付加された位置情報をもとに、複製を保持するべきか決定する。この判定は最終的にデータ発生位置から複製配布範囲 (r) 内に数ホップおきの移動体が複製を保持するようにする。複製配布範囲はオリジナルデータを取得した位置からの距離として定められる。オリジナルデータを取得した位置とは、例えば災害時であれば災害により被害が起こった地点で事故であれば事故が起こった地点である。複製配布範囲 r は移動体すべてに等しい場合とデータ毎設定される場合がある。

フラッディングによる複製配布時に、既に同じデータを受け取ったことがある移動体は新しい複製をコピーしない。また、記憶容量を越えて複製を保持しようとした場合は、移動体の現在位置から取得されたデータの位置がもっとも遠く、複製を保持している移動体が最近最もアクセスしていないデータを破棄する。

具体的な処理の流れは次のようなる。複製の付加情報として Cc (ホップカウント) を与える。初期値は 0 である。複製が他の端末に渡されるたびに Cc はインクリメントされる。

```

if ( Cc mod s == 0 && d < r )
  { 複製を保持 }
else
  { 複製通過済みマークをつける }

```

d は複製を受け取った移動体とオリジナルデータの位置間の距離である。 s は何ホップおきに複製を配置するか決定するパラメータである。 s の値は複製配布範囲内の複製の数の決定に影響を与える。図 2 に $s = 2$ の時の複製配置例を示す。

DAFN 方式と異なるのは、DAFN 方式では暫定的に複製を配置してから隣接移動体間で重複をなくすのに対して、SC 方式では複製配布時から隣接移動体間での重複が起こらないようにするという点である。

2.3.1 データアクセスの手順

移動体は自分自身の位置と目的のデータの位置をキーとしてアクセス要求を行うものとする。ある移動体が

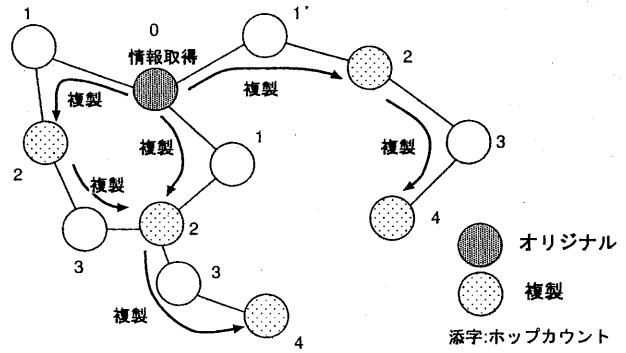


図 2 $s=2$ のときの複製配置

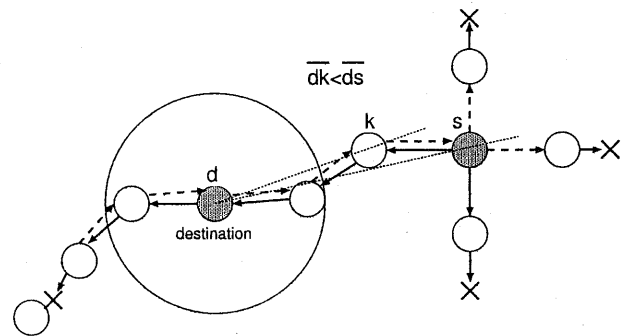


図 3 アクセス要求

ある位置のデータを取得しようとした場合はアクセス要求をフラッディングする。アクセス要求のフラッディングは目的データ方向に行われる。すなわちアクセス要求元から目的データの位置の反対方向にはフラッディングされない。フラッディングはアクセス対象の位置における半径 (複製配布範囲) r を越えるまで続けられる。データが存在した場合にはその時点でフラッディングは停止する。これによって、アクセス要求を無制限にフラッディングし続ける場合よりもホップ数を減少できると考えられる。

なお以下の説明ではデータの更新はないものと仮定する。

アクセス要求送信 アクセス要求を行う移動体は相互通信可能な移動体にアクセス要求メッセージをブロードキャストする。アクセス要求メッセージを受け取った移動体は自分が要求されたデータの複製を持たない場合、自分の位置情報、直前の送信元位置情報、アクセス先位置情報をもとに、アクセス要求を次の移動体へブロードキャストするか決定する。すなわちアクセス要求を受け取った移動体は、自分の位置が直前のノードの位置よりもアクセス対象の位置との距離が近けれ

ばブロードキャストする。

応答データ返信 アクセス要求があったデータのある移動体が保持していた場合は応答データを返信する。返信する方法は次の2つの方法が考えられる。

1. 目的方向に直進する方法

基本的にアクセス要求送信と同様の方法を用いる。アクセス要求を受け取った移動体が対象データを保持していたとき、そのデータをブロードキャストする。これを受けとった移動体は自分の位置がよりアクセス要求元に近ければブロードキャストする。これを繰り返すことにより、アクセス要求元にデータが返信される。ただし、中継端末は転送したデータのIDを保持して一度中継したデータをそれ以上転送しない。

2. アクセス要求と逆の経路をユニキャストする方法
アクセス要求を行う場合に中継していく端末のIDを記憶しておく。結果を返す端末は中継端末IDをもとにユニキャストして元の端末までデータを返送する。

中継ホストでは、データを転送したら応答データはすぐに破棄する。

1は単にフラッディングする場合よりもメッセージを少なくすることができ、アクセス要求元の位置をキーとするので移動体が大幅に移動しなければ応答データはアクセス要求元まで返信される可能性が高い。2は1よりもメッセージ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データが返信されるので、アクセス要求元の移動体が移動しなくても途中経路の移動体が移動すると、応答データはアクセス要求元まで返信されない可能性が高くなる。

アクセス要求がアクセス先において半径 r を越えた場合、アクセス要求を受け取った移動体は何もしない。

2.3.2 データ構造

SC方式で具体的にどのような情報を用いるか述べる。位置情報取得にGPSを使用するならば、時刻を取得できる。このため移動体間の時刻の同期については考えないことにする。

• データオブジェクト

移動体間に渡されるデータオブジェクトには次のような付加情報が与えられる。

複製に関する情報	ID、移動体の 現在位置	データ
----------	-----------------	-----

複製に関する情報とは複製時のホップカウント、アクセス時のホップカウント、時刻、データが取得された位置である。IDとは情報を取得した移動体固有のアドレス、時刻、データ種別である。

• 複製履歴

複製時には移動体に探索済みマークを履歴として保持させる。探索済みマークとはデータオブジェクトの情報のうちのデータ以外の情報である。

複製に関する情報	ID、移動体の位置
----------	-----------

• アクセス要求メッセージ

目的の位置	データ種別	要求者の情報
-------	-------	--------

要求者の情報とはID、要求者の現在位置である。

• アクセス返信メッセージ

返信先の位置	オブジェクト
--------	--------

3 SC方式の評価

3.1 シミュレーションモデル

シミュレーションにより提案方式の評価を行った。ただしシミュレーションではデータアクセス時にはノードの位置に基づくアクセス要求やフラッディングの制限を行わないで単純にフラッディングするものとした。

シミュレーションモデルは次のとおりである。格子点間隔が1である 50×50 の2次元平面上に25個の移動体が存在する。各移動体の通信可能距離は市街地距離で8であり、1単位時間内に確率1/2で格子点数5つ分ランダムな4方向に移動する。移動体が2次元平面の端にいる場合は移動可能な方向に進むまで待機する。各移動体間が通信できる場合は両方向通信となるものとする。

初期状態ではすべての移動体はデータオブジェクトおよび複製を保持していない。1単位時間ごとにランダムに選ばれた移動体の1つがオリジナルデータを取得する。オリジナルデータの総数は625個とする。複製が行われたあとにアクセスが行われる。単位時間内にすべての移動体が存在するすべてのデータに対してアクセスを試みるものとする。

3.2 評価指標

提案方式の性能指標評価としてアクセス成功率と冗長性の2つを定義する。

- アクセス成功率 AS (Access Success Ratio)

$$AS = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} \cdot S_{ij}}{n \cdot m} \quad (1)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{1 + d_{ij}} \quad (2)$$

- 冗長度 Re (Redundancy)

$$Re = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (3)$$

(m : 移動体数, n : データ数, D : 複製の数)

S_{ij} は移動体 i からのデータ j へのアクセスが成功か失敗かを表すバイナリ値であり、成功なら 1、失敗なら 0 である。 d_{ij} は移動体 i とデータ j のオリジナル位置との間の距離である。 W はアクセス要求をした移動体の位置とアクセス対象のデータが取得された位置間の距離+1 の逆数を表す。つまり、 W の値はアクセス要求をした移動体から近いデータにアクセスした場合は 1 に近づき、遠いデータに対しては 0 に近づく。よってアクセス要求を行った移動体の近くで取得されたデータに対するアクセスが成功するほど、アクセス成功率は大きな値になる。SC 方式と次の場合とを比較した。

- 複製を行わない場合
- 相互通信可能な移動体すべてに複製を行う場合
- 複製配布範囲内の移動体すべてに複製を行う場合

3.3 シミュレーション結果

移動体の記憶容量をデータ 1 個からデータ 100 個まで変化させて 625 単位時間行うシミュレーションを 10 回試行した。アクセス成功率、冗長度はすべてのデータ、移動体について 1 単位時間ごと計算し、全シミュレーション時間内で平均を求めた。

実行した結果を図 4、図 5 に示す。

図 4、図 5 より複製配布範囲範囲に関係なくすべて複製した場合はアクセス成功率が高いが冗長度も大きくなっている。この場合ひとつのデータに対する複製の冗長度が大きいため、記憶容量が制限された環境では多数の種類データを扱えないといえる。図 4 より記憶容量が 15 個までは、複製配布範囲内にすべて複製した場合と近い値をとっていることがわかる。図 5 より SC 方式の冗長度は複製配布範囲内にすべて複製した場合よりも少なくなっていることがわかる。よって

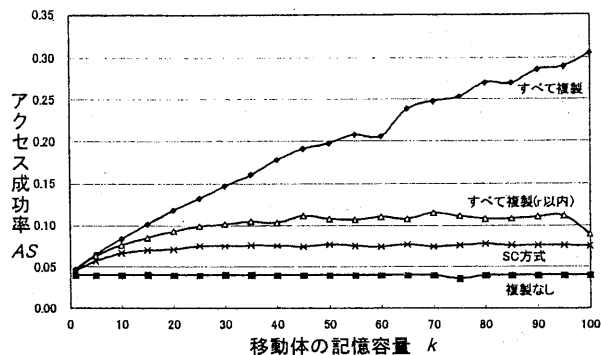


図 4 複製範囲 $r=22$ のときのアクセス成功率

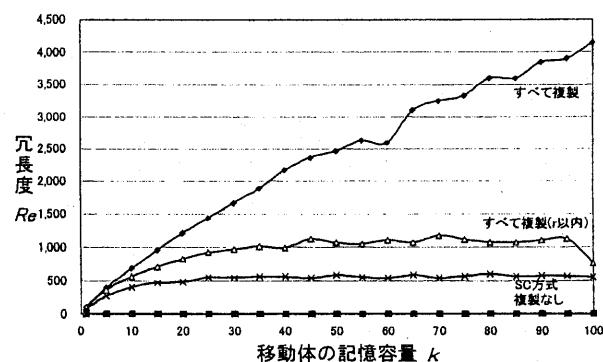


図 5 複製範囲 $r=22$ のときの冗長度

記憶容量が少ない場合では冗長度をある程度削減したうえで複製を全く行わない場合よりもアクセス効率を向上させることができるといえる。

4 再配置を考慮した SC 方式

4.1 複製の再配置

前述の SC 方式では、複製を記憶容量を越えて保持しようとした場合、その端末の位置においてオリジナル所持位置がもっとも遠いデータを破棄してしまう。この場合、ネットワーク全体の複製の数は複製が生成されてから、移動が起きるたびに減少していくという問題が発生する。そのためネットワーク全体のアクセス成功率は減少すると考えられる。この問題を解決するために複製は複製配布範囲内に新たに作成される必要がある。つまり複製の再配置を行わなければならない。

再配置の方針はアクセスを繰り返しているうちに、SC 方式を行った場合の複製が配置される状態になるようにするものである。具体的にはアクセスする場合にもホップカウントを用いる方法をとる。このときのホップ

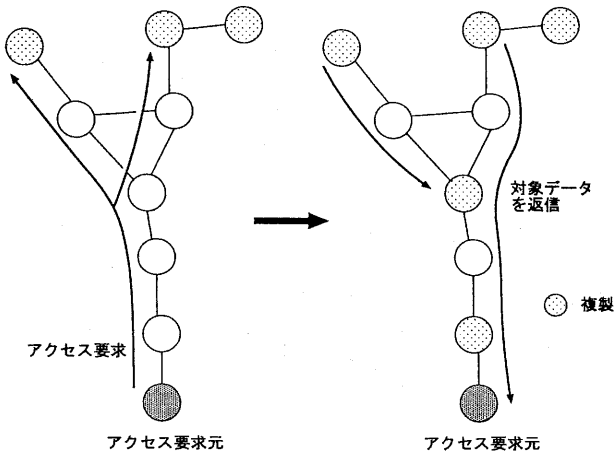


図 6 再配置

ブカウントの値は複製を配布する時に使用する C_c の値とは異なる。アクセス対象が通信できる端末にあった場合、そのデータはアクセス元まで転送されなければならない。そのとき、1ホップで C_a (ホップカウント) をインクリメントし、以下の処理を行う。 C_a の初期値は 0 である。

```

if (  $C_a \bmod s == 0$  &&  $d < r$  )
    { 複製を保存 }
else if (返信データを受け取った移動体が複製を保存している)
    { 複製を破棄する。探索済みマークをつける }
else
    { 探索済みマークをつける }

```

d は返信データを送信した移動体と返信データを受信した移動体の位置間の距離である。 r は複製配布範囲である。図 6 に示す通り、再配置が行われると完全に SC 方式の状態に複製が配置されるわけではないということがわかる。しかし、アクセス要求がある限り再配置は行われる可能性があるため、アクセス頻度が高いデータはネットワーク上に存在する確率が高くなると考えられる。

4.2 移動体の移動に伴う問題

SC 方式ではデータアクセス時にアクセス対象の位置を用いる。そのためどの移動体も以前に情報が取得された位置からいなくなった場合、その位置に対するアクセス要求が失敗する可能性がある。SC 方式では記憶容量を越えて複製を保持しようとした場合は LRU 法と現在位置を用いて、最も遠い位置で取得されたデータかつ最もアクセスされていないデータが破棄される。

データを破棄する方法として次の 2 つが考えられる。

- 情報が取得された位置を基準とする
- 情報が取得された位置を基準としない

情報が取得された位置を基準とする場合は LRU 法と現在位置を用いる場合である。この場合は位置を用いたアクセスができなくなり、ブロードキャストでアクセスする。情報が取得された位置を基準としない場合は LRU 法のみ用いる場合である。この場合もブロードキャストでアクセスする。位置を用いるアクセス方法ではブロードキャストでアクセスする場合よりもアクセス時のホップ数を減少できると考えられる。よって次の方法でアクセスを行う。

2 段階によるアクセス 1 回目は位置に依存したアクセスを行い、1 回目が失敗したら、情報が取得された位置を基準としないアクセスを行う。具体的にはブロードキャストによるアクセスを行う。この方法では 1 回目でヒットしたら、アクセス時のメッセージが少なくて済み、2 回目でヒットしたら、アクセス時のメッセージが多くなるがアクセスが成功する確率は高くなると予想される。

5 おわりに

アドホックネットワークにおける複製配布の一方式として SC 方式を提案した。この方式は複製配布時やアクセス時に位置を用いる方式である。また現在の SC 方式の問題点を解決する再配置方式や移動体の移動に伴う問題を解決する方式を提案した。今後は提案方式が有効であることをシミュレーションにより評価するとともに新たな複製配布方式について検討する予定である。

参考文献

- [1] <http://www.bluetooth.com/>
- [2] <http://www.homerf.org/>
- [3] 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
- [4] 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, 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, vol. 89, pp. 11-25, 2000