

# 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評価

沖野 智幸<sup>†</sup> 峰野 博史<sup>††</sup>  
石原 進<sup>‡</sup> 水野 忠則<sup>††</sup>

無線アドホックネットワークにおいて、端末の移動や無線リンクの状態が変化により、トポロジの変化が頻繁に発生し端末間の接続性が保障されない。その結果、ある端末が保持するデータに対してアクセスが不可能な状況が起きてしまう。このような問題の解決方法として各端末が持つデータの複製を他の端末に持たせる複製配布方式が提案されており、著者らはその一方式として SC 方式を提案してきた。SC 方式では利用されるデータは利用者の近辺に存在するものと想定し、データの複製をその発生源周辺にまばらに配置することで、データの可用性を高めることができることが評価されている。しかし、これまでの評価においては 2 層での影響は十分に考えられていなかった。本稿ではプロトコルスタックを階層的に実装した無線ネットワークシミュレータを用い、2 層の影響を含めて複製配布方式の評価を行い、有効性を確認した。SC 方式を適用することで、冗長な複製データの発生を抑えつつ、高いデータアクセス成功率を達成できる。また、複製の再配置によってさらに、アクセス成功率を向上できることを確認した。

## Evaluation of a replica distribution method for location dependent information on wireless ad-hoc networks

TOMOYUKI OKINO,<sup>†</sup> HIROSHI MINENO,<sup>††</sup> SUSUMU ISHIHARA<sup>‡</sup> and TADANORI MIZUNO<sup>††</sup>

In mobile ad hoc networks, because of change of topology caused by movements of terminals and change of a radio link, it is difficult to maintain connection between terminals. Therefore, situations that mobile nodes cannot access the data on other terminals will occur. As the solution method of such a problem, the replica distribution methods which distribute the replicas of data items to other terminals and maintain them have been proposed, and we have proposed SC method as one of it. This method distributes location dependent data items around the source location of them, and achieves high accessibility to data while it does not require many redundant replicas. But the influence of a MAC layer has not been fully taken into consideration in our past evaluation. In this paper, we evaluate the SC method by detailed simulation including application, transport protocol, routing protocols and MAC layer protocols.

### 1. はじめに

近年、無線移動端末など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が注目されている。筆者らは移動端末を用いてアドホックネットワークを構築し、詳細な地域情報を収集するシステムを検討している。このシステムは災害復旧や救助活動など、通信インフラを使用できない場所で多くの作業員が協力して場所に依存した情報を交換しながら作業を進める際の情報流通手段、あるいは道路交通情報や街角情報の流通を通信インフラに依存することなく行うなどの利用方法を想定している。

アドホックネットワークの性質上、通信を行う端末同

士が直接通信可能でない場合でも、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り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してしまう。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場合が生じてしまう(図 1(a))。このとき、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アクセスを維持することができる(図 1(b))。このような各データの可用性を高める複製配布方式がこれまでに提案されている<sup>1)2)</sup>。筆者らはデータへのアクセス頻度が、データに関連づけられた位置と端末の位置関係によって決まる場合を前提に、データの複製をそのデータを取得した端末の位置周辺に存在する端末に対してまばらに配置する複製管理手法として Skip Copy(SC) 方式を提案してきた<sup>3)</sup>。SC 方式は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。しかしこれまでの評価においては 2 層での影響を十分に考慮していなかった。データ通

<sup>†</sup> 静岡大学大学院情報学研究所  
Graduate School of Information, Shizuoka University

<sup>††</sup> 静岡大学情報学部  
Faculty of Information, Shizuoka University

<sup>‡</sup> 静岡大学工学部  
Faculty of Engineering, Shizuoka University

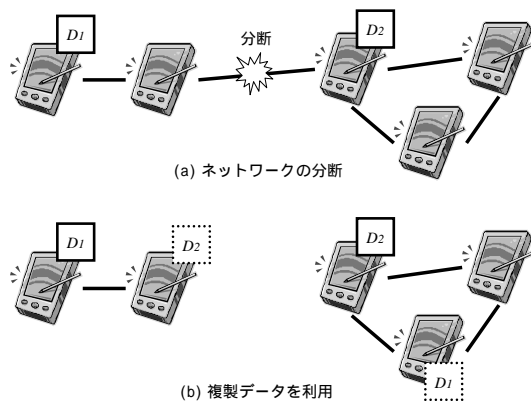


図 1 アドホックネットワークにおけるネットワークの分断

信に無線を使用することや、端末数が増えることを考えると、2層における影響を考慮しなければならない。

本稿では、2層を含めたプロトコルスタックを階層的に実装しているネットワークシミュレータを用いて SC 方式の性能を評価し、この方式の有効性について考察を行う。

## 2. 位置依存情報複製配布方式

### 2.1 想定環境

アドホックネットワークにおいて各端末が自由に移動し、情報の収集、交換を行う状況を想定する。例として、災害時における救助隊員同士の情報交換、街中やイベント会場での宣伝や広告の発信と取得がある。このような場合に扱われる情報について注目すると、災害時における事故現場の詳細情報や街中の宣伝情報は特定の場所に関係しているものが多い。筆者らはこのような特定の位置に依存したデータを位置依存情報と定義している。事故現場の情報などはその事故が発生した周辺への関連が強く、その情報は位置依存情報はその発生場所に近い程利用価値が高く、発生場所から遠ざかるにつれて利用価値が下がるとともに、利用される確率も減少していくと考えられる。この観点から、位置依存情報はその情報に関連付けられた位置周辺に存在する端末が保持していると、その情報利用時の追加コストが少なく済む。アドホックネットワークは動的に構築されるため、自分自身の周辺にどれだけの端末が存在し、どのようなデータを保持しているかを知ることは難しい。しかし、位置依存情報がその情報に関連付けられる位置周辺の端末に保持されていることが仮定できるのならば、それらの端末に問い合わせることで目的の情報を入手することができよう。そこで、ここではデータへのアクセス方法として、Geocast によるデータ要求を用いるものと仮定する。Geocast は位置情報をキーとしてパケットをその位置へ配送することができるため、要求するデータの保持者のアドレスを気

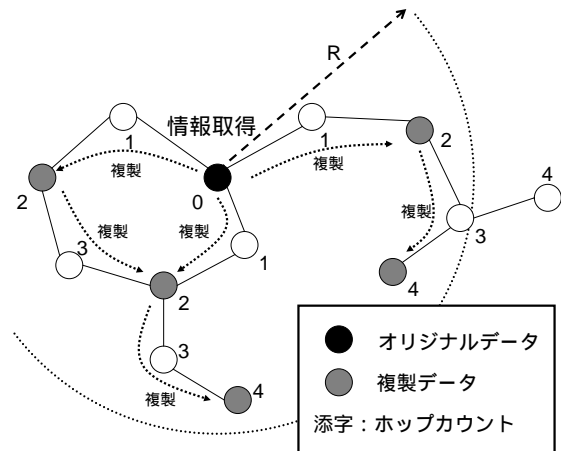


図 2 SC 方式 ( $s=2$ ) による複製配布

にすることなく位置情報のみで目的位置に関連するデータへの要求を行うことができる。

以上のような環境を想定し、筆者らは位置依存情報の可用性を高めるための複製配布方式として SC (Skip Copy) 方式を提案してきた。

### 2.2 Skip Copy 方式による複製配布

利用者は近隣の情報に対してアクセスする確率が高いと仮定し、SC 方式では複製データをそのオリジナルデータ発生位置周辺にのみ配置する。また、端末の記憶容量を節約するために、隣接する端末間でできるだけ同一の複製データを保持しないようにする。この 2 点が SC 方式の基本方針であり、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周辺の端末のいくつかに保持されることになる。図 2 に SC 方式による複製配布を示す。SC 方式では複製配布範囲  $R$  を用いることで複製が配布される範囲を制限し、複製密度決定要素  $s$  によって  $s$  ホップごとの端末に複製データを配置する。

SC 方式を適用することで得られる第 1 の利点はネットワークの分断に対しても高いデータアクセス成功率を維持することが可能となることである。これはその他の複製配布方式にも共通する目的である。

第 2 の利点は過剰な複製の配布を抑制し、端末が持つ情報の多様性を保持できることである。最も単純な複製配布方式としてフラディングを用いて、可能な限り多くの端末に複製を持たせる方式がある。しかし、この場合すべての複製が利用される可能性は極めて低く、位置依存情報を扱うという前提においては、情報の発生位置から離れるほどその複製の利用率は低下していく。また、多くの情報を扱うためには記憶容量も大量になければならないうえに、フラディングによるトラフィックも増大してしまう。SC 方式では情報発生源を中心、複製配布範囲  $R$  を半径とした円の中の、さらに数ホップおきに複

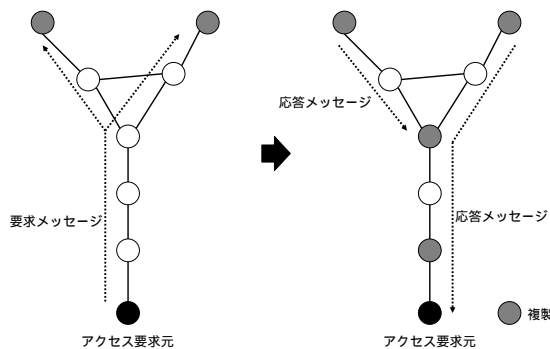


図3 複製の再配置

製が配置されるので、過剰な複製の配置とトラフィックを抑制できることが期待できる。

### 2.3 複製の再配置

複製を配布しても、端末が移動すると複製も発生源から離れてしまうため時間の経過とともにデータアクセスの成功率が下がってしまう。そこで、複製の再配置(図3)を用いる。これは、データ応答時の経路上に、SC方式と同様に複製密度決定要素  $s$  ホップおきに複製を再配置する。このとき複製データを保持する端末は、オリジナルデータの発生位置を中心、半径を複製配布範囲  $R$  の円の中に存在するもののみである。再配置を行うことで端末は移動しても複製はその発生場所周辺に留めることができ、位置ベースの要求に対してデータへのアクセス成功率を高めることができる。

### 2.4 これまでの評価について

SC方式はこれまでに3)4)によりその性能について評価されてきた。しかし、シミュレーションでは2層での影響を考えない、すなわち、データアクセスは必ず成功し、衝突や干渉による通信エラーは起こらないものとしていた。そのため、端末の密度に応じたアクセス成功率の変化や、フラッディングを用いることによるブロードキャストストームの影響を評価できなかった。また、これまでにSC方式は記憶容量が制限されている状況において、複製配布範囲内のすべての端末に複製を配置する方法と同等のアクセス成功率を達成しつつ、複製の冗長度を低く抑えることが確認されている。しかし、シミュレーションモデルの影響のため、再配置の効果については明確に得られていなかった。今回の評価では再配置の効果を含め、SC方式の有効性を検証するとともに、2層を含めることによるトラフィックへの影響についても考察する。

## 3. SC方式の性能評価モデル

シミュレータとしてGloMoSim<sup>5)</sup>を用い、SC方式による位置依存情報複製配布機構をアプリケーションとして実装した。

### 3.1 シミュレーションモデル

1000[m] × 1000[m]の2次元平面上に100個の移動ノードが存在すると仮定する。ノードの通信可能半径を100[m]、すなわち、ノード間の距離が100[m]以内のノードは相互に通信可能とする。MAC層にはIEEE802.11を用い、通信帯域幅を2[Mbps]とした。

シミュレーションエリアを5[m]×5[m]の正方形セルで等間隔に分割し、セルの中心にオリジナルデータを1つ配置した。すなわち400個のオリジナルデータが存在しているものとする。各ノードは自身の現在所属しているセルからオリジナルデータを取得する。各ノードはオリジナルデータ、複製データにかかわらず合計  $N$  個までデータを保持することができる。初期状態ではすべてのノードはオリジナルデータ、複製データを保持していない。

本シミュレーションではデータの送信方法にUDPブロードキャストを用いる。このため、IEEE802.11DCFにおけるRTS/CTSを使用していない。また、ネットワーク層にはIP、トランスポート層にはUDPを使用し、アプリケーションレベルの制限付きフラッディング以外の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ていない。

以上のような環境において、100ノードの内50ノードを次のデータ取得・アクセスモデルに従って行動させる。残りの50ノードはデータの中継および複製配布方式の規則に基づく複製データの保持のみを行う。

#### 3.1.1 移動モデル

各ノードはランダムウェイポイントモデルで移動する場合を想定する<sup>6)</sup>。パラメータには人の歩行を想定し、速度  $v = 0-2$ [m/s]、Pause Time = 3[sec]とした。また、ノードの初期位置はランダムに決定される。

#### 3.1.2 データ取得モデル

データ取得を行うノードは、平均60秒のポアソン到着モデルに従い、その時ノード自身が存在するセルに関するデータを取得する。取得されるデータはノードの存在するセルの中心位置をパラメータとして持ち、UDP、IPヘッダを含めて1500bytesのペケットで配送されるものとする。ノードはデータを取得した時点で複製の配布を開始する。なお、取得されるデータに新旧の概念はなく、同じセルで取得されるデータはすべて同じ内容であるとする。

#### 3.1.3 データ要求モデル

上述の50ノードは平均60秒のポアソン到着モデルに従ってデータ要求を行う。データ要求ペケットは目的データが存在する位置をキーとして持ち、128bytesのヘッダを含んでいるとする。データ要求は要求が要求者の近くの場合に対して行われる確率が高いものと想定し、データ要求を行うノードが所属するセルから距離が近いセルに関するデータが選ばれる確率が高くなるようにしてい

る．具体的なルールを以下に示す．データ要求を行うノード  $m$  の現在位置を  $P_m$  ,  $P_m$  を含むセルの ID を  $C_m$  , 発生済みのデータを  $d_i$  , そのデータの位置を  $P_{d_i}$  とし , ノード  $m$  とデータ  $d_i$  の距離を  $\overline{P_m P_{d_i}}$  とする . ここで  $P_{d_i}$  はそのデータ  $d_i$  が存在するセルの中心座標を指す .  $n$  個のデータが発生していたとすると , データ  $d_i (i = 1, 2, \dots, n)$  は確率  $(1/\overline{P_m P_{d_i}}) / \sum_{i=1}^n (1/\overline{P_m P_{d_i}}) \{i \neq C_m\}$  で選ばれる . ただし , 要求ノードは要求を行う時点で所属するセルに関するデータ要求を行わないこととする .

### 3.2 要求と応答の方法

要求メッセージの送信には位置を利用した制限付きフラッディングを用いる . すなわち , ノードがデータを中継する際 , 直前のノードの位置と目的位置を利用して中継を行うことで転送データがより目的位置に近づくときのみデータを中継し , 目的位置との距離が直前のノードとの距離よりも遠くなってしまふ場合は中継を行わない .

応答の送信には , 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とることとした . 各ノードは要求メッセージを中継するときに , 自身のノード識別子を経路情報として要求メッセージに付加する . 応答ノードは応答データにその経路情報を付加してブロードキャストを行う . そのデータを受信したノード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 . この方法はアドホックネットワークのルーティングプロトコルである DSR<sup>7)</sup> における Route Request(RREQ) の手法と同様のものである . 本手法で用いる要求方法と DSR の RREQ の異なる点は , DSR では RREQ が制限無くフラッディングされるのに対し , 本方式では目的位置方向のみにブロードキャストが行われる点である .

### 3.3 評価指標

SC 方式の評価を行うために以下の評価指標を用意した .

- アクセス成功率  $A_S$  (Access Success ratio)

$$A_S = \frac{A_C}{R_C} \quad (1)$$

$A_C$  (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り ,  $R_C$  (Request count) は各ノードがアクセス要求を送信し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  $A_C$  ,  $R_C$  を利用した .

- 通信トラフィック  $T$

$$T = T_{data} + \frac{128}{1500} T_{request} + T_{reply} \quad (2)$$

複製配布のためのデータ送信 , データ要求 , データ応答によるパケットの送信回数を  $T_{data}$  ,  $T_{request}$  ,  $T_{reply}$  とする . これらにデータサイズの比を重みとして掛けたものの総和を通信トラフィック  $T$  と定義する .

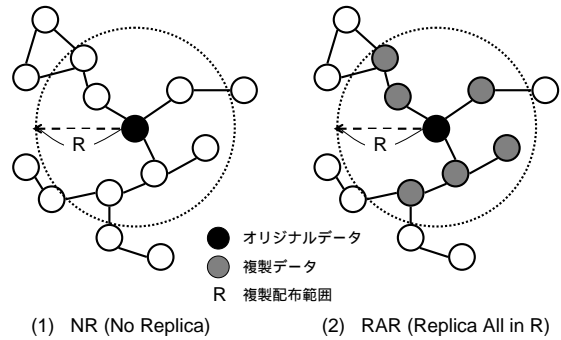


図 4 NR と RAR による複製配布

- パージ回数  $N_p$

各ノードは新たにデータを保持しようとするとき , メモリサイズを超える場合は保持するデータから新規データを保持できる容量相当を削除する . シミュレーション時間内にノードによって削除されたデータすべての総和をパージ回数とする . なお , データに含まれる位置情報がノードの現在位置から一番遠いものから削除される . また , 距離が等しい場合にはデータの発生時刻が古いものを削除する .

これらの指標に関し , 以下に示す 4 つの複製配布方式の比較を行った .

- (1) NR(No Replica): 複製を配布しない
- (2) RAR(Replica All in R): 複製配布範囲内のノード全てに複製 (再配置を行わない)
- (3) SC(s): SC 方式 (s=2,3,4) , 再配置を行わない
- (4) SC(s)R: SC 方式 (s=2,3,4) , 再配置を行う

## 4. シミュレーション結果

5,000 秒間のシミュレーションをメモリサイズ (各ノードが保持できる最大のデータオブジェクト数) を 10 から 100 まで 10 間隔に変化させたときの結果を示す .

### 4.1 アクセス成功率とメモリサイズの関係

図 5 に  $R=300[m]$  の場合のアクセス成功率とメモリサイズの相関図を示す . 複製をまったく配布しない NR と比べて , RAR , SC 方式はアクセス成功率が大幅に上昇している . また , メモリサイズが大きくなるにつれて , アクセス成功率の差はさらに大きくなる . 複製配布によって , データアクセスの信頼性を高めることができるといえる . 図 5 において , RAR と SC 方式 (再配置なし) のアクセス成功率はほぼ同等であるが , メモリサイズが大きい場合に RAR の方がわずかに高い結果を示している .

図 6 に移動領域のセルサイズを  $10[m] \times 10[m]$  , すなわち , オリジナルデータ数を 100 とし ,  $R=300[m]$  の場合のメモリサイズに対するアクセス成功率の相関を示す . こ

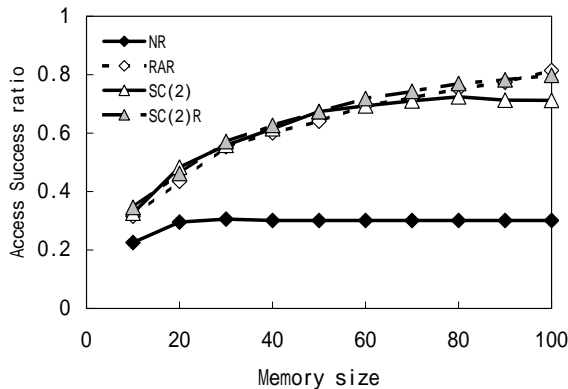


図5 メモリサイズに対するアクセス成功率  
(オリジナルデータ数=400, R=300[m])

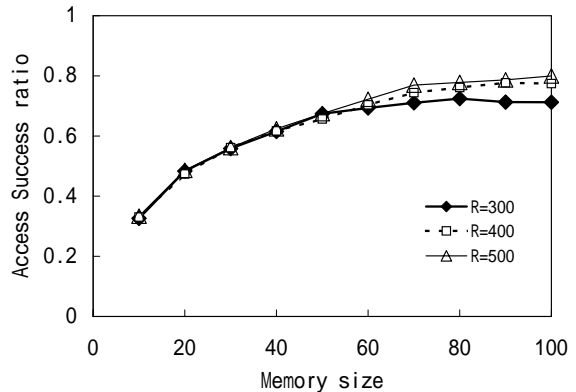


図7 メモリサイズに対するアクセス成功率: SC(2)  
(オリジナルデータ数=400, R=300, 400, 500[m])

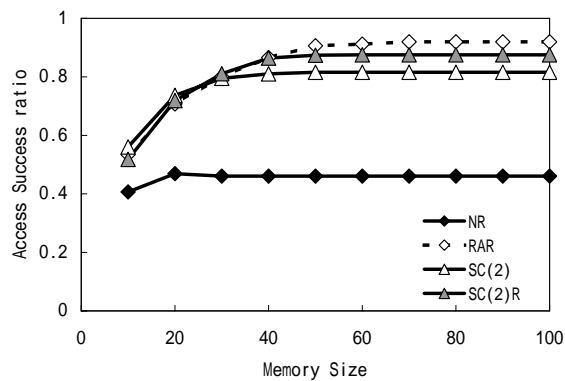


図6 メモリサイズに対するアクセス成功率  
(オリジナルデータ数=100, R=300[m])

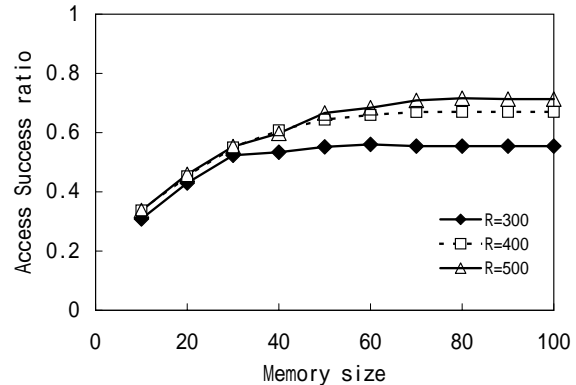


図8 メモリサイズに対するアクセス成功率: SC(3)  
(オリジナルデータ数=400, R=300, 400, 500[m])

ここでは発生するデータ数に対して十分なメモリ容量を確保しているという状況となる。存在するデータ数に対するメモリサイズの割合が大きいため図5に比べて、全体的にアクセス成功率が上昇している。また、メモリサイズが少ない時はわずかにSC方式のアクセス成功率が高いことが示されている。

図5において、SC方式の再配置によるアクセス成功率の向上はほとんどみられないが、メモリサイズが大きい場合および図6ではわずかに向上がみられる。

図5, 図6におけるメモリサイズの大小によるアクセス成功率の違いについて考える。RARでは複製配布範囲のノードすべてが複製を保持するので、周辺でデータ取得が行われると、そのほとんどの複製データを持つこととなる。つまり、ノードは自身の周辺に関するデータを多く保持することになる。また、今回のシミュレーションではデータ要求は近隣へ行われる確率が高いと想定しているため、メモリサイズが大きいときは要求者自身がすでに目的位置に関連するデータを保持している確率が高くなる。その結果、メモリサイズが大きい場合はRARが有利といえる。

一方、SC方式では数ホップおきに複製を配置することで、近隣のノード間で同じ複製データを持たないようにしている。その結果、RARに比べてより多くの種類の複製データを扱うことができる。また、図5ではメモリサイズが70まで、図6ではメモリサイズが30までのとき、RARとSC方式のアクセス成功率は同等の値を示している。このとき、存在するオリジナルデータ数に対するメモリサイズの割合は、およそ2, 3割となる。すなわち、メモリサイズが小さい場合にSC方式はRARと同等の性能を持つといえる。

図7にSC方式( $s=2$ )において複製配布範囲を300[m]から500[m]まで変化させた時のアクセス成功率を示す。メモリサイズが60近辺まではRの差によるアクセス成功率の差が見られない。メモリサイズが70以上のときはR=300[m]におけるアクセス成功率の伸び幅が落ち込むが、R=400[m], R=500[m]には大きな差が見られない。図8に $s=3$ の場合の結果を示す。 $s$ が大きくなったことによって、配置される複製の密度が小さくなり、その結果、アクセス成功率が $s=2$ に比べて低下していることがわかる。

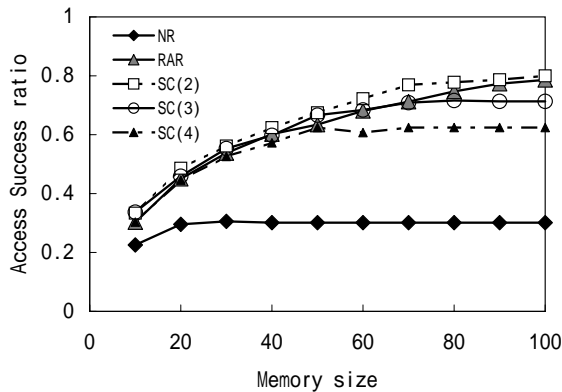


図 9 NR, RAR, SC(s) のアクセス成功率の比較  
(オリジナルデータ数=400, R=500[m])

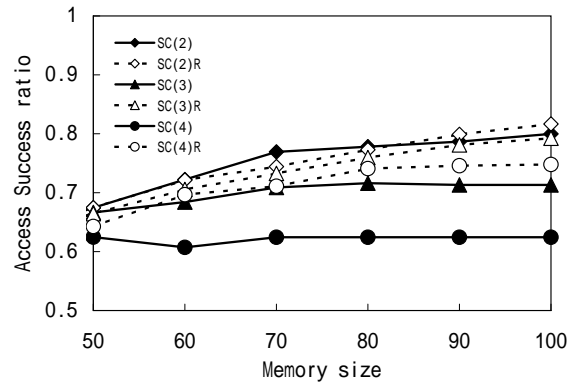


図 11 再配置時のアクセス成功率の比較  
(オリジナルデータ=400, R=500[m])

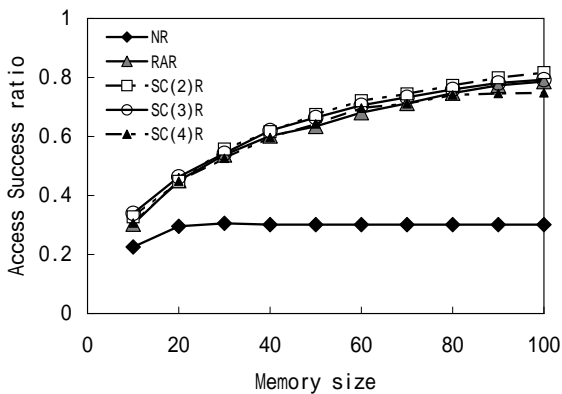


図 10 NR, RAR, SC(s)R のアクセス成功率の比較  
(オリジナルデータ数=400, R=500[m])

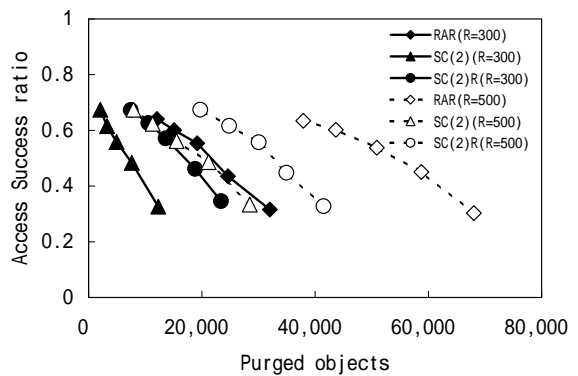


図 12 アクセス成功率とパージ回数の相関図  
(オリジナルデータ=400, R=300, 500[m], メモリサイズ=10~50)

図 9 に  $R=500[m]$  のときの複製密度決定要素  $s$  の変化によるアクセス成功率の推移の図を示す。メモリサイズが 50 までは大きな差が見られないが、50 以上になるとアクセス成功率の差が大きくなった。図 10 に複製の再配置をした場合のアクセス成功率の推移を示す。再配置を行うことで  $R=500[m]$  において複製を行う方式間のアクセス成功率の差がわずかになった。これは再配置を行うことで同一の複製の密度が上昇し、RAR での密度に近づいたためであると考えられる。

#### 4.2 再配置の効果

図 11 に  $R=500[m]$  のときの複製密度決定要素  $s$  の違いによるアクセス成功率の比較を示す。 $s$  が小さいほど、複製が多く配置される傾向にあるため、アクセス成功率は  $s=2$  のときに最も高くなっている。しかし、 $s=2$  の場合に再配置を行っても、アクセス成功率に大きな変化はない。これは  $s=2$  の場合、比較的多くの複製が配置されるので、再配置の効果がほとんどない結果となった。一方  $s=4$  の場合を見ると、図 9 で示されているように、 $R=500[m]$  程度では複製はほとんど配置されず、アクセス成功率が低くなっているが、再配置を適用することで約 10% の向上

が得られる。

以上のことから、再配置は  $R$  が大きく、 $s$  も大きいときほど、適用効果が大きいといえる。

#### 4.3 冗長データの発生割合

図 12 にメモリサイズを 10 から 50 まで変化させたときのパージ回数  $N_p$  とアクセス成功率の相関図を示す。各方式においてメモリサイズが小さいほど、アクセス成功率が低く、パージ回数が多いことがいえる。SC 方式は RAR に比べ、アクセス成功率に関わらず、パージ回数は低く留まっている。このパージ回数は保持した複製データの利用率を示していると考えられる。パージ回数が多いということは、保持した複製データが利用されないうちに新たなデータを保持するために削除される場合が多く発生していることを表しているといえる。また、複製配布範囲  $R$  が広くなるにつれて各方式でのパージ回数は増加し、方式間の差も大きくなるが、アクセス成功率の伸びは少ない。

#### 4.4 トラフィックに関する検証

図 4.4 に  $R=300, 500[m]$  のときにおける 3 方式それぞれの通信トラフィック  $T$  を示す。全体的に通信トラフィッ

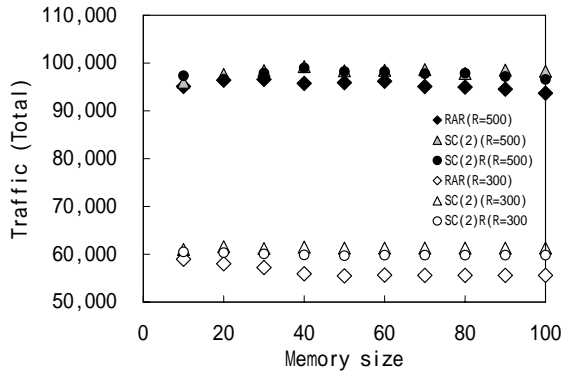


図 13 メモリサイズに対するトラフィック (Total)  
(オリジナルデータ数=400, R=300, 500[m])

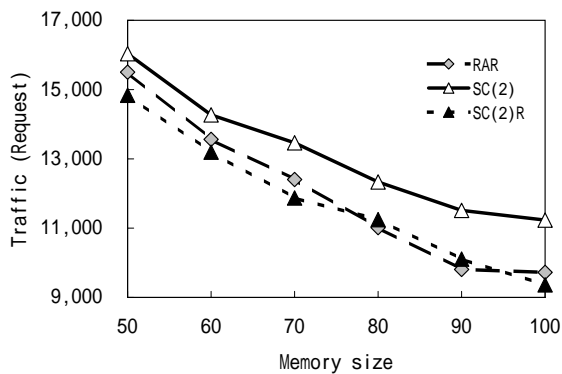


図 14 メモリサイズに対するデータ要求パケットのトラフィック  
(オリジナルデータ数=400, R=300[m])

クはメモリサイズの量に関わらず一定であるが、RAR は SC 方式よりもややトラフィックが少ない。このトラフィックの大部分は複製配布時のトラフィックであり、3 方式ともにフラッシングを複製配布範囲内のみで行っているので 3 方式の複製配布時のトラフィックはほぼ等しい。

図 14 にメモリサイズに対する各方式のデータ要求パケットによるトラフィック量を示す。これより要求トラフィックに関しては RAR が SC 方式に比べて少ないことがわかる。RAR は SC 方式に比べて複製配置の密度が高いため、データ要求をした場合に対象となるデータをすでに自身が所持している確率が高い。一方 SC 方式は複製がまばらに配置されるので、データ要求を隣接端末に対して行う確率の方が高くなる。そのため、RAR の方がデータ要求トラフィックが少なくなり、同様にデータ応答のトラフィックも減少する。しかし、R が大きくなるにつれて複製配布時のトラフィックが増大していくので、RAR と SC 方式の通信トラフィックの差はほとんどなくなっている。

## 5. 検 討

### 5.1 SC 方式の基本性能

SC 方式を適用することで得られる利点はネットワークの分断に対しても、高いデータアクセス成功率を維持すること、そして、過剰な複製の配布を抑制し、端末が持つデータの多様性を保持することである。

図 4, 5 では、メモリサイズが大きいときは RAR の方がアクセス成功率の点で有利に見える。しかし、実環境を想定してみるとそのなかで扱われる情報の種類は非常に多様である一方で、端末のメモリサイズも有限である。SC 方式は少ないメモリを効率よく使用することで多くの種類のデータを扱うことができるので、実環境に対しても高いデータアクセス成功率が期待できる。一方 RAR では高いアクセス成功率を達成するためには、より多くのメモリサイズを必要としてしまう。つまり、実環境のようにデータの種類の多い場合における RAR のアクセス成功率は端末に搭載できるメモリ容量に依存してしまうと考えられる。

また、冗長な複製データの発生割合をみると、SC 方式は RAR に比べて大幅に冗長データ量を抑えている。これは、ネットワーク全体でより多くの種類のデータを保持可能であることを意味している。今回は近隣からのデータアクセスが多いことを想定していたが、扱える情報が多くなるということは、近隣に限らずさまざまな場所からのデータ要求に対応できる可能性も示しているといえる。

SC 方式において配置される複製の数について考えると、これは R に大きく依存し、さらに s が小さいときに複製の密度は高くなる。しかし、R が大きくなることで複製配布によるトラフィックが増加し、s が小さい程保持できるデータの多様性が低下するといえる。そのため、利用ケースを十分に考慮してこれらのパラメータを決定する必要があるといえる。

### 5.2 再配置の適用効果

再配置の利点は端末の移動による複製データの分散、および、端末の移動性に柔軟に対応し、複製データを発生位置周辺に留めることで、位置ベースのデータ要求の成功率を維持することである。

図 11 で示されたように、メモリサイズが大きい場合には再配置付きの SC 方式は、再配置を行わない SC 方式よりも高いアクセス成功率を達成しているが、メモリサイズが小さいときは再配置を行わない SC 方式と同程度またはそれ以下の結果となっている。これは複製の再配置を行うことで冗長な複製データが多くなってしまふことが原因であると考えられる。SC 方式では数ホップおきに複製を保持することで、近隣ノード間で同一の複製を持たないようにしている。ところが、再配置を行うことによって近隣で同一の複製を持つノードが多くなり、配置さ

れる複製の密度が RAR に近づいてしまう。つまり、メモリサイズが小さい場合に再配置付きの SC 方式では RAR と同様に保持するデータの多様性が低下するといえる。

## 6. ま と め

本稿では位置依存複製配布のための SC 方式について、2 層プロトコルの影響を考慮してその有効性について評価を行った。

シミュレーションの結果、SC 方式はメモリサイズが小さい場合に、単純にフラッディングによる複製の配布範囲を限定するよりも、高いアクセス成功率を達成できることが確認できた。また、メモリサイズが大きい場合に再配置の効果があり、特に複製密度決定要素  $s$  が大きい場合に効果があることが確認できた。

SC 方式は、同一の複製データを近接ノード間で保持しないことにより、冗長な複製データの発生を大幅に抑えていることが確認できた。これは扱えるデータの多様性を確保できることを示しており、データ要求が近隣の場所のみならず、一様に行われる場合でも効果がある可能性がある。

トラフィックに関しては、複製配布範囲  $R$  に依存し、方式間に違いが少ない結果となった。これは、ブロードキャストベースの通信方式に依存するところが大きいと予測される。ノードの密度が高い場合に近接ノードのうち 1 つがブロードキャストすれば十分にデータが行き渡るにもかかわらず、すべてのノードがブロードキャストしてしまうため、無駄なトラフィックが発生しているといえる。

また、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れないサイズとしていた。ブロードキャストの影響を確認するためにはより大きいデータサイズでシミュレーションを行う必要がある。また、ノードの移動速度などが、情報を特定の位置に留める効果やブロードキャストによる通信品質に影響を与えるため、これらの点を含めた評価が必要である。なお、今回のシミュレーションでは取得されるデータに新旧の概念は存在しなかったが、今後はこれらを含めより詳細なシミュレーションモデルにおいて SC 方式の評価を行っていく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 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).
- 2) K. Chen and K. Nahrstedt: An integrated data lookup and replication scheme in mobile ad hoc networks, *Proc. of SPIE International Symposium on the Convergence of Information Technologies and Communications* (2001).
- 3) 田森正紘, 石原進, 水野忠則: 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, 情報処理学会研究報告 2001-MBL-18, Vol. 2001, No. 83, pp. 135-142 (2001).

- 4) 田森正紘, 石原進, 水野忠則: 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).
- 5) GloMoSim: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>.
- 6) C. E. Perkins: *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley (2001).
- 7) D. B. Johnson, D. A. Maltz and J. Broch: DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks, in *Ad Hoc Networking*, edited by Charles E. Perkins, Chapter 5, pp. 139-172, Addison-Wesley (2001).