# 無線アドホックネットワーク上の位置依存情報共有における複製の動的再配置に関する一検討

土 田　　元[†]　石 原　　進[†]

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ことを想定し，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，Adaptive Skip Copy (ASC) 方式を提案・評価してきたが，応答経路上の端末にしか複製が再配置されないという問題点があった．そこで本稿では，これらの方式の問題点を解決するための手法 LDR（Link-aware and Density-based Relocation）方式を提案する．LDR 方式ではネットワークの分岐点となる端末の下流に存在する端末に複製を保持させる．シミュレーションの結果，LDR 方式では既存の複製再配置手法よりもメモリサイズが小さいときに高いアクセス成功率が得られることが確かめられた．

# A Study of Dynamic Relocation of Replicas in Sharing Location Dependent Data on Wireless Ad Hoc Networks

Gen Tsuchida[†] and Susumu Ishihara[†]

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 and evaluated Skip Copy (SC) method and Adaptive Skip Copy (ASC) method as for location dependent data. However when SC method or ASC method are used, replicas are relocated in mobile hosts on reply route. In this paper, we propose LDR (Lind-aware and Density-based Relocation) method for dynamic relocation of replica. In LDR, replicas are relocated in mobile hosts on downstream ramification. We evaluated the LDR method by simulation. Simulation results show that the LDR method achieve higher performance than other methods when storage size is small.

## 1. はじめに

近年 GPS の普及に伴い，カーナビゲーションシステムや携帯端末に対して渋滞情報や街角情報を配信する様々なサービスが運用されている．しかしこれらのサービスは，インフラ依存で運用されているため，災害時など，インフラの運用が困難な場所や車々間通信においての運用は難しいといえる．このような背景の下，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[1] 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，移動端末が各地で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 では完全にサーバレスな環境を想定しているため，自分以外の端末がどのような情報を保持しているかを知ることは難しい．そのため，各端末はある位置に依存した情報は，その地点の周辺に存在する端末が保持しているとみなす．特定の地点で発生した位置依存情報を取得したい端末は，その地点に向けてアドホックネットワーク上の Geocast[2] を用いて要求メッセージを送信し，目的のデータを保持する端末から応答を送信してもらう．こうすることにより情報の共有を行う（**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

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

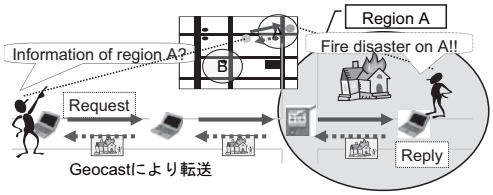


**図 1** アドホックネットワークにおける位置依存情報共有アプリケーション SOLA

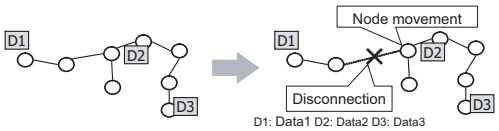


**図 2** 無線アドホックネットワークの問題点

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に，屋代等が文献 3) で提案している Nomadic Agent (NA) や，Maihofer らが文献 4) で提案している Abiding geocast 等がある．NA では，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．Abiding Geocast では，(i) 固定サーバが定期的に Geocast を特定領域に送信する手法，(ii) 移動端末が Geocast 送信サーバとなりデータ配信をする手法，(iii) 近隣端末間での情報交換により特定の領域にデータを配信する手法を用いることにより，特定領域にメッセージを送信し続ける．

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，アドホックネットワークにおいて，ある端末が取得したデータの複製を別の端末に保持させることでデータ可用性を保つ手法が近年広く検討されている．

Hara は文献 5) 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[6] 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[7] を行っている．Yin らは文献 8) 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．Chen らは文献 9) でグループ内で利用可能なデータの定期的な広告によりデータの存在を明らかにし，さらにネットワークの分断を予測して複製を行うことでデータの可用性を向上する手法を提案している．

筆者らは，SOLA の環境下において位置依存情報へのアクセス成功率を向上させるための位置依存情報複製配布手法を検討している．具体的な手法として，文献 10) で位置依存情報複製配布方式 Skip Copy (SC) 方式を提案し，文献 11) で，SC 方式の改善手法である Adaptive Skip Copy (ASC) 方式について提案してきた．SC 方式はデータ生成時に複製配布範囲内かつ情報発生源から定数倍ホップの端末に複製を配布し，データ要求が発生したときに応答時に情報発生源周辺の端末へ複製を再配置する．また ASC 方式は，SC 方式と同様のデータ生成時の複製配布，応答時に応答経路上の一部の端末への複製再配置と，情報発生源周辺での定期的な複製再配置から成り立っている．しかしこれらの方式では，応答時の複製再配置時に応答経路上の端末にのみ複製を再配置しているため，以前に応答が中継された経路までアクセスできないと位置依存情報を取得できないという問題が発生する．

そこで本稿では，前述の複製の動的再配置の問題点を解決する手法として位置依存情報複製の動的再配置手法 LDR(Link-aware and Density-based Relocation 方式を提案する．LDR 方式では，応答メッセージ転送時にに応答中継端末に接続している複数の端末に複製を保持させることで，経路分断が起こったとしても，高いアクセス成功率で情報を取得可能とすることを目的としている．

以下 2 章では LDR 方式の基になった SC 方式，ASC 方式の動作概要とその問題点について述べ，3 章で提案手法である LDR 方式の動作について説明する．4 章で LDR 方式のシミュレーションによる評価および考察について述べ，5 章でまとめを述べる．

## 2. 位置依存情報複製の動的再配置

本章では，これまでに筆者らが提案した位置依存情報複製配布手法および動的再配布について述べる．

### 2.1 想定する動作環境

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（位置依存情報）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 により要求を送信する．
- 位置依存情報は，適切な方法で複数の端末に保持される．要求を受信した端末が，複製を保持している場合，この端末は複製を要求者に送信する．
- 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 Skip Copy (SC) 方式における複製の動的再配置

SC 方式では，アドホックネットワークの分断がおきるような状況であっても，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，移動端末は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．これを投機的複製配布と呼ぶ．このとき，複製配布範囲 $R$ 内でのみ複製の配布を行う．複製を受信した端末のうち，複製配布元の端末からのホップ数がスキップパラメータ $s$ の倍数とな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，SC 方式では，Geocast によるデータ要求に応える際に，応答を転送する端末のうち，応答送信元から $s_r$ 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 $R_r$ 以内である端末に複製を保持させる．これを動的複製再配置と呼ぶ．こうすることで，端末が移動しても，要求される頻度の高い位置依存情報は，情報発生源周辺にとどまり続けることになる（**図 3**）．

### 2.3 Adaptive Skip Copy (ASC) 方式における複製の動的再配置

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が得られる．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，要求経路が長くなるのでメッセージの喪失確率が高くなる，データ取得遅延が長くなる等の問題がある．そこで筆者らは，この問題を解決する手法として，文献 11) で Adaptive Skip Copy (ASC) 方式を提案した．ASC 方式は SC 方式と同様の手法でデータ生成時に複製配布を行うが，データ要求に応える際の複製再配置処理に違いがある．以下 ASC 方式の複製再配布処理について説明する．

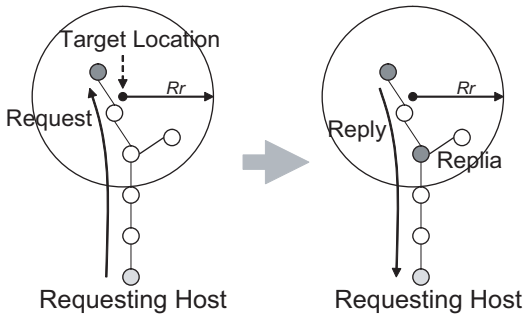


**図 3** SC 方式における複製の再配置 ($s_r = 2$)

ASC 方式では，SC 方式と異なり，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する．データ要求の発生頻度が高い位置の複製密度が高くなるように複製を再配置する．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．

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

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)）．

ASC 方式では，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い，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

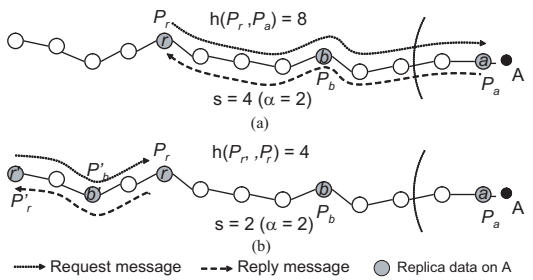


**図 4** ASC 方式における複製の再配置 ($\alpha = 2$)

ある．これを回避するため，ASC 方式では，複製保持端末が，複製配布範囲 $R$ 内かつ境界近傍に存在するときに情報発生源周辺向けて複製を再配置する．こうすることで，情報発生源に複製が再配置されないことを防止する．ただしこの手法では，複製再配布のためのトラフィックが増加するという問題点が存在する．

### 2.4 既存の手法の問題点

これまでに提案した方式における複製の動的再配置では，複製再配置先の決定に応答経路のホップ数を利用している．これらの手法では，複製の再配置先を単純に決定することができる．一方で，複製を適切な場所に配置できないかもしれない可能性がある．

例えば SC 方式では，情報発生源周辺に存在する端末にしか複製が再配置されないため，情報発生源から遠くの端末からの要求が生成されたときに，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う．

ASC 方式における応答時の複製の動的再配置では，要求元と応答送信元の間に複製を配置するため，情報発生源周辺には複製が再配置されにくいという問題が存在する．これを避けるために，ASC 方式では情報発生源での定期的な複製の再配布を行っているが，複製配布のためのトラフィックが増加する．また，ASC 方式において，**図 5** のように複製が再配置されたとする．複製保持端末への経路上の端末が移動してしまった場合，要求端末 A は，複製が再配置されているにもかかわらずデータを取得できないという問題が発生する．

## 3. LDR(Link-aware and Density-based Relocation) 方式

本章では，複製が再配置されているのにデータが取得出来ない点を解決するための手法を提案する．SC 方式，ASC 方式による複製の動的再配置では，複製

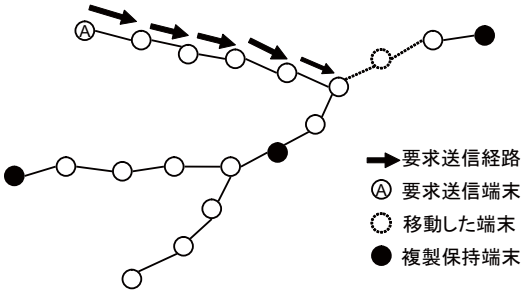


**図 5** ASC 方式の問題点

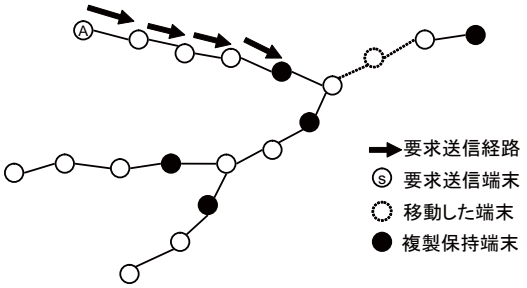


**図 6** LDR 方式における複製再配置の例

が適切な場所に配置されない可能性と，配布したとしても複製を保持した端末が移動するとデータにアクセスできないという問題点が存在した．そこで，これらの問題を解決するための手法として，LDR(Link-aware and Distance-based Relocation) 方式を提案する．LDR 方式ではデータ要求に対する応答メッセージ転送時に，応答中継端末に接続している複数の端末に複製を保持させる手法である．**図 6** に LDR 方式の例を示す．LDR 方式では端末密度の高低，隣接端末数を用いて複製配置密度を調節する．

### 3.1 前提条件

LDR 方式では，定期的な Hello により各端末が自身の隣接端末の現在位置を知っていること，応答メッセージはブロードキャストベースでかつ要求経路の逆経路で転送されることを前提とする．応答メッセージには，応答データの本体，応答経路，応答経路上で最後に複製を保持した端末からのホップ数 $h$，複製保持フラグ $R_H$，次にこの応答メッセージを転送する端末 $r$ の ID を含む．なお，複製保持フラグ $R_H$ の初期値は off である．

### 3.2 複製再配置アルゴリズム

応答経路上の端末を $i$ が，応答を受け取る場合を考える．応答の複製保持フラグ $R_H$ が on の場合，端末 $i$ は複製を自身の記憶領域に記憶し，$h = 0$，$R_H$ を off にして応答メッセージを経路上の次の端末へ転送する．$R_H$ が off の場合は以下の条件を満たすときに

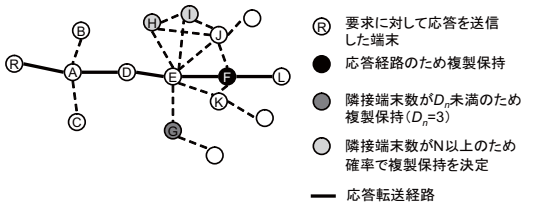


**図 7** LDR 方式における複製の再配置（$H_{\min} = 3$，$D_N = 3$）

$R_H$ を on にして応答を経路上の次の端末へ送信する．

$$h \geq H_{\min} \tag{2}$$

$$|\mathbf{M_i}| \geq 3 \tag{3}$$

$H_{\min}$ は正の定数である．$\mathbf{M_i}$ は端末 $i$ に接続している端末の集合である．また，最後に複製を保持した端末からのホップ数 $h$ が

$$h = C_r \tag{4}$$

を満たしていた場合，複製を保持する．

LDR 方式では，ブロードキャストで応答を送信している．そのため，応答中継端末以外の端末も応答を受信する．そのような端末を $k$ とする．端末 $k$ は応答を受信したとき，自分に接続している端末の集合 $\mathbf{M_k}$ を参照し，以下の条件に従い複製を保持するかどうかを判定する．

- $r \in \mathbf{M_k}$ の場合
  複製を保持しない．
- $r \notin \mathbf{M_k}$ の場合
  以下に示す確率 $P(k)$ で複製を保持する．

$$P(k) = \begin{cases} 1 & (|\mathbf{M_k}| < D_N) \\ k_M \big/ |\mathbf{M_k}| - 1 & (|\mathbf{M_k}| \geq D_N) \end{cases} \tag{5}$$

$D_N$ は定数であり，最小値は 2 である．$k_M$ は調整用の値域である．

### 3.3 LDR 方式における複製再配置の具体例

**図 7** に LDR 方式における複製再配置の例を示す．図 7 では，実線が応答経路であり，閾値は $D_N = 3$, $H_{\min} = 3$ である．要求を受信した端末 R が，複製保持フラグ off の応答を送信する．式 (2) と (3) の条件を満たした端末 E が，$R_H$ を on として応答を送信する．$R_H$ が on の応答を受信した端末 F は，応答経路上の端末であるため，複製を保持し，$R_H$ を off にして応答を送信する．端末 J, K は，応答端末 F と接続しているため複製を保持しない．端末 E からのメッセージを受信した端末 G は，隣接端末数が閾値未満で，応答経路上の端末である F と接続していないため，複製を保持する．端末 H, I は端末 F とは接続していないが，隣接端末数が閾値以上である．式 (5) から得られる確率に従い，複製を保持するかどうかを判定する．

## 4. 性能評価

シミュレーションにより LDR 方式の性能の基礎評価を行った．シミュレータとして JiST/SWANS[12] 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 400 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 100[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[13] 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．

全ての端末は平均 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 $T_{\mathrm{TTL}}$ を与える．生成から $T_{\mathrm{TTL}}$ だけ時間が経過したデータは削除される．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．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，もっとも古い複製を破棄する．

#### 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 10) 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[2] 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．データの寿命 $T_{\mathrm{TTL}}$ は 2000[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 $A_S$**

$$A_S = \frac{A_C}{R_C} \tag{6}$$

$R_C$(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．

**■平均要求ホップ数 $h_{\mathrm{req}}$**

一回の要求において，要求が転送されたホップ数の平均である．

**■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．

評価する複製再配置方式は以下の 5 通りである．

- LDR: 提案手法．今回の評価では $H_{\min} = 2$, $D_N = 3$, $k_M = 1$, $C_r$ の値は後述する ASC 方式の $s_r$ と同じとした．
- SC-R($s_r = 2, R_r = 300$): SC 方式における複製再配置手法．投機的複製配布は行っていない．
- ASC-R($a = 2$): ASC 方式におけるデータ応答時の複製再配置手法．$s_r$ は，式 (1) より求められる．また，投機的複製配布および情報発生源周辺での複製の定期的再配布は行っていない．
- 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[14),15)]．
- 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[14),15)]．

### 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，各方式において各端末は，平均 30 秒間隔 [29, 31] で Hello を送信し，Hello 送信時に隣接端末リストを更新する．また Hello パケットのサイズは 128 [Bytes] とした．

**表 1** シミュレーション条件

| Parameter | Default value | Range |
|---|---|---|
| Number of cells | 50 | |
| Data size[KB] | 1.5 | |
| Number of nodes | 400 | |
| $v_{\max}$ [m/s] | 2 | |
| Pause Time [sec] | 3 | |
| Bandwidth [Mbps] | 11 | |
| Communication range [m] | 105 | |
| Replica distribution range (SC-R)[m] | 300 | |
| Data generates interval [sec] | 200 | |
| Data requests interval [sec] | 100 | |
| Hello interval[sec] | 30 | 29 – 31 |
| $T_{\mathrm{TTL}}$ [sec] | 500 | |

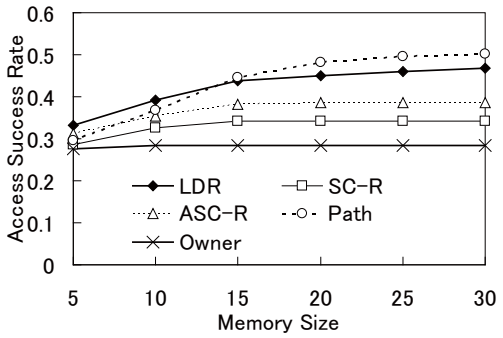


**図 8**　アクセス成功率とメモリサイズの関係

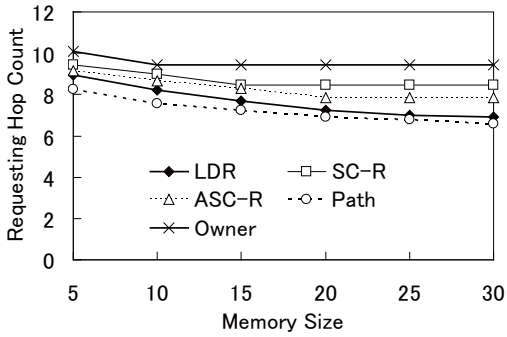


**図 9**　データ要求ホップ数とメモリサイズの関係

#### 4.2.1　アクセス成功率に対する影響

**図 8** に端末数を 400 台としたときのアクセス成功率とメモリサイズの関係を示す．図 8 より LDR 方式とほかの手法を比較した場合，メモリサイズが 10 以下のときに他の方式よりもアクセス成功率が高い．メモリサイズが 15 以上になると，パス複製法が LDR 方式よりも高いアクセス成功率を示すが，パス複製法以外の手法と LDR 方式を比較した場合，LDR 方式のアクセス成功率が高い．

メモリサイズが少ないときは，パス複製法のような各端末に同じデータを保持させる手法では，ネットワーク全体でのデータの多様性を維持できない．しかし，LDR 方式では，複製保持の判定に，隣接端末の情報や端末密度，さらには複製保持端末からのホップ数を用いることで複製密度を調節している．このため，メモリサイズが小さいときはパス複製法よりもアクセス成功率が高い．

#### 4.2.2　要求ホップ数に対する影響

**図 9** に図 8 と同じ条件で評価したときの平均データ要求ホップ数とメモリサイズの関係を示す．図 9 より，LDR 方式と他の手法を比較した場合，パス複製法の要求ホップ数が LDR 方式よりも少ないが，それ以外の方式より要求ホップ数が少ない．

パス複製法では，全ての応答中継端末が同じ複製を保持する．多くの端末が同じ複製を保持しているため，端末が既に配置されているデータへの要求を発生させた場合，その近くに複製を保持している端末が存在する可能性が高い．このため要求ホップ数が少なくなる．しかし，前述のように，メモリサイズが少ないときは，データの多様性が低くなるため，要求が成功するときのホップ数は少なくなるものの，要求が失敗する可能性が高い．一方，LDR 方式では，複製保持の判定に，隣接端末の情報や端末密度，さらには複製保持端末からのホップ数を用いているため，パス複製法よりも配置される複製の数が少ない．しかし，データの多様性の維持という点においてはパス複製法よりも優位である．

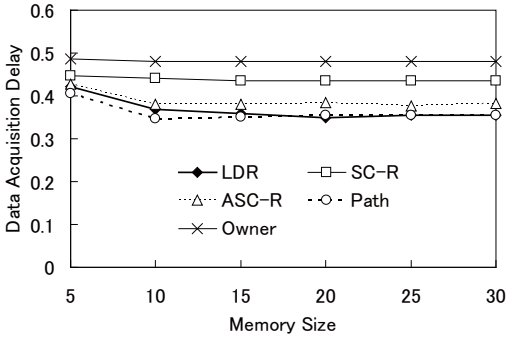


**図 10**　データ取得遅延とメモリサイズの関係

#### 4.2.3　データ取得遅延に対する影響

**図 10** に，図 8 と同じ条件で評価したときのデータ取得遅延とメモリサイズの関係を示す．LDR 方式とそれ以外の方式を比較した場合，LDR 方式とパス複製法のデータ取得遅延はほぼ同じであり，パス複製法以外の方式よりもデータ取得遅延が短い．

前述のようにパス複製法では，多くの端末が同一のデータの複製を保持する．また，LDR 方式もパス複製法ほどではないが，ASC 方式，SC 方式と比較して多くの端末が同一のデータの複製を保持する傾向にある．図 9 より，多くの端末が同一の複製を保持することで，要求ホップ数を削減することができる．要求・応答にホップ数を削減することでデータ取得遅延が短くなる．

## 5. ま と め

本論文では，特定の位置に関連づけられた情報（位置依存情報）を無線アドホックネットワーク上で収集し，移動端末間でこれらを共有するための複製の動

的再配置手法の 1 つとして，LDR (Link-aware and Density-base Relocation) 方式を提案した．LDR 方式では，応答メッセージの転送時に応答送信端末に接続している複数の端末に複製を保持させる．このとき，隣接端末リストを利用して，端末密度やリンク状態を測定し，それらの情報を用いて複製保持端末を制限することと，複製保持端末からのホップ数で複製密度の調節を行う．LDR 方式をシミュレーションにより基礎性能の評価を行った結果，LDR 方式は端末の記憶容量が少ないときに，既存の手法よりも高いアクセス成功率を示した．

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．加えて端末の記憶容量も現実にはデータ単位ではなくサイズ単位である．今後は，これらの事項を考慮して方式を改良し評価を行っていく．また，筆者らが提案している複製配布手法は，データ生成時に複製を周辺の端末へ配っている．このため，データ生成時の複製配布と LDR 方式を連動させたときの性能について評価を行う．

近年無線センサネットワークにおけるストレージや，複製配置についてさかんに議論されている．その中心となっているのは，限られた電力容量，記憶領域でどれだけ効率的に複製を利用できるかである．筆者らが提案した LDR 方式は，無線センサネットワークにも適用可能であると考える．筆者らの手法を無線センサネットワークに適用した場合の性能についても今後議論を行っていく．

## 謝　　辞

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金若手研究 A（18680008），中島記念国際交流財団日本人若手研究者研究助成金および日本学術振興会科学研究費補助金特別研究員奨励費の助成の下実施された．ここに記して謝意を示す．

## 参 考 文 献

1) Broch, J., Maltz, D.A., Johonson, 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.: Flooding-Based Geocastiong Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *Mobile Networks and Applications*, Vol.7, No.6, pp.471–480 (2002).
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) Maihofer, C., Leinmuller, T. and Schoch, E.: Abiding geocast: time–stable geocast for ad hoc networks, *Second ACM International workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET2005)*, pp.20–29 (2005).
5) Hara, T.: Effictive Replica Allocation in Ad Hoc Networks for Improving Data Accessibility, *IEEE INFOCOM 2001* (2001).
6) Hara, T.: Replica Allocation in Ad Hoc Networks with Periodic Data Update, *3rd International Conference on Mobile Data Management*, pp.79–86 (2002).
7) Hara, T., Loh, Y. H. and Nishio, S.: Data Replication Methods Based on the Stability of Radio Links in Ad Hoc Networks, *International Workshop on Mobility in Databases and Distributed Systems*, pp.969–973 (2003).
8) Yin, L. and Cao, G.: Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks, *IEEE INFOCOM 2004* (2004).
9) Chen, K. and Nahrstedt, K.: An integrated data looked up and replication scheme in mobile ad hoc networks, *SPIE International Symposium on the Convergence of Information Tecnologies and Communications* (2001).
10) 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).
11) 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).
12) JiST – Java in Simulation Time / SWANS – Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator: http://jist.ece.cornell.edu/index.html.
13) Perkins, C.E.: Ad Hoc Networking, *Addison-Wesley* (2001).
14) Cohen, E. and Shenker, S.: Replication strategies in unstructured peer-to-peer networks, *ACM SIGCOMM'02*, pp.177–190 (2002).
15) 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).