

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 ～データアクセスモデルに関する検討～

土田 元^{†1} 佐仲 貴幸^{†2}
水野 忠則^{†3} 石原 進^{†4}

無線アドホックネットワークでは、端末の移動や無線リンクの状態の変化により、トポロジの変化が頻発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、筆者らはその一方式として SC(Skip Copy) 方式を提案してきた。SC 方式では位置に依存したデータをサーバレスのアドホックネットワークで扱うことを前提として、利用されるデータが Geocast によってアクセスされることを想定し、データの複製をデータ発生源周辺にまばらに配置する。これまでの評価においてはデータへのアクセス要求の発生過程については十分に考えられていなかった。本稿では、データアクセスモデルを考慮して複製配布方式の評価を行い、有効性を確認した。

A replica distribution method for location dependent information on wireless ad hoc networks ～A study on data access model～

GEN TSUCHIDA,^{†1} TAKAYUKI SANAKA,^{†2} TADANORI MIZUNO^{†3} and SUSUMU ISHIHARA^{†4}

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, 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 them. This method distributes location dependent data items requested by geocast around the source location of them, and achieves high accessibility to data while it does not require many redundant replicas. However data access model have not been fully taken into consideration in our past evaluation. In this paper, we evaluate the SC method by detailed simulation including data access models.

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な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。この応用として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。このシステムの利用場面としては、通信インフラに依存しない車々間通信による道路交通情報や街角情報の流通、あるい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収集・交換しながら作業を進める際の情報流通手段としての利用方法を想定している。以降、移動端末が収

集する特定の位置に関連付けられた情報を位置依存情報と呼ぶ。本論文では、アドホックネットワーク上における位置依存情報の収集、共有を効率的に行う手法を検討する。

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障されないため、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¹⁾²⁾³⁾。原は 1) 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。2) ではサーバと要求者の経路上

^{†1} 静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Information, Shizuoka University

^{†3} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

^{†4} 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University

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。3)では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。

筆者らはデータへのアクセス頻度が、データに関連付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として、データの複製をそのデータの取得した端末の位置周辺にまばらに配布する複製配布方式として Skip Copy(SC)方式を提案してきた⁴⁾。SC方式はデータへのアクセス頻度が既知であることを前提とする 1)、データのオリジナルの提供者が既知であることを前提とする 2)とは性質が異なる。ネットワークの分断を予測して事前に複製を配布する 3)の手法とは同様の考え方であるが、データに対する要求が Geocast⁵⁾によって行われることを前提として機構が設計されている点で違いがある。

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、データの発生箇所を考慮したデータ要求の発生過程を十分に考慮していなかった。実際の環境では、要求するデータに関連づけられた位置は、例えば車々間通信や歩行者の情報取得等といった使用環境の違いによって異なってくることが考えられる。提案方式の効果を検討するうえでは、このような使用環境の違いにおけるデータアクセスの違いを考慮しなければならない。

本稿ではデータアクセスの違いを考慮するために、データアクセスモデルを提案し、データアクセスモデルの違いによる SC方式の有効性を検討する

2. SC方式

2.1 想定環境

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、交換を行う状況を想定する。具体的なアプリケーション例としては、車々間通信による交通情報や画像の交換、街中の店でセールを実施中、この店のランチがおいしいといった地域情報、災害復旧や救助活動時の情報流通等がある。このような状況で扱われる情報に注目すると、発生した情報は特定の場所に関係しているものが多い。これらのように特定の位置に関連付けられた情報を位置依存情報と呼ぶ。

アドホックネットワークは動的に構築されるため、位置依存情報の登録、提供のために特定のデータサーバが利用可能であることを想定するのは現実的ではなく、そのようなデータサーバが利用可能であると仮定しても、アドホックネットワークの性質上、位置依存情報の要求者とサーバ間が接続されている保証はない。

問合せ先の固定サーバがない場合、各端末が目的とする位置依存情報を保持しているホストを特定するのは難しいが、位置依存情報がその情報の関連付けられる位置

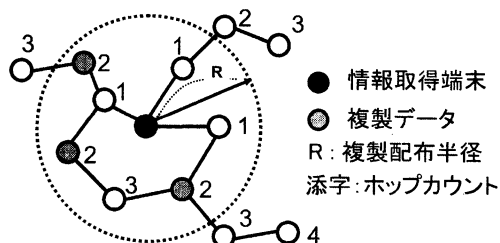


図1 SC方式(s=2)による複製配布

近辺の端末に保持されていることが仮定できるのならば、目的とする位置周辺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る。そこで、本論文ではデータへのアクセス方法として、Geocastによる要求メッセージ転送を前提とする。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手法であり、アドホックネットワークでのGeocastの手法も近年盛んに提案されている⁶⁾⁷⁾。これを利用すれば、要求するデータの保持者が未知の場合でも、位置を特定することで、その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、筆者らはアドホックネットワークにおいて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 SC方式による複製配布

SC方式では、端末間の接続性が保障されないアドホックネットワーク上でのデータ可用性を向上させるため、各端末が出す位置依存情報への要求に対して、適切な応答が高確率で得られることを目的として設計されている。各端末はオリジナルデータを取得後、直ちに周辺にいる端末へ複製データを配布する。

複製データをオリジナルデータ取得端末が直接、または間接的に接続可能な全ての端末に配布した場合を考える。各端末の記憶容量が十分にあれば、確実にデータ可用性は高まるが、記憶容量に制限のある携帯端末では、必ずしも発生した全ての複製を保持することができるとは限らない。このような複製配布は多大なトラフィックを必要とし、同一データの複製が過度に存在する可能性が高い。そのため、接続可能な全ての端末に複製を保持させることは現実的ではない。そこでSC方式では、データの複製をアドホックネットワーク内の端末に数ホップおきに、かつ複製配布範囲を制限して配布することで、複製による記憶容量の圧迫の抑制と同一データの過度な複製配布防止を実現している。パラメータとして複製密度決定要素 s と複製配布範囲 R を定義し、複製は情報取得端末から s ホップごと、かつ情報取得端末から半径 R 内に存在する端末にのみ複製を配布する(図1)。

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情報発生源から離れてしまうため時間の経過とともに、複製を保持している端末は、Geocastによって転送される要求メッ

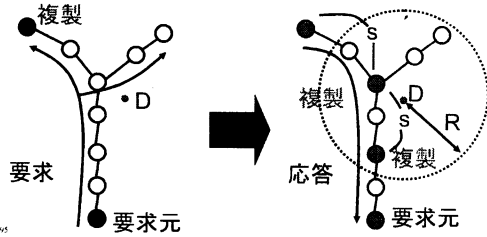


図2 複製の再配置

セージを受け取ることができなくなるため、アクセス成功率が下がることになる。この防止策として複製の再配置(図2)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とした半径 R (複製配布範囲)の円の内部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、Geocastによる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。

3. データアクセスモデル

SC方式はこれまでに4)によりその性能について評価されてきた。しかし、これまでの評価では、データアクセスモデルについて十分な考慮がされていなかった。アクセスされるデータの種別は、想定される使用環境の違いによって異なることが考えられる。例えば車々間通信で使用する場合、あるスポットで発生したデータに対するアクセス、具体的にはある場所で起きる事故や渋滞の情報、デパートの宣伝等に集中することが考えられる。歩行者が使用する場合、移動距離の短さから、比較的自分の近くのエリアで発生したデータに対してアクセスすることが考えられる。このように使用環境の違いによって、データアクセスモデルは変化すると考えられるため、様々なデータアクセスモデルで提案方式を評価する必要がある。

データアクセスモデルとして以下の3つを想定する(図3)。なおここでは、データを要求するあて先の位置の候補が図3で示すような正方形格子で分割された領域として識別されるものとする。

(a) 近隣優先モデル(図3(a))

データの要求はZipfの法則¹⁰⁾に従い、要求を行う端末の現在位置に近い領域に関する情報に対して高い確率で要求を発生するものとする。データ要求を行う端末に対して、 r_i を端末とデータ d_i の発生した領域 i の中心との距離、データが発生する領域数を n とすると、データ d_i に対する要求確率は以下の式のように表される。今回のシミュレーションでは $\theta = 1$ とした。

$$P(i) = \frac{1/r_i^\theta}{\sum_{j=1}^n 1/r_j^\theta} \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (1)$$

θ は調整係数である。式(1)において、 θ が1に近づくほ

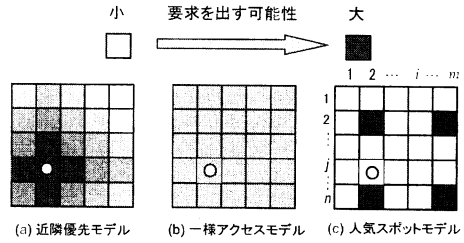


図3 データ要求モデル

どより近隣で発生したデータを優先的に要求する。

(b) 一様アクセスモデル(図3(b))

すべ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。式(1)において $\theta = 0$ とすると一様アクセスモデルとなる。

(c) 人気スポットモデル(図3(c))

全体のうち特定の数%の領域に対して要求を発生する確率が高いものとし、確率 P_h で人気のある領域のいずれかに要求を発生する。人気スポットは次のように決定した。図3(c)に示すような正方形格子における各 $i \bmod 3 = 0$ かつ $j \bmod 3 = 0$ を満たす領域を人気スポットとする。それ以外の領域には確率 $1 - P_h$ で要求を発生する。今回のシミュレーションでは $P_h = 0.9$ とした。

4. 性能評価モデル

後述する3種類のデータアクセス手法について、シミュレーションによる評価を行った。シミュレータとしてGloMoSim⁸⁾を用い、提案手法に基づいた位置依存情報複製配布機構をUDP上のアプリケーションのモデルとして実装した。

4.1 シミュレーションモデル

1000[m] × 1000[m]の2次元平面上に100台の移動端末が存在すると仮定する。このうち50台は、以下で説明するデータ取得および3章で説明したアクセスモデルに従って動作させる。残りはデータの中継および複製配布方式のルールに基づく複製データの保持のみを行う。

MAC層プロトコルにはIEEE802.11を用い、通信帯域幅を2[Mbps]、通信可能半径を100[m]とした。要求、応答、複製配布、全ての通信はブロードキャストで行うので、IEEE802.11DCFにおけるRTS/CTSは使用していない。メッセージの配送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ていない。

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取得モデルに従って現在位置に関連するデータを取得し、必要に応じて他の領域に関連したデータをアドホックネットワークを介して要求する。

移動領域の分割サイズは 100[m] とした。従って 100 箇所から異なるデータが発生することになる。今回はこれらのデータの更新を考慮しないこととする。すなわち、ある時刻 t_1 に端末 i が取得した領域 A に関するデータと別の時刻 t_2 に他の端末 j が取得したデータは同じものとして扱うこととした。各ノードは最大 N 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ノードもデータを保持しない。

4.1.1 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⁹⁾で移動するものとした。パラメータには人の歩行と車の走行を想定し、移動速度をそれぞれ以下の通りとした。どちらの場合でも、Pause Time = 3[sec] とした。

- 人の歩行: $v = 0-2$ [m/s]
- 車の走行: $v = 0-15$ [m/s]

なお、端末の初期位置はランダムに決定した。

4.1.2 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。ノードはデータを取得したらすぐに近隣の端末へ複製を配布する。なお、同じセルで取得されるデータは、発生時刻によらずすべて同一であるものとする。

4.1.3 データ要求モデル

前述の 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、128bytes のヘッダを含んでいるものとする。データ要求モデルは 3 章で述べたモデルを用いる

4.2 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、5) 6) 7) など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。

要求メッセージを送信・中継する端末 i は、宛先の位置と自分自身の現在位置を含んだ要求メッセージを UDP によりブロードキャストする。このメッセージを受信した端末 j は、直前にメッセージを送信した端末 i の位置と宛先の位置、および自分自身の位置と比較して、自分自身が i よりも宛先の位置に近く、かつ応答データを持っていない場合にのみ、受け取った要求を再度ブロードキャストする。また、応答データを持っていた場合は応答データを要求元へ送信する。

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とることとした。各端末は要求メッセージを中継するとき、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

表 1 シミュレーション条件

パラメータ	デフォルト	範囲
領域の数	100	
データサイズ [KB]	1.5	
ノード数	100	50 - 150
v_{max} [m/s]	2	2, 15
Pause Time [s]	3	
通信速度 [Mbps]	2	
通信半径 [m]	100	
複製配布半径 [m]	300	
データ取得間隔 [s]	60	
データ要求間隔 [s]	60	

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。

4.3 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

$$A_s = \frac{A_c}{R_c} \quad (2)$$

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

データ要求を出す端末が、要求メッセージを出してから応答データを受け取るまでにかかった時間の長さである。 T_D の算出はシミュレーション時間全体での A_c においてそれぞれの時間の長さの平均をとった。

5. 結果と考察

前章のモデルに基づき、以下に示す 5 つの複製配布方式においてシミュレーションを行った。

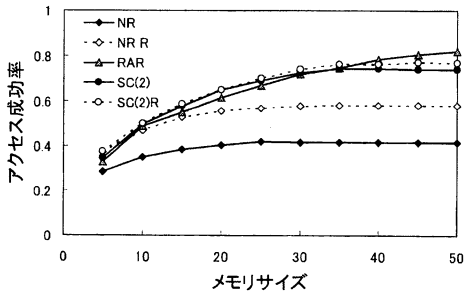
- (1) NR(No Replica): 複製を配布しない。
- (2) RAR(Replica All in R): 複製配布範囲内のノード全てに複製。再配置を行わない
- (3) SC(2): SC 方式 (s=2)、再配置を行わない
- (4) SC(2)R: SC 方式 (s=2)、再配置を行う
- (5) NR-R: 複製の再配置のみ行う。再配置のルールは SC 方式と同じ

シミュレーションはシミュレーション上の時間で 5000 秒行った。このうち最初の 1000 秒間分は定常状態になるまでの猶予期間とし、データ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、各条件において各端末が保持できる最大のデータ数 N (メモリサイズ) を 5 から 50 まで変化させて得たものである。シミュレーション条件を、表 1 にまとめて示す。

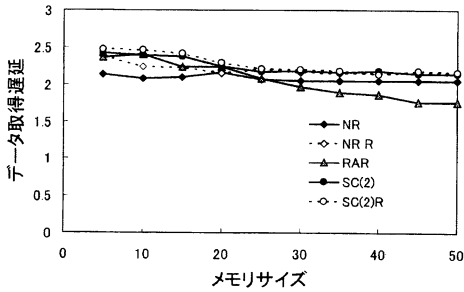
5.1 データアクセスモデルに関する検討

■事前の複製配置の効果

図 4(a)、図 5(a)、図 6(a) にデータアクセスモデルをそれぞれ近隣優先モデル、一様アクセスモデル、人気スポッ



(a) メモリサイズに対するアクセス英効率



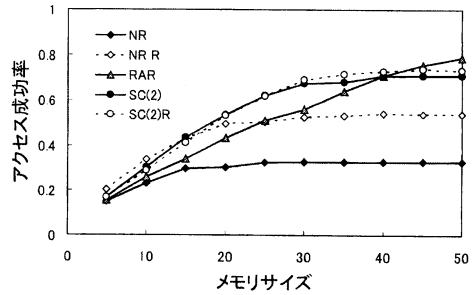
(b) メモリサイズに対するデータ取得遅延

図4 メモリサイズに対するアクセス成功率とデータ取得遅延
(近隣優先モデル, $V_{max} = 2[m/s]$, ノード数: 100)

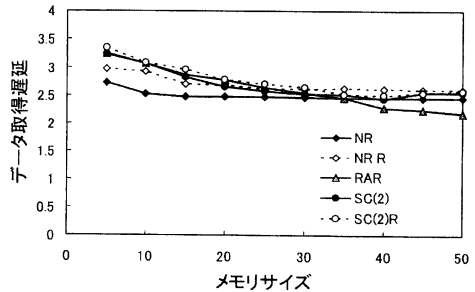
トモデルとしたときのメモリサイズとアクセス成功率の関係を示す。

複製をまったく配布しない NR と比較して、RAR、SC 方式はアクセス成功率が大幅に向上している。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大きくなる。これより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。

データ取得時に複製を配置して再配置もする SC(2)R とデータ取得時に複製配置せず再配置のみを行う NR-R を比較すると、近隣優先モデルや一様アクセスモデルでは、SC(2)R のアクセス成功率が高いが、人気スポットモデルにおいては、メモリサイズが小さいときに NR-R のアクセス成功率が高いことが読み取れる。人気スポットモデルでは、特定箇所が発生したデータに対してアクセスする確率が高い。したがって、頻繁にアクセスされるデータを再配置することでアクセス成功率は向上する。特に NR-R の場合は、事前の複製配布をしないため、データ取得直後にはデータ取得端末以外の端末には複製が保持されていないが、頻繁にアクセスされるデータのみを端末に保持させることができる。一方、SC(2)R では、データ取得に伴い複製が配置されるため、メモリサイズが小さいと、データ取得に伴い近隣の端末から配置された複製が保持されることで頻繁にアクセスされるデータを消



(a) メモリサイズに対するアクセス英効率



(b) メモリサイズに対するデータ取得遅延

図5 メモリサイズに対するアクセス成功率とデータ取得遅延
(一様アクセスモデル, $V_{max} = 2[m/s]$, ノード数: 100)

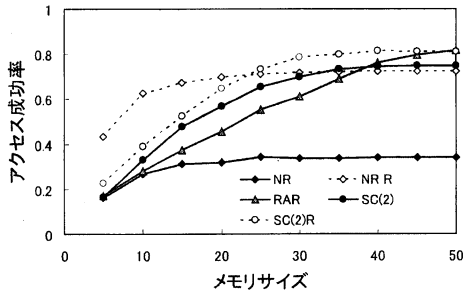
去する可能性がある。このように、特定のデータに対しアクセスが集中し、かつメモリサイズが小さい場合には、SC 方式におけるデータ取得直後の複製配布は有効に働かない。

■複製を再配置する効果

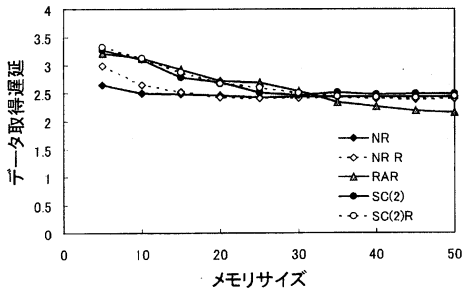
複製の再配置をしない SC(2) と複製の再配置をする SC(2)R を比較した場合、近隣優先モデルと一様アクセスモデルでは、メモリサイズが大きいときに再配置によりアクセス成功率が向上している。これはメモリサイズが大きければ、各端末はその分多種のデータを持つことが可能になるため、到達可能な端末で要求がヒットする確率が高まるからである。一方、人気スポットモデルにおいては、メモリサイズが小さいときでも複製の再配置によってアクセス成功率が向上している。前述の通りこのアクセスモデルの利用時には、全ての頻繁にアクセスされるデータを再配置しているため、端末が保持するデータの多くは頻繁にアクセスされるデータになる。したがって、メモリサイズが小さいときでも再配置の効果が表れる。

■複製の密度を制御する効果

RAR と SC(2) を比較すると、全てのケースにおいてメモリサイズが小さいときに SC(2) のアクセス成功率が高い。特に、一様アクセスモデルや人気スポットモデルにおいて RAR に対する SC(2) のアクセス成功率が大きく上回っている。RAR では、隣接する端末同士でも同じ複製



(a) メモリサイズに対するアクセス効率



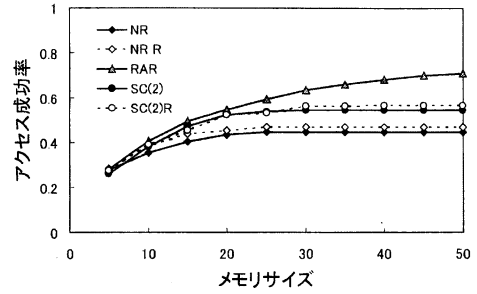
(b) メモリサイズに対するデータ取得遅延

図6 メモリサイズに対するアクセス成功率とデータ取得遅延
(人気スポットモデル, $v_{max} = 2[m/s]$, ノード数: 100)

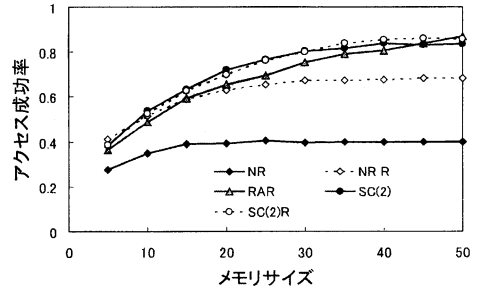
を保持するので、端末上のメモリサイズが小さいときは自分のいる場所近辺の情報しか保持しなくなり、周辺の端末がもつ情報も自分の持っている複製と同じものである可能性が高くなってしまふ。この状態で現在位置から遠い場所で発生したデータに対して要求を出すと、自分の周辺で要求に合致したデータを持つ端末がいる可能性が小さいので、より遠くへ要求が転送される。要求が遠くへ転送されるほど、通信エラーやパケットロスによって、要求そのものが当該データの複製を持つ端末に到達しない可能性が高い。特に一様アクセスモデルや人気スポットモデルは、近隣優先モデルと比べてより遠くへ要求を出す確率が高いモデルであるため、要求が複製を保持している端末に到達することが困難となり、アクセス成功率がよりいっそう低くなる。一方 SC(2) では、隣接する端末間で同じ複製を持たないため、自分の現在位置から遠くで発生したデータを保持している可能性は RAR より高い。したがって、要求がロスすることのない範囲で複製を保持する端末に到達する可能性が高くなる。この結果、SC(2) においてアクセス成功率が大きくなる。

■データ取得遅延

図 4(b), 図 5(b), 図 6(b) にデータアクセスモデルをそれぞれ近隣優先モデル、一様アクセスモデル、人気スポットモデルとしたときのメモリサイズとデータ取得遅延の関係を示す。全てのケースにおいてメモリサイズが大き



(a) ノード数: 50



(b) ノード数: 150

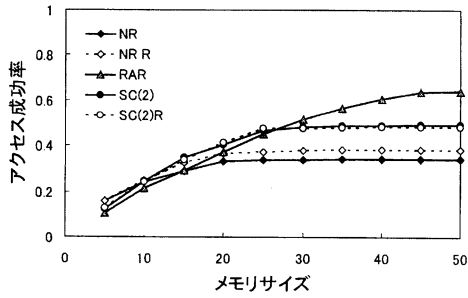
図7 メモリサイズに対するアクセス成功率
(近隣優先モデル, $v_{max} = 2[m/s]$)

いときに RAR のデータ取得遅延が小さいことがわかる。グラフは省略するが、これは、RAR が隣接する端末同士で同じ複製を保持するため、自分が出す要求に合致するデータを自分が持っている確率が他の方式に比べて高いためである。他の方式は、アクセスモデルや複製配布手法の違いによる遅延の差は顕著ではない。

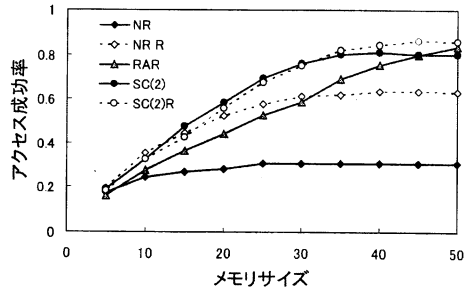
5.2 端末密度に関する検証

図 7, 図 8, 図 9 にデータアクセスモデルをそれぞれ近隣優先モデル、一様アクセスモデル、人気スポットモデルとしたときのメモリサイズとアクセス成功率の関係を示す。それぞれの図において (a) は密度が低い状況, (b) は密度が高い状況でのシミュレーション結果である。

端末密度が高い状況で RAR と SC(2) を比較した場合、SC(2) のアクセス成功率が高くなっている。RAR では隣接する端末同士で同じ複製を保持するため、局所的に見た場合、複数の端末によって保持されているデータの多様性は低くなる。前述のように、自分の現在位置から遠くで発生したデータに対して要求を出す状況では、自分の周辺に要求に合致したデータを持つ端末がいる可能性は小さいので、より遠くへ要求を出すことになる。端末密度が高い状況で、長距離の要求転送が行われると、要求中継ホップ数が多くなり、通信エラーが起る可能性がある。一方、SC(2) では複製の密度を抑制しているため、自分の現在位置から遠くで発生したデータを保持している可能性が RAR より高く、システム全体で保持され

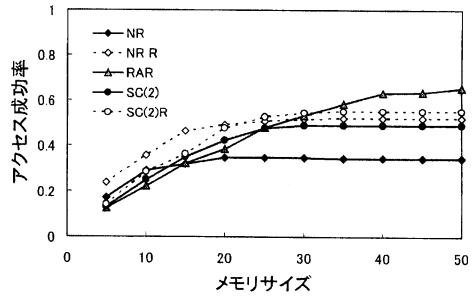


(a) ノード数: 50

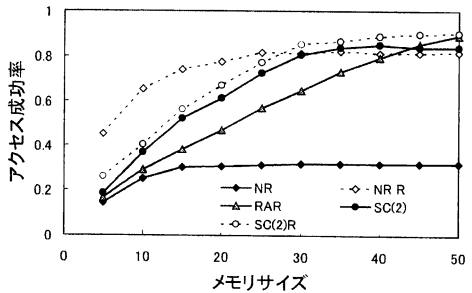


(b) ノード数: 150

図8 メモリサイズに対するアクセス成功率
(一様アクセスモデル, $v_{max} = 2[m/s]$)



(a) ノード数: 50



(b) ノード数: 150

図9 メモリサイズに対するアクセス成功率
(人気スポットモデル, $v_{max} = 2[m/s]$)

るデータは多様性がある状態になる。端末の位置から遠くに要求が転送されるようなアクセスモデルであっても、目的のデータが近くにあり、要求が成功する確率が高くなる。

端末密度が低い場合は、メモリサイズが小さいときは RAR と SC(2) ではアクセス成功率に差がでないが、メモリサイズが大きくなると、RAR が他の方式に比べてアクセス成功率が高くなる。端末密度が低い状態では、端末内で有効なリンクの数が少なくなるために、マルチホップでのアドホックネットワークが形成しにくくなることになる。SC方式では、少なくとも2ホップ先までリンクが繋がっていないと複製が配置されないため、マルチホップネットワークが形成されないと複製が配置できない。一方、RARはシングルホップでも複製配置が可能である。ネットワーク上の複製の数をSC方式に比べて十分多く確保できるため、RARが他の方式よりもアクセス成功率が高くなる。

以上の結論から、端末密度が高い場合には、SC方式に基づく複製の密度の減少がアクセス成功率の向上に寄与するが、端末密度が低い状態では、複製の密度よりも端末間の接続性を重視した複製の配置の工夫が必要といえよう。

5.3 モビリティに関する考察

図10、図11、図12に、各データアクセスモデルにおけるSC方式のアクセス成功率をモビリティで性能比較

したものを示す。近隣優先モデルでは、モビリティが高くなるとアクセス成功率が低くなる一方、一様アクセスモデル、人気スポットモデルではアクセス成功率が高くなる。これは、近隣優先モデルでは、主に自分の近くで発生したデータに対して要求を発生するが、要求に合致する複製を持った端末が速い速度で移動すると、リンクの切断やホップ数の増加により要求するデータを持つホストへの到達性が低くなるためである。一方、一様アクセスモデルや人気スポットモデルでは、要求が近隣優先モデルより遠くへ転送される確率が高い。しかし要求に合致するデータを持った端末が移動することにより、要求者の位置から遠くにいた要求に合致するデータを持つ端末が、要求者に近づく可能性がある。よって人気スポットモデルや一様アクセスモデルではモビリティが高くなるとアクセス成功率が高くなる。

ただし、今回のシミュレーションでは、大容量データの配布については考慮していない。大容量データの配布時に端末間の通信時間が短いことで、データ配布時に通信エラーが起こる可能性がある。

6. まとめ

本稿では、位置依存情報複製配布のためのSC方式について、データアクセスモデル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方式はある程度密度が高

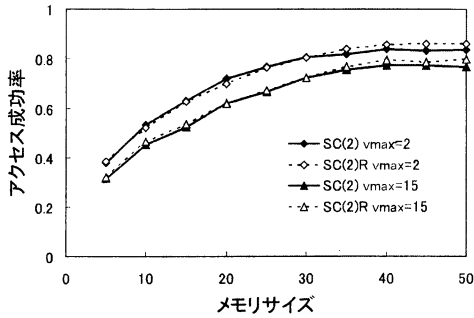


図 10 メモリサイズに対するアクセス成功率
(近隣優先モデル, モビリティによる比較)

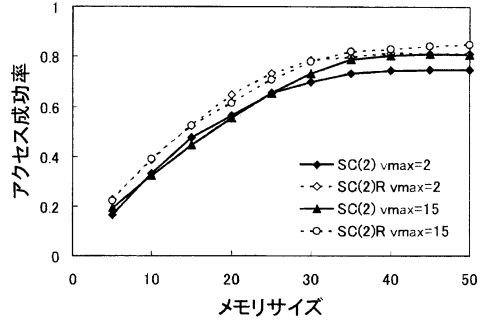


図 12 メモリサイズに対するアクセス成功率
(人気スポットモデル, モビリティによる比較)

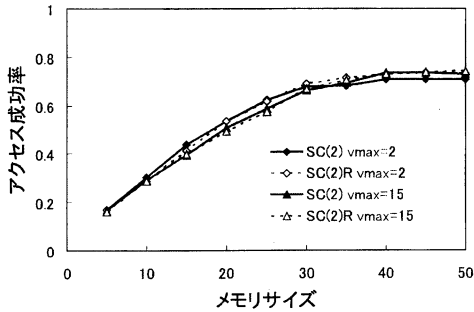


図 11 メモリサイズに対するアクセス成功率
(一様アクセスモデル, モビリティによる比較)

い状況では安定した性能を発揮した。しかし、あらゆる状況において SC 方式で複製配布すればよいというものではなく、状況に応じて複製配布手法を変化させることが望ましいことが確認できた。具体的には、端末密度が低い状態ではまばらに複製配布するよりも複製配布範囲内にいる全ての端末に複製配布したほうがアクセス成功率の観点からはかえって効率がよい。データアクセスが特定の箇所が発生したデータに偏る状況では、前もって複製配布するより、応答時に複製の再配置をするほうが効果的である。しかし、実際の環境を考えると、データアクセスの偏りや端末密度等を留意に判別するのは困難であるため、SC 方式であらかじめ複製を配布することにより、安定したアクセス成功率が実現できると考えられる。

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らないサイズとし、通信範囲等の一部のパラメータは固定していた。またデータのバージョンについては考慮しなかった。今後は、大きいサイズのデータ配送、データ更新に関する処理、より現実に即した移動モデルを考慮した評価が必要である。

謝 辞

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金若手研究 (A) (16680002)、および情報通信研究機構地域提案型研究開発制度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) T. Hara: "Effective Replica Allocation in Ad Hoc Networks for Improving Data Accessibility," in *proc. of IEEE Infocom 2001*, Vol. 3, pp. 1568-1576 (2001).
- 2) G. Cao, L. Yin and C. R. Das: "Cooperative Cache-Based Data Access in Ad Hoc Networks," *IEEE Computer Magazine*, Vol. 37, No. 2, pp. 32-38 (2004).
- 3) K. Chen, and K. Nahrstedt: "An integrated data lookup and replication scheme in mobile ad hoc networks," in *proc. of SPIE Int'l Symposium on the Convergence of Information Technologies and Communications* (2001).
- 4) S. Ishihara, T. Okino, T. Watanabe, T. Mizuno: "Evaluation of the behavior of replication of data associated with locations in ad hoc networks," in *proc. of SCI2004*, Vol. XIV, pp. 29-34 (2004).
- 5) Y. -B. Ko and N. H. Vaidya: "Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms," in *proc. of IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications*, pp. 101-110 (1999).
- 6) Y. -B. Ko and N. H. Vaidya: "Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," in *proc. of Mobile Networks and Applications*, Vol. 7 No. 6 pp. 471-480 (2002).
- 7) C. -Y. Chang, C. -T. Chang, and S. -C. Tu: "Obstacle-Free Geocasting Routing Protocol for Ad-Hoc Wireless Networks," *ACM/Baltzer J. of Wireless Networks*, Vol. 9, No. 2, pp. 143-155, (2003).
- 8) GloMoSim: <http://pcl.cs.ucla.edu/project/gloimosim/>.
- 9) G. Resta and P. Santi: "An Analysis of the node spatial distribution of the random waypoint mobility model for ad hoc networks," in *proc. of the 2nd ACM Int'l Workshop on Principles of mobile computing*, pp. 44-50 (2002).
- 10) G. Zipf: "Human Behavior and the Principle of Least Effort," Addison-Wesley (1949).