

# アドホックネットワークにおけるデータの更新と要求元の位置を考慮した位置依存情報複製配置手法の評価

土田 元<sup>†</sup> 石原 進<sup>†</sup>

無線アドホックネットワークでは、端末の移動等により、各端末が保持している情報を他の端末から利用できなくなるという状況が発生する。この問題の解決手法として筆者らは、位置に依存した情報をサーバレスなアドホックネットワーク上で扱われ、利用される情報が Geocast によってアクセスされるとを想定し、データ発生位置の周辺に複製を配置する手法として位置依存情報複製配布方式 Skip Copy (SC) 方式を提案してきた。SC 方式はデータ要求者が情報発生源の近傍に存在する場合は高いアクセス成功率を示す一方、要求者が情報発生源から遠い場所にいる場合はアクセス成功率が低下するという問題が存在する。そこで筆者らは、要求者の位置を考慮した位置依存情報複製配置手法として Adaptive Skip Copy (ASC) 方式を提案してきた。シミュレーション評価の結果、ASC 方式は既存手法よりも高い性能を示した。

## Evaluation of an adaptive replication method of location-dependent data for updating data on wireless ad hoc networks

GEN TSUCHIDA SUSUMU ISHIHARA<sup>†,‡</sup>

In mobile ad hoc networks, due to the movement of hosts, etc, it is difficult for mobile hosts to access the data on other hosts. As solution methods of such a problem, replica distribution methods which distribute the replicas of data items to other hosts and maintain them have been proposed, and we have proposed Skip Copy (SC) method as one for location dependent data. This method distributes location dependent data items requested using Geocast destined for the source locations of the data items, and achieves high accessibility to data when the requesting host is near data birth place. However, when the requesting host is far away from data birth place, accessibility is low if the SC method is used. To solve this problem, we have proposed Adaptive Skip Copy (ASC) method. In this paper, we evaluated the ASC method. Simulation results show the ASC method achieve higher performance than other methods.

### 1. はじめに

近年、無線端末等を用いて通信インフラの無い場所に一時的にネットワークを構築できる無線アドホックネットワーク<sup>1)</sup>上で無線端末間でのデータ収集、共有に関する技術が注目されている。この応用として筆者らは、サーバレスのアドホックネットワークにおいて特定の位置に関連づけられた情報—位置依存情報—を無線端末が収集・共有する位置依存情報共有アプリケーション SOLA (System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc networks) について検討を行っている。SOLA では、ある位置 A で発生した位置依存情報を発生位置周辺に存在する端末に保持させ、アドホックネットワーク上の Geocast<sup>2)</sup>を用いて位置

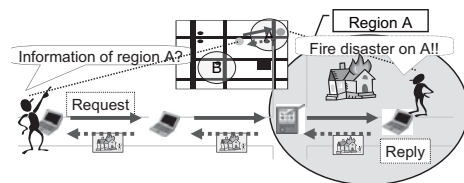


図 1 SOLA

Fig. 1 SOLA (System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc networks)

依存情報に対する要求メッセージを送信する(図1)。SOLA の利用場面の例としては、車々間通信通信による道路交通情報や街角情報の流通、災害復旧時等で既存のインフラが利用できない状況での復旧作業員同士での情報交換が挙げられる。

SOLA 以外の既存のインフラに依存しない位置情報サービス提供システムの1つとして、屋代等が文献3)で提案している Nomadic Agent (NA) がある。NA で

<sup>†</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

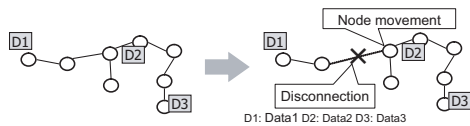


図2 無線アドホックネットワークの問題点  
Fig. 2 Issue of mobile ad hoc network

は、エージェントが特定のエリアにおいて自身の物理的位置を変更しないように端末間を移動しつつ、情報収集・提供を行う。この方法では、局所的な情報を、その特定の場所に物理的に固定させて保持させる事により、その近傍に移動してきた端末が情報を得ることができる。

無線アドホックネットワークの性質上、通信を行う端末同士が直接通信不可能な場合でも、他の端末を中継することで通信可能となるが、端末の移動や無線リンクの状態の変化によって端末間の接続性は保証されないため、通信性能が大きく変動する。さらにネットワークの分断など、ネットワークトポロジの変化によってある端末が持つデータへのアクセスができなくなる状況(図2)が発生する。そこで、ある端末が取得したデータの複製を別の端末に持たせることでデータ可用性を高く保つ手法が提案されている<sup>4),5)</sup>。Haraは文献4)でノード毎のアクセス頻度が既知のデータに対して、アドホックネットワーク上の端末にネットワークトポロジとアクセス頻度に応じて定期的に配置する数種類の手法を提案している。後にデータの更新への対応やリンクの状態に応じて複製の配置先を決定する拡張を行っている。Caoらは文献5)でサーバと要求者の経路上にある端末がデータの複製を持つ端末への経路あるいはデータそのものをキャッシュする手法を提案している。

筆者らは、SOLA環境下において位置依存情報の可用性を向上させるための手法として、文献6)で位置依存情報複製配布機構 Skip Copy (SC)方式を提案してきた。SC方式は、i) 端末が位置依存情報を取得したときに行う情報発生位置周辺に存在する端末への投機的な複製配布、ii) 情報発生源からのホップ数による複製配布先の選択、iii) 複製の動的再配置から成り立っている。

SC方式はi)~iii)の手法により、複製データの冗長度を低く抑えつつデータへのアクセス成功率を高めている。しかしSC方式では、複製はオリジナルデータの発生位置周辺のみ配置されるため、ある場所に関連付けられた位置依存情報に対して、オリジナルデータの発生位置から遠くの端末から要求が発生した場合、複製を保持する端末にメッセージを転送するときのパ

ケットの喪失や、データ取得遅延が増大する等の問題があった。そこで筆者らは、上記の問題点を解決する手法として、文献7)でデータ要求者の位置を考慮した位置依存情報複製配置手法 Adaptive Skip Copy (ASC)方式を提案している。本稿では、ASC方式についてデータ更新を考慮した評価を行う。以下2章ではSC方式とその問題点について述べ、3章でASC方式について述べる。4章で評価について述べ5章でまとめを述べる。

## 2. Skip Copy (SC) 方式

本章ではASC方式の土台となる6)で提案されたSC方式の概要を説明する。SC方式では、サーバレスのアドホックネットワーク上で位置依存情報を扱うことを仮定し、各端末が位置依存情報を生成後、投機的に情報取得端末の周辺端末に複製を疎らに配置する。

### 2.1 想定環境

SOLAでは、以下の利用環境を想定している。

- アドホックネットワークにおいて複数の端末が自由に移動し、情報の収集、交換を行う。
- 各端末は現在位置をGPS等により取得可能である。
- 固定のデータサーバは存在せず、各端末は目的とする位置依存情報を持っているホストを特定できない。
- 各端末は、目的とする位置周辺の情報を持っていない場合に、その位置の近辺にいる複数の端末へGeocastにより要求を行う。
- 各端末の記憶領域の大きさは制限されている。
- 各端末は、現在位置によって識別されるデータを発生する。各データにはその発生時刻と有効期限が与えられる。

### 2.2 SC方式における複製配布

アドホックネットワークの分断がおきるような状況においても、Geocastで転送される位置依存情報への要求に対して、高いアクセス成功率を保つための一つの方法は、移動端末が位置依存情報の生成後ただちにその複製を周辺の端末に配布することである。以後この処理を投機的複製配布と呼ぶ。投機的複製配布を行うと、複製をより多くの端末に保持させることができるので、複製された情報に対して高いアクセス成功率が期待できる。しかしこの方法では、大きな記憶領域が必要であり、また複製配布のために多くのトラフィックが必要である。Skip Copy (SC)方式は、複製の配布先を位置依存情報の生成端末からの距離が短く、かつその端末からのホップ数が与えられた値 $s$ の倍数となる端末のみとすることで、より少ない記憶領域、トラ

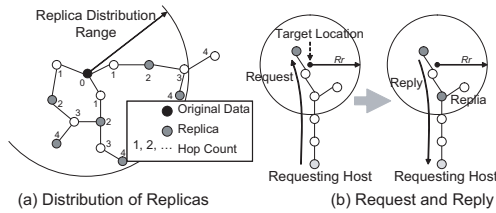


図 3 SC 方式 ( $s=2$ ) による複製配布と要求, 応答, 複製の再配置 ( $s_r=2$ )

Fig. 3 SC method ( $s=2$ ), request, reply and relocation of replicas ( $s_r=2$ )

フィックで高いアクセス成功率を得るようにする複製配布方式である。

SC 方式では移動端末が位置依存情報を生成・取得すると, この情報の冗長度を高めるため, 直ちにその複製を複製配布半径  $R$  内に存在する他の端末にフラディングによって配布する (図 3(a)). ただし, 中継中の端末が過去に一度受け取った複製と同じ ID, 生成時刻をもつ複製を受信した場合は, これを転送しない. また, 中継端末がある複製を受信した時に, 受信した複製と同じ位置で発生した古い複製を保持していた場合, 古い複製を破棄する.

複製を受信した端末のうち, 複製配布元の端末からの最小ホップ数  $s$  に基づいて選ばれる一部の端末のみがその複製を保持し, 以後の Geocast によるデータ要求に応える. また, データ要求に対する応答転送時には, 応答を転送する端末のうち, 応答元から  $s_r$  の倍数ホップ離れ, 情報に関連した位置 (情報発生位置) との距離が  $R_r$  以内であるものが複製を保持する (図 3(b)).

以上の処理により, SC 方式は複製データの数を抑制しつつ, 高いアクセス成功率を得ることを可能としている. なお, 本論文では簡単のため  $s = s_r, R = R_r$  とする. また, 複製を記憶する領域が満杯の状況で新たなデータを生成または受信した場合, 破棄するデータの決定手法は多種あるが, 本稿では, 保持している複製のうち最も古い複製を破棄することとする.

### 2.3 位置依存情報が持つ属性情報

SC 方式では, データ発生源からの距離やオリジナルデータ生成端末からのホップ数をもとに複製保持端末を決定する. また, SOLA ではデータには有効期限が存在することを前提としている. このため, 位置依存情報はデータの実体だけでなく, そのデータを識別するための属性情報が含まれていなければならない. 本稿で扱う位置依存情報は以下の属性情報を含んでいるものとする.

- (1) データを生成した端末の ID
- (2) データが生成された位置
- (3) データが生成された位置が所属する領域

- (4) データが生成された時刻
- (5) データの有効期限 ( $T_{TTL}$ )
- (6) オリジナルデータ生成端末からのホップ数
- (7) 1 ホップ前の複製転送端末の位置
- (8) 1 ホップ前の複製転送端末の ID
- (9) 2 ホップ前の複製転送端末の ID

これらのうち (1) から (6) までの属性情報は SC 方式, 後に説明する ASC 方式では必須である (7) から (9) までの属性情報については, 今回説明する手法では必ずしも必要ないが, 筆者らが文献 8) で提案している位置依存情報複製配布のトラフィック削減手法を使用するときには必要となる. トラフィック削減手法の詳細については割愛する.

### 2.4 SC 方式の問題点

SC 方式では, 情報発生位置周辺の端末が複製を保持するため, データ要求端末が情報発生源の近くに存在する場合は高いアクセス成功率をもたらす. しかし, 情報発生源から地理的に遠くに存在する端末が要求を送信した場合, 途中経路の断絶やパケットの衝突により要求, 応答メッセージが喪失する確率が高くなり, アクセス成功率が低下する. また要求が成功する場合でも, 要求を送信してから応答を受信するまでの時間が長くなってしまふ. このため, 要求者の位置を考慮した複製配置手法が必要とされる.

## 3. Adaptive Skip Copy (ASC) 方式

本章では, 前述した SC 方式の問題点を解決する手法として文献 7) で提案した ASC 方式の詳細について述べる. 本方式は, ある地域にいる端末が, その現在地から離れた場所に関連付けられた位置依存情報を要求する確率が高い環境で有効であると考えられる. 例として, 車のドライバーが先の交差点状況を知りたい場合や, 駅やバス停にいるユーザが観光地等の情報を知りたい場合などが考えられる. ASC 方式は SC 方式と同様の手法で投機的複製配布を行うが, データ要求に応える際の複製再配布処理に違いがある. 以下 ASC 方式の複製再配布処理について説明する.

### 3.1 データ応答時における応答中継端末への複製再配置

SC 方式では, Geocast によるデータ要求に対するデータ応答時に, 応答元から  $s_r$  の倍数ホップ離れ, 情報に関連した位置との距離が  $R_r$  以下である端末に複製を再配置する. 一方 ASC 方式では, 応答時における複製再配布半径  $R_r$  によって配布範囲を限定せず, データ要求端末と応答送信端末の間に存在する端末全てを複製再配置先の対象とし, データ要求端末の近傍に複

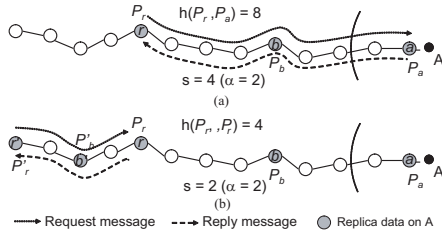


図4 ASC方式における複製の再配置 ( $\alpha = 2$ )  
Fig. 4 Relocation of replicas on ASC method ( $\alpha = 2$ )

製を配置する。ASC方式では、複製再配置用スキップパラメータ  $s_r$  を以下の式に従って設定し、データ応答時に複製を  $s_r$  ホップごとに配置する。

$$s_r = \max\left(\left\lceil \frac{h(P_r, P_a)}{\alpha} \right\rceil, s_{\min}\right) \quad (1)$$

ここで、 $P_r$  は要求端末の位置、 $P_a$  は複製を保持している端末の位置、 $h(P_r, P_a)$  は要求端末から複製保持端末までのホップ数を表す。 $\alpha$  は要求端末を含んだ複製を保持する端末の台数である。

図4にASC方式における複製再配置の例 ( $\alpha = 2$ ) を示す。位置  $P_r$  に存在する端末  $r$  が位置  $A$  で発生した位置依存情報に対して要求を送信した場合、要求メッセージは位置  $A$  で発生した位置依存情報を保持する端末  $a$  に8ホップで到達する(図4(a))。 $\alpha = 2$  のため、(1)式より、 $s_r = 4$  となるので、複製保持端末  $a$  から4ホップ先の端末  $b$  と、データ要求端末である  $r$  が複製を保持する。その後、位置  $A$  に対して  $P_r$  よりも遠い位置  $P_r'$  に存在する端末  $r'$  が位置  $A$  で発生した位置依存情報を要求する場合、端末  $r$  から応答が送信される。このとき  $s_r = 2$  となるので、端末  $b'$  と、データ要求端末  $r'$  が複製を保持する(図4(b))。ある地域で発生した位置依存情報に対する要求が多い地域では、複製の再配置を繰り返すことにより、頻繁に要求される情報の複製を要求地域近辺に多く配置することができる(図5)。

### 3.2 データ要求時における複製の管理

ASC方式では、データ応答時に複製配布範囲外の端末であっても複製を再配置する。しかしこの方法では、情報発生源から遠い場所に存在する端末が、古くなった複製にばかりアクセスしてしまい、新しく発生した複製にアクセスできない可能性がある。そこでデータ要求が出来る限り新しいデータの複製保持端末に到達するようにする、具体的な手順を以下に示す。

位置依存情報に対して要求を行う場合、要求メッセージに、要求端末が許容する複製の残存有効期間  $T_{\text{life}}$  を付加して送信する。要求を受信した端末のうち、要求に一致する複製を保持している端末は、その複製の残

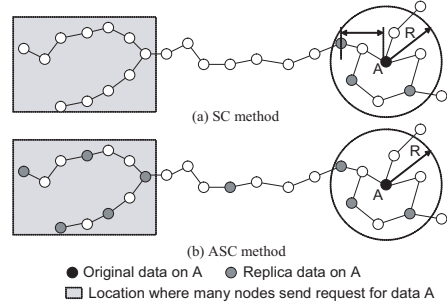


図5 SC方式、ASC方式における複製配置  
Fig. 5 Replication on SC and ASC method

存有効期限を参照する。残存有効期間が  $T_{\text{life}}$  以上であれば要求端末に対して応答を送信する。そうでない場合は、応答メッセージを要求端末に送信後、要求メッセージを隣接端末に転送する。こうすることで新しいデータを探索可能となる。

残存有効期間が  $T_{\text{life}}$  以上の複製を保持していれば、無条件で応答メッセージを要求端末へ送信する。このとき、受信した要求メッセージは古い複製を保持している端末から転送された可能性がある。この場合、応答メッセージは古い複製を保持している端末によって中継される。この端末が応答メッセージを中継する際には、古い複製を破棄する。また式(1)応答時の複製再配置のルールに従って複製を保持するかどうかを決定する。

### 3.3 複製データの定期的な再配布

前述した再配置のみを行うと、複製の再配置が情報発生源から離れた位置のみで行われてしまう。このため、情報発生源周辺の端末が移動すると、情報発生源周辺に複製保持端末がいなくなってしまう、情報発生源に Geocast によって送信される要求に応答できなくなる可能性がある。これを回避するため、ASC方式では、定期的に情報発生源周辺に複製を再配置する。

ある端末が位置依存情報を生成し投機的複製配布を行った後、データ生成時刻から時間  $T_{\text{re}}$  経過すると、複製保持端末は、情報発生源の間の距離  $L$  が複製再配布範囲  $R'$  と情報発生位置複製配布範囲  $R$  に対して  $R' \leq L \leq R$  を満たす場合、複製配布範囲  $R$  以内に存在する端末に複製をフラッシングする。複製を受信した端末は、SC方式の投機的複製配布時と同じルールに従い複製を保持する。複製再配布を行った端末、および再配布された複製を保持した端末は、その複製再配布開始時刻から時間  $T_{\text{re}}$  経過後に  $R' \leq L \leq R$  を満たす場合に再度複製配布を行う。 $T_{\text{re}}$  は複数の端末から発生した再配布のためのパケットにより衝突が発生せず、この際配布によるトラフィックが大きくなりすぎ

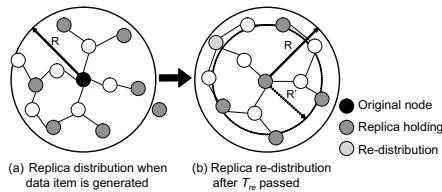


図 6 ASC 方式における定期的な複製再配置  
Fig. 6 Replica re-distribution on ASC method

ない程度に十分大きなランダム値として各端末毎に決められる。なお、複製の再配布時において、一度転送した複製データと同一の複製を受信した端末は、そこから先の複製配布を行わない。

ただし ASC 方式において、複製データの定期的な再配布は頻繁に行う必要はないと考える。なぜなら定期的な複製再配布を行うことによって、利用頻度が低いデータも再配布されてしまい、端末の記憶領域を圧迫し、利用頻度の低いデータが利用頻度の高いデータを駆逐する可能性があるからである。定期的な再配布が必要となるのは、あるデータをごくわずかの端末しか保持しておらず、その端末がデータを破棄した場合、他の端末はそのデータに対してアクセスできなくなるという状況のみとなる。

#### 4. 性能評価

シミュレーションにより ASC 方式の有効性の評価を行った。シミュレータとして JiST/SWANS<sup>9)</sup> を用いた。

##### 4.1 シミュレーションモデル

2000[m] × 1000[m] の 2 次元平面上に 300 台の移動端末が存在すると仮定する。各端末は以下で説明するモデルに従って動作する。

###### 4.1.1 端末の通信

各端末は MAC 層プロトコルに IEEE802.11b を用い、通信帯域幅 11[Mbps]、通信可能半径 105[m] で通信を行う。要求、応答、複製配布、全ての通信は UDP ブロードキャストで行う。ルーティングはアプリケーションレベルで行われ、アドホックネットワーク用の IP ルーティングプロトコルは使用しない。これは、各メッセージを中継する端末が応答に必要な複製を保持しているかの判定、および複製の配置の判定を行うためにアプリケーションレベルで扱う必要があるためである。

###### 4.1.2 移動モデル

各端末は移動領域内をランダムウェイポイントモデル<sup>10)</sup> で移動する。移動速度は 0-2 [m/s] とし、Pause Time = 3[sec] とした。端末の初期位置はランダムに決定した。

##### 4.1.3 データ生成モデル

位置依存情報の取り扱いを容易にするため、シミュレーション上の移動領域を正方形の領域に等分割し、端末はその現在位置をカバーする領域の中心に関連付けられたデータを取得することとした。端末は以下で述べるデータ生成モデルに従って現在位置に関連するデータを取得し、後述するデータ要求モデルに従って他の領域に関連したデータを要求する。

データ生成を行う 100 台の端末は平均 200 秒のポアソンモデルに従い、その時端末自身が存在する領域に関するデータを取得する。取されるデータは、端末の存在するセルの中心位置と発生時刻をパラメータとして持ち、UDP、IP ヘッダを含めて 1500bytes のパケットで配送されるものとする。

移動領域の分割サイズは 200[m] とした。従って 50 箇所から異なるデータが発生することになる。本評価では生成データに有効期限  $T_{TTL}$  を設定して、データのバージョンの違いを考慮する。各端末は最大  $M$  個の位置依存情報を保持することができる。シミュレーションの初期状態ではどの端末もデータを保持していない。

##### 4.1.4 データ要求モデル

全ての端末は平均 100 秒のポアソンモデルに従ってデータ要求を行う。データ要求パケットは目的データが存在する位置をキーとして持ち、サイズは UDP、IP ヘッダを含めて 128bytes とした。

データ要求モデルには 6) における評価で用いたモデルの 1 つである一様アクセスモデルを用いる。一様アクセスモデルは、全ての領域に対応するデータに対し、同じ確率で要求を発生させるモデルである。

##### 4.1.5 要求・応答の送信

要求メッセージは Geocast によって目的となる領域の中心に向かって転送される。アドホックネットワーク上の Geocast については文献 2) の手法以外にも様々な手法が検討されているが、今回のシミュレーションでは以下で述べる手法を用いた。

要求メッセージの送信には Location Based Multicast<sup>2)</sup> を用いる。要求領域範囲を Geocast Region に設定し、要求生成端末と Geocast Region を囲んだ領域を Forwarding Zone とする。ブロードキャストされた要求メッセージを受信した端末が Forwarding Zone に存在し、かつ要求されたデータを持っていない場合は要求を転送する。要求に該当し、かつデータの残り寿命が  $T_{life}$  以上データの複製を所持している場合、この複製を応答として要求元へ送信する。そうでない場合は複製を応答として要求元へ送信した後、要求を転送する。

今回の評価では  $T_{life}$  を 100[sec] とした．またデータの寿命  $T_{TTL}$  は 500[sec] とした．

応答データの送信には，要求メッセージが中継されてきた経路の逆順を辿る方法を用いる．各端末は要求メッセージを中継するときに，自身の識別子を経路情報として要求メッセージに付加する．応答端末は応答データにその経路を付加してブロードキャストをする．そのデータを受信した端末は経路情報を参照し，自身が中継を行うか否かを判断する．

応答データを受信した要求端末は，応答データをローカルに保存する．応答データのサイズは応答経路の情報を含めて 1500bytes とした．

#### 4.1.6 評価指標と評価項目

提案手法の評価を行うために以下の評価指標を用いた．

アクセス成功率  $A_S$

$$A_S = \frac{A_C}{R_C} \quad (2)$$

$R_C$ (Request Count) は各端末がアクセス要求を送信した回数の総和であり， $A_C$ (Answer success Count) はアクセス要求元が対象となる応答データを受け取り，要求が完了した回数の総和である． $A_S$  の算出にはシミュレーション時間全体での  $A_C$ ， $R_C$  を利用した．

データ取得遅延  $T_D$

データ要求を発生した端末が，要求メッセージを送信してから応答データを受け取るまでに要した時間である．

要求満足度  $R_{content}$

応答データの新鮮さを示す指標である．取得した要求に対して  $n$  個の応答を受信した場合，これらの応答のうち最も新しいデータの情報を要求満足度の算出に用いる． $T_{get}$  をデータ取得時刻， $T_{gen}$  をデータ生成時刻とし，要求満足度を次の式で定義する．

$$R_{content} = \max_n \frac{T_{TTL} - (T_{get} - T_{gen})}{T_{TTL}} \quad (3)$$

式 (3) では，データ獲得時刻がデータ生成からの経過時間が短いほど要求満足度は高くなる．要求満足度の値域は  $0 < R_{content} < 1$  である．

複製配布トラフィック  $T_{data}$

複製配布のためのトラフィック  $T_{data}$  を，複製配布のための各端末のデータ送信回数として定義する．

評価する複製配布方式は以下の 5 通りである．

- ASC( $s = 2, a = 2$ ): 式 (1) において  $a = 2$  とした ASC 方式． $s = 2$ ， $s_{min} = 2$ ．
- ASC( $s = 2, a = 5$ ): 式 (1) において  $a = 5$  とした ASC 方式． $s = 2$ ， $s_{min} = 2$ ．

表 1 シミュレーション条件

Table 1 Simulation parameters

Parameter	Default value	Range
Number of cells	50	
Data size[KB]	1.5	
Number of nodes	300	200 to 300
$v_{max}$ [m/s]	2	
Pause Time [sec]	3	
Bandwidth [Mbps]	11	
Communication range [m]	105	
Replica distribution range [m]	300	
Data generates interval [sec]	200	
Data requests interval [sec]	100	
$T_{TTL}$ [sec]	500	
$T_{re}$ [sec]	300	290 to 310
$T_{life}$ [sec]	100	

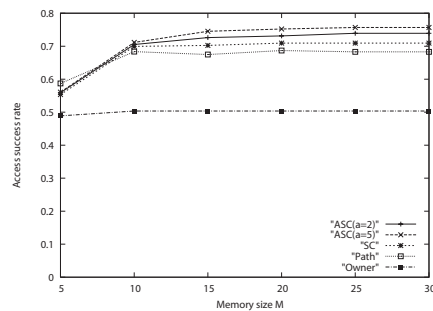


図 7 アクセス成功率とメモリサイズの関係 (端末数 300 台)

Fig. 7 Access success rate vs memory size (300 nodes)

- SC(2):  $s = 2$  とした SC 方式．
- path: パス複製法．非構造型トポロジのピュア P2P で用いられている複製配置手法．全ての応答中継端末が複製を保持する<sup>11),12)</sup>．
- owner: オーナ複製法．非構造型トポロジのピュア P2P で用いられている複製配置手法．要求端末のみが複製を保持する<sup>11),12)</sup>．

#### 4.2 シミュレーション結果と考察

表 1 にシミュレーション条件を示す．シミュレーションはシミュレータ上の時間で 10000 秒行った．このうち最初の 1000 秒分は定常状態になるまでの猶予期間とし，評価値の計測を行っていない．以降に示すシミュレーションの大部分は各端末が保持できる最大のデータ数 (メモリサイズ)  $M$  を 5 から 30 まで 5 間隔に変化させて得たものである．また，定期的な複製再配布の間隔  $T_{re}$  を 300[sec] とした．

##### 4.2.1 アクセス成功率と複製配布トラフィックに対する影響

図 7 に端末数を 300 台，複製配布半径  $R$  を 300[m] とした場合のメモリサイズに対するアクセス成功率の変化を示す．ASC 方式と SC 方式を比較した場合，ASC 方式のアクセス成功率が SC 方式よりも高い．また，ASC 方式，SC 方式とパス複製法を比較した場合，

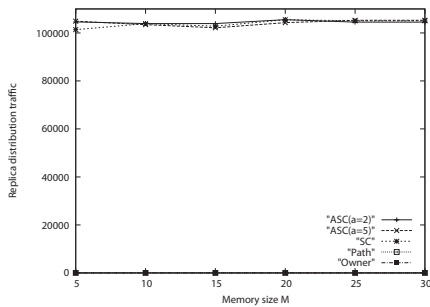


図 8 複製配布トラフィックとメモリサイズの関係 (端末数 300 台)  
Fig. 8 Replica distribution traffic vs memory size (300 nodes)

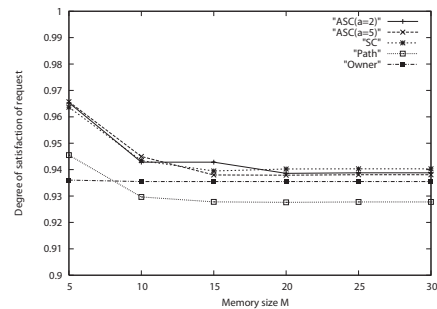


図 10 要求満足度とメモリサイズの関係 (端末数 300 台)  
Fig. 10 Degree of satisfaction of request vs memory size (300 nodes)

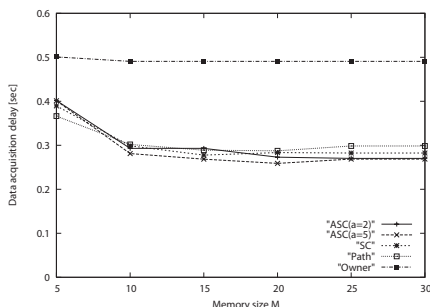


図 9 データ取得遅延とメモリサイズの関係 (端末数 300 台)  
Fig. 9 Data acquisition delay vs memory size (300 nodes)

メモリサイズが 10 以上の場合は ASC 方式, SC 方式のアクセス成功率が高いが, メモリサイズが 5 のときはパス複製法のアクセス成功率が SC 方式, ASC 方式よりも高い。これは, メモリサイズが小さいと新しいデータの投機的複製配布によって以前に配布された複製が破棄されてしまうためである。

図 8 に図 7 と同じシミュレーション条件における複製配布トラフィックを示す。図 8 より, ASC 方式と SC 方式において複製配布トラフィック量に違いは無く, ASC 方式の複製再配布がほとんど行われていないことがわかる。以上より, ASC 方式はトラフィック量の増加を伴わずに, SC 方式に対してアクセス成功率改善効果があることが示せた。

#### 4.2.2 データ取得遅延に対する影響

図 9 に図 7 と同じ評価条件における平均データ取得遅延とメモリサイズの関係を示す。メモリサイズが大きいときには, ASC 方式のデータ取得遅延が他の手法より若干小さくなる。これは, ASC 方式ではデータ要求者の近くに複製が配置されるため, 同じ領域に対して要求を頻繁に発生する領域に多数の複製が配置されるためである。

メモリサイズが小さいときは ASC 方式, SC 方式間の差はほとんど見られない。また, パス複製法のデータ取得遅延が ASC 方式, SC 方式よりも若干小さい。

これは以下の理由による。ASC 方式, SC 方式では, メモリサイズが小さいと投機的複製配布によって本来保持していなければならない複製が破棄される。複製保持端末が要求端末の近くに存在しない場合, 要求はより遠くに転送されるため, ASC 方式, SC 方式のデータ取得遅延がパス複製法よりも長くなる。

#### 4.2.3 要求満足度に対する影響

図 10 に図 7 と同じ評価条件における平均要求満足度とメモリサイズの関係を示す。ASC 方式と SC 方式を比較した場合, ASC 方式の要求満足度が SC 方式よりも若干高い。ASC 方式, SC 方式とパス複製法を比較した場合, ASC 方式, SC 方式の要求満足度が高い。ASC 方式, SC 方式では, 新しい位置依存情報が発生したときにその複製を周辺の端末へ配布する。このとき同じ位置で発生した古い位置依存情報を保持している端末は, 新しい複製を受信したときに古い複製を破棄する。つまり, 新しいデータが発生したときに複製配布範囲内の古いデータの複製が破棄され, 新しいデータが配置される。一方パス複製法では, 端末が新しいデータを生成しても周辺の端末には配布されないため, 古いデータがネットワークに多く残る。このため ASC 方式, SC 方式の要求満足度がパス複製法に比べて大きくなる。

#### 4.2.4 端末密度の影響

図 11 に端末数を 200 とし, それ以外の条件を図 7 と同じとした場合におけるアクセス成功率とメモリサイズの関係を示す。ASC 方式と SC 方式を比較した場合, ASC 方式のアクセス成功率が SC 方式よりも若干高くなるが, その差は端末数が 300 の時よりも小さくなる。端末密度が低いと端末間の接続性が低くなるため, 要求メッセージが要求端末から遠い位置には到達しない。要求が到達するのは, 要求端末と複製保持端末のホップ数が小さいときに限られる。このため情報発生源から遠い場所には複製が配置されにくくなり, アクセス成功率が低下する。

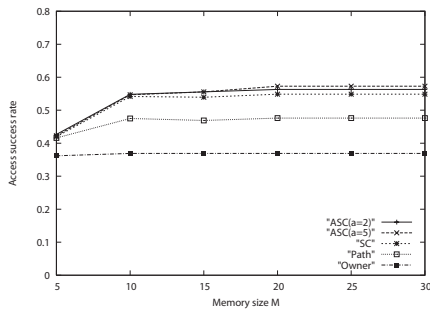


図 11 アクセス成功率とメモリサイズの関係 (端末数 200 台)  
Fig. 11 Access success rate vs memory size (200 nodes)

パス複製法と ASC 方式, SC 方式を比較した場合, ASC 方式, SC 方式のアクセス成功率が高い. 端末密度が低いとデータを保持し端末まで要求が到達する可能性が低くなるが, パス複製法では一度要求が情報保持端末まで到達しないと複製が配置されない. このため配置される複製の数が少なくなりパス複製法のアクセス成功率が低下する. 一方, ASC 方式, SC 方式はデータ生成時に複製を配置するため, 情報保持端末がパス複製法よりも多くなる. このため ASC 方式, SC 方式のアクセス成功率が高くなる.

## 5. まとめ

特定の位置に関連づけられた情報 (位置依存情報) を収集し, 移動端末間でこれらを共有するための複製配置手法の 1 つとして, データ要求者の位置を考慮した位置依存情報複製配置手法 Adaptive Skip Copy (ASC) 方式についてシミュレーションによる評価を行った. ASC 方式では, サーバレスな環境を仮定し, (i) 移動端末が取得した情報の複製を投機的に複数の端末へ配布し, (ii) データ応答時にデータ要求端末近辺に存在する端末へ複製を再配置し, (iii) 情報発生源から複製がなくなることを防ぐために, 情報発生源周辺での定期的な複製再配布を行う. シミュレーションによる評価の結果, ASC 方式によりデータ応答時にデータ要求端末近辺の端末に複製を配布することで, SC 方式に対してトラフィックの目立った増加を伴うことなく, アクセス成功率が向上することが確かめられた.

今回のシミュレーションでは扱うデータオブジェクトはすべて IP 層におけるフラグメントが起こらないサイズとし, 大容量のデータを扱うことは想定していなかった. しかし筆者等が検討している SOLA では, 画像等のサイズの大きなデータを扱うことを想定している. 今後はデータサイズが大きいデータの配送方法の最適化について検討を行う.

## 謝 辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金若手研究 A (18680008) および (財) 中島記念国際交流財団日本人若手研究者研究助成金の研究助成によるものである. ここに記して謝意を示す.

## 参 考 文 献

- 1) Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D. B., Hu, Y. C. and Jetcheva, J.: A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols, *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98)*, pp. 85–97 (1998).
- 2) Ko, Y. B. and Vaidya, N. H.: Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms, *IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications*, pp. 101–110 (1999).
- 3) 屋代智之, Porta, T. F. L.: 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).
- 4) Hara, T.: Effective Replica Allocation in Ad Hoc Networks for Improving Data Accessibility, *IEEE INFOCOM 2001* (2001).
- 5) Yin, L. and Cao, G.: Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks, *IEEE INFOCOM 2004* (2004).
- 6) 土田元, 沖野智幸, 田森正紘, 渡辺尚, 水野忠則, 石原進: 無線アドホックネットワークにおける位置依存情報複製配置手法, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J88–B, No. 11, pp. 2214–2227 (2005).
- 7) Tsuchida, G., Suzuki, N., Yamanaka, M. and Ishihara, S.: Adaptive Replication of Location-Dependent Data in Ad Hoc Networks, *Third International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2006)*, p. 126 (2006).
- 8) 石原進, 佐仲貴幸, 土田元, 水野忠則: 無線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方式のトラフィック削減手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 46, No. 12, pp. 2834–2847 (2005).
- 9) JiST – Java in Simulation Time / SWANS – Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator: <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>.
- 10) Perkins, C. E.: *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley (2001).
- 11) Cohen, E. and Shenker, S.: Replication strategies in unstructured peer-to-peer networks, *ACM SIGCOMM'02*, pp. 177–190 (2002).
- 12) Lv, Q., Cao, P., Cohen, E., Li, K. and Shenker, S.: Search and replication in unstructured peer-to-peer networks, *International Conference on Supercomputing*, pp. 84–95 (2002).