

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高信頼化 ～複製配布に関する評価～

佐 仲 貴 幸^{†1} 土 田 元^{†2}
石 原 進^{†3} 水 野 忠 則^{†4}

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することにより、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 方式を提案してきた。SC 方式ではデータの複製をその発生源周辺にまばらに配置し、データの可用性を高める。しかし、SC 方式ではデータの送信にブロードキャストを用いるため、端末の密度が高くなった場合に、無駄なトラフィックが多く発生し、ホップ数に基づいた複製配置では、適切な複製配置とならないことが考えられる。本稿では、これらの問題点に対して転送遅延時間を設定することで、データの中継する端末を削減し、過度な複製配置が起こらないようにする機構を SC 方式に追加し、その評価を行った。また、転送遅延時間の設定に伴い発生する転送待ちデータと複製データの管理についても検討、評価を行った。

High reliability of a replica distribution method for location dependent information on wireless ad-hoc networks

TAKAYUKI SANAKA,^{†1} GEN TSUCHIDA,^{†2} SUSUMU ISHIHARA^{†3} and TADANORI MIZUNO^{†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, 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. But by this method, in order to use broadcasting for transmission of data, when the density of a node becomes high, useless traffic occurs mostly and does not serve as suitable duplicate arrangement by the hop count. We added a mechanism which delays the forwarding of replicas according to the distance from the previous host to the forwarding node to the method in order to avoid an excessive number of the replicas. We examined the effect of this enhancement by simulations.

1. はじめに

基地局などのインフラを利用することなく、無線端末間で動的に形成されるネットワークのことを無線アドホックネットワークという。無線アドホックネットワークでは、無線端末が直接通信できない場合は、各端末がルータのように振る舞い、他の端末を中継することで通信可能となる。アドホックネットワークは、既存のインフラが使えない時でもネットワークが構築できるため、災害時、

軍事、会議の場などへの応用が考えられている。筆者らの研究グループでは、災害発生時に災害現場に展開した救助隊員などが、各部隊の現在位置の被害状況を把握しながら作業を進め、位置に依存した情報を効率的に収集するというシナリオを想定し、アドホックネットワークを利用した効率的な情報共有方法について検討している。

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変化により端末間の接続性が保証されない。その結果、端末間で情報を共有している場合、以前に利用できた情報を他の端末から参照できなくなるという問題がある。図 1 に示すように、ある時点で端末 A が D2 や D3 にアクセスできたとしても、端末の移動によりリンクが切断されてしまうと端末 A は D2 や D3 にアクセスできなくなり、情報の相互利用ができなくなってしまう。そこで、必要な情報の複製を配布し、複数端末で情報を保持

^{†1} 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Information, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

^{†3} 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University

^{†4} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

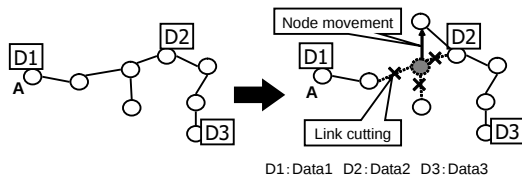


図 1 アドホックネットワークの問題点

することによってネットワーク内の情報の可用性を高めることが考えられている¹⁾²⁾。1)では、各端末からの個々のデータに対するアクセス頻度とネットワークポロジに基づきオリジナルデータを持つ端末以外に情報を配置するという手法が提案されている。2)では、アドホックネットワーク上の固定サーバへのアクセスを想定し、要求端末からサーバへの経路上の端末が、要求されたデータキャッシュを保持している端末への経路をキャッシュする手法を提案している。

筆者らは、複数の移動端末によって収集される位置に関連した情報（位置依存情報）を相互に参照するモデルを前提として、これら位置依存情報の複製を効率的に管理する手法を提案してきた³⁾。3)の手法では、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、情報取得端末の周辺端末に複製を疎に配置する。3)の手法ではこの具体的手法として SC (Skip Copy) 方式を提案し、シミュレーションにより端末の記憶容量節約、ならびにアクセス成功率の向上という効果を確認している。しかし、SC 方式では端末密集時のブロードキャストの頻発、過剰な複製配置といった問題があった。また、大容量の情報を複製配布する場合のパケットロスの発生、Geocast を用いた要求配送の到達性、複数端末による過剰な応答の発生といった問題点があった。ここで Geocast とは、ある特定のエリアにいる端末の集まりにメッセージを送る方法である。SC 方式では複製配布をブロードキャストに依存しているため、端末密度が高い場合には、多くの端末で送信が行われ、無駄なトラフィックの増加、データ衝突による性能低下が懸念される。そこで、筆者らは文献 4) で SC 方式の問題点に対する解決策を提案した。4)では、端末密集時の解決策としてフラッディングによる複製配布時に、端末間の距離に応じて複製のブロードキャストまでの時間、ブロードキャスト実行の有無、および複製保持の可否を制御することで複製配布時の無駄なトラフィックを削減する手法の他、大容量データ配信時のトラフィック削減手法を提案した。本稿では、4)で提案した複製のフラッディング時の遅延の制御によるトラフィック削減手法についてシミュレーションによる評価を行うと共に、転送遅延時間の実装に伴い発生する転送待ちデータを含めたデータ管理について検討した。以下、2 章で SC 方式の概要、3 章で SC 方式の問題点とその解決策を示し、4 章で転送遅延時間とデー

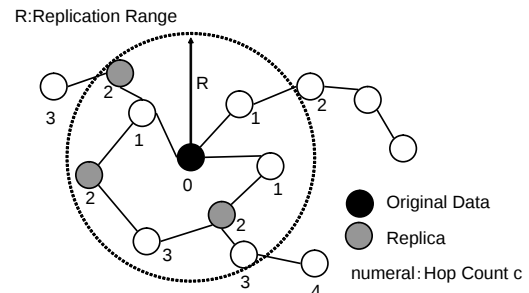


図 2 SC 方式での複製配置（複製密度決定パラメータ $s = 2$ ）

タ管理の関係について述べる。5 章ではシミュレーションモデルについて述べ、6 章でシミュレーションの結果を示し考察を行い、最後に 7 章でまとめを述べる。

2. SC 方式

最初に 3) で提案された SC 方式の概要を説明する。

2.1 複製の配布

SC 方式は、端末間の接続性が必ずしも保たれないアドホックネットワークにおける情報の可用性を向上させるため、個々の端末が生成する位置依存情報への要求に対し、的確な応答が高い確率で得られることを目標として設計されている。アドホックネットワークでは、端末の移動によるリンクの切断が起こるため、SC 方式では、情報の複製を配布しておくことで情報へのアクセス成功率を高める。各端末は端末の現在位置に関連した位置依存情報を生成後、直ちに周辺の端末にその複製を配布する。複製を情報取得端末が接続可能な全端末に配布した場合、各端末の記憶容量が十分にあれば、情報の可用性を高めることができるが、記憶容量に制限のある携帯端末では、必ずしも全ての複製を保持することはできない。また、このような複製配布は多大なトラフィックを必要とする。そのため、全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、情報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配布することで、複製による記憶容量の圧迫を抑制する。また、こうすることで同一データの過度の複製配布を防いでいる。この結果、システム全体での多種類のデータの複製を扱うことができ、情報へのアクセス成功率を高めている。具体的には、複製は情報取得端末から複製配布半径 R 以内にある s ホップごとの端末に保持される（図 2）。

2.2 情報の要求と応答

接続性が保障されないアドホックネットワークでは、固定のサーバに処理を依存しないことが望まれる。しかし、サーバが存在しない場合、個々の端末が取得した位置依存情報をどの端末が保持しているのか知ることは困難である。そこで SC 方式では、情報を情報の発生位置周辺にいる端末に保持させ、ある位置に関連する情報が欲しい

場合には、その位置周辺にいる端末に要求を送信することで情報を手に入れる。SC方式で端末が知っているのは、特定の位置に関する情報をその位置周辺の端末が保持していることのみである。情報を利用したい端末は、利用したい情報の位置をキーとする要求メッセージを Geocast により送信する。すなわち、要求メッセージを情報発生源の位置周辺にいる不特定の端末に向けて送信する。要求メッセージは情報発生源までいくつかの端末を経由し、該当する情報を持つ端末に到達する。該当する情報を保持している端末は、応答メッセージに情報を付加し、要求メッセージ送信者へユニキャストにより返送する。

2.3 複製の再配置

SC方式では、情報取得端末の周辺に複製をまばらに配置することで、情報の可用性を高めている。しかし、時間の経過とともに端末が移動すると、端末によって保持されていた位置依存情報も端末とともに移動してしまう。多くの端末が、それぞれ保持している情報に関連した位置から遠ざかると、ある場所周辺の端末のいずれもがその場所に関連した位置依存情報の複製を保持しない状況が発生しうる。そこで SC方式では、応答返信時に、応答の途中経路上にある端末が複製配布時と同様のルール、すなわち情報発生源位置から複製配布半径 R 以内の応答経路上の端末に s ホップごとに情報の複製を保持させることで、動的に複製の再配置を行い、上記の問題が発生することを防ぐ。

3. SC方式の問題点と解決策

4) で提案した解決策について述べる。ここでは要点だけを抜粋して述べる。

3.1 端末密集時の複製配布

SC方式では、情報の複製配布をフラッディングで行っている。端末密集時には、多くの端末が一斉にブロードキャストを行うため、2層における無線通信の衝突が多発し通信性能が低下してしまう。さらに、端末密集時における SC方式のホップ数を用いた複製配布先の決定を行うと、 s ホップごとに端末が複製を保持するため、多くの端末が複製を保持することになる(図3)。この結果、情報の要求に対して応答する端末が多すぎることで、応答返信時に無線通信の衝突が頻発し、通信性能の悪化をまねく。さらに、多くの端末が同一の複製を保持するため、無駄に記憶容量を浪費してしまい、多種類の情報をネットワーク内で保持できなくなる。これは、要求に対するアクセス成功率を下げる要因となる。

3.2 SC方式の問題点に対する解決策

上述した問題点に対し 4) で提案した解決策を述べる。

3.2.1 ブロードキャストの改善

複製データを受信した複製配布範囲内にいる端末は、すぐに受信したデータをブロードキャストするのではなく、

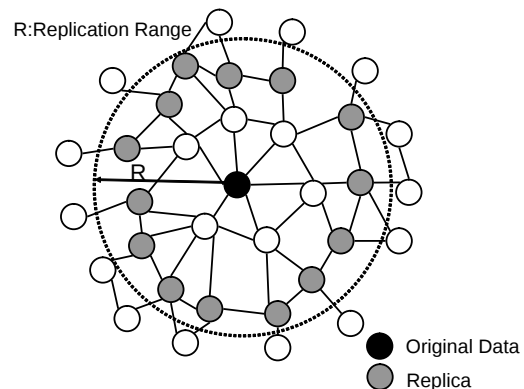


図3 SC方式における端末密集時の複製配置

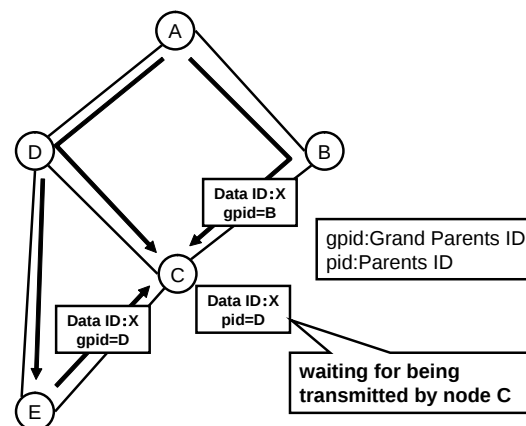


図4 転送キャンセルの方法

前中継端末からの距離を基に転送遅延時間 (T) を設定する。その際、前中継端末から遠い端末ほど短い遅延時間を設定する。さらに、転送遅延時間の設定には端末の移動速度を考慮する。これは、移動速度の大きい端末は安定した通信ができない可能性が高いからである。データを受信した端末は以下の式により遅延時間 (T) を発生させる。 d は前中継端末からの距離、 v は端末の移動速度を表している。 k_v 、 k_d はそれぞれ調整用の係数であり正の実数である。

$$T = \frac{1 + k_v v}{k_d d} \quad (1)$$

転送遅延時間内に隣接する端末がブロードキャストしたデータを受信した場合、受信されたデータが、転送待ちしているデータのデータ ID と一致し、さらに、そのデータの 2 ホップ前の転送元が、転送を待っているデータの 1 ホップ前の転送元と同じ端末であれば、転送待ちのデータの転送をキャンセルする。図4に具体例を示す。端末 A がデータ X をブロードキャストすると端末 C が ADC という経路でデータ X を受信する。その後端末 C が同じデータを別の経路、ABC で受信する。端末 C は端末 B が転送したデータ X を受信しても、送信を待ってい

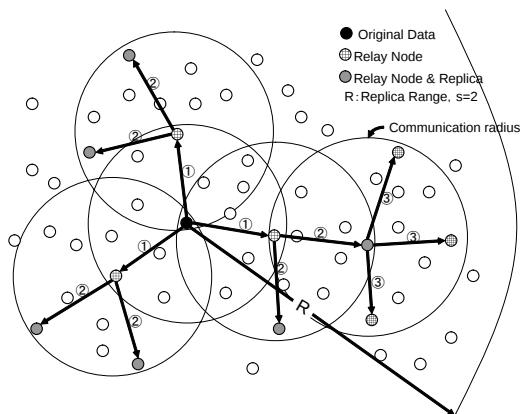


図 5 端末密集時の複製配布の一例

る ADC の経路で受信したデータ X の転送をキャンセルしない。この理由は、端末 C で転送待ちのデータ X の 1 ホップ前の転送元 (=D) と、その後に端末 B により受信したデータ X の 2 ホップ前の転送元 (=A) が異なるためである。端末 C がデータ X の転送を延期している間に、端末 E が転送したデータ X を受信した場合、端末 C はデータ X の転送をキャンセルする。これは、転送待ちのデータ X の 1 ホップ前の送信元 (=D) と、端末 E から受け取ったデータの 2 ホップ前の送信元 (=D) が等しいためである。

3.2.2 複製配布先の決定方法

これまでの SC 方式では、端末の密集時にホップ数にのみ従って複製を保持する端末を決定すると過剰に複製を配置してしまう問題があった(図 3)。上述したように、4) で提案した改善手法ではフラッディングを行う際には転送遅延を発生させて中継端末を決定する。そこで、複製保持端末を決定する際にも、転送遅延により中継端末を決定する機構を応用して無駄な複製が配置されないようにする。すなわち、複製配布範囲内にいる端末で複製メッセージを中継した端末のみが、 s ホップごとに複製を保持するようにする(図 5)。こうすることで、単純な SC 方式を用いた場合に比べて、端末密集時に複製を保持する端末の数を減少させることができ、この結果、多くの端末からの応答を避けることができるとともに、端末の記憶領域を有効活用することで、システム全体でより多くの異なる情報の複製を保持することができる。

4. 転送遅延時間の導入に伴うデータ管理機能の拡張

複製の転送遅延は複製配布に伴うトラフィックの削減を目的としているが、その適用に当たっては、トラフィックの削減効果と複製配布の現実性のトレードオフを行い、適切な遅延を設定する必要がある。また、複製配布時の遅延の導入により、一時的とはいえ、端末の記憶領域が余分に消費されことになる。本章では、複製配布時の遅

延の設定手法と、複製配布遅延の導入に伴う端末上での記憶領域の管理手法について検討する。

4.1 転送遅延時間

式 (1) に示すように前中継端末から遠い端末程、短い転送遅延時間が設定される。しかし、前中継端末を同じくする複数の端末において、この遅延時間の差が小さい場合、前中継端末に近い端末は前中継端末から遠い端末の送信したデータを受信し送信をキャンセルさせることができなくなってしまう。つまり、先に転送を開始した端末からのデータを完全に受信する前にもう一方の端末も送信を始めてしまい、送信がキャンセルできないことも考えられる。しかし、比較的近い端末同士で大きな遅延差を発生させると、前中継端末に比較的近い場所で複製データを受信した端末は、大きな遅延時間を発生させてしまい、複製配布に多大な遅延を要する結果を生んでしまう。

長い転送遅延時間を発生させることは、より確実にデータ転送をキャンセルさせ、複製に伴うトラフィックを減少させる。しかし、転送遅延時間を発生させデータ転送を延期している時は、端末の記憶領域上に、本来他の端末からの要求に応えるために保持している複製に加え、転送待ちの複製データが保持されている。大きな転送遅延時間の発生は端末の記憶容量に大きな負担をかける。転送待ちデータの保持に記憶領域を使いすぎると、本来他の端末からの要求に応えるために保持するための複製保持ができなくなってしまう。

4.2 破棄データの選択

多種類のデータが発生するような環境では、転送待ち機中に転送待ちデータを次々と各端末が受信し、端末の記憶容量が小さい場合には記憶領域を転送待ちデータが多くを占めるような状況になる。データの総容量が端末の記憶容量を上回る場合には、記憶領域内のデータと新しい到着データとの入れ換えを行わなければならない。これまでの SC 方式の評価では LRU 法に基づいてデータを消去する方法や、データの発生位置とそのデータを保持している端末の現在位置の距離が大きいデータを消去していた。しかし、送信遅延時間を設けると、消去対象のデータとして、転送待ちのデータと複製データの両方を考慮する必要がある。ここで、複製データとは、3.2.2 節で述べたルールに従い端末が保持したデータのことである。

転送待ちデータを優先的に保存すると、複製データが消去されアクセス成功率が悪化する。一方で複製データを優先的に保存すると、転送待ちデータが消去され、複製配布が適切に行われなくなる可能性がある。3.2.2 で述べたように、4) では、複製の保持を行うのは、複製配布前の遅延後、複製の配布を実際に行った端末である。つまり、複製データを保持している端末は実際にそのデータ

表 1 データの消去方法

p	転送待ちデータの扱い	複製データの扱い
$p \geq d_p$	消去する	消去しない
$p < d_p$	消去しない	消去する

の転送を行った端末であり、周辺にそのデータを保持している端末がいる可能性は少ない。しかし、ある端末 A が転送しようとしている転送待ちデータに関しては、同じデータを他の端末 B が同じデータの複製を受信して転送待ちしている可能性があり、必ずしもその端末 A が転送する必要はないと考えられる。特に、端末 A にその転送待ちデータを送った端末と端末 A との距離が小さい場合、端末 A より先に他の端末が同じデータを転送することで、端末 A がこの転送待ちデータの転送をキャンセルする可能性が高い。

上記の事をふまえ、端末の記憶領域上に存在する転送待ちデータの割合 (p) が閾値 (d_p) 以上の場合には、転送待ちデータを消去し、 d_p 未満の場合は複製データを消去するようにする。以上を表 1 にまとめる。なお転送待ちデータを消去する際には、転送までの残り時間の長いものを消去する。これは転送までの残り時間が短いものは、前中継端末からの距離が長い可能性が高く、短いものを消去すると効率的な中継端末の選択ができないと考えたからである。複製データを消去する際には LRU 法に従い消去する。

5. 性能評価モデル

シミュレータとして GloMoSim⁵⁾ を用い、SC 方式のモデルに、3 章で述べた SC 方式にの問題点に対する改良手法を追加し性能評価を行った。

5.1 シミュレーションモデル

1000[m] × 1000[m] の 2 次元平面上に 100 個の移動端末が存在すると仮定する。このうち 50 台は以下に説明するデータ取得モデルに従って動作する。残りはデータの中継及び SC 方式のルールに基づく複製データの保持を行う。端末の通信可能半径を 100[m]、すなわち、端末間の距離が 100[m] 以内の端末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。複製配布、要求、応答の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ルーティングプロトコルは使用していない。

データ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位置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する。各端末は最大 N 個のデータ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。

5.1.1 移動モデル

各端末はランダムウェイポイントモデルで移動するものとした。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、端末の初期位置はランダムに決定される。

5.1.2 データ取得モデル

データ取得を行う端末は、平均 60 秒のポアソンモデルに従い、その時端末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端末の存在するセルの中心位置を位置情報として持ち、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。端末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、発生時刻によらず全て同一であるものとする。

5.1.3 データ要求モデル

上述の 50 端末は平均 60 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、128bytes のヘッダを含んでいるとする。

5.2 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)

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

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) は各端末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

複製配布のためのデータ送信回数 (T_{data})、要求データの送信回数 (T_{req})、応答データの送信回数 (T_{rep}) を計測した。

- 複製データ消去数

データの総容量が端末の記憶容量を上回った時に複製データが消された数。

- 転送待ちデータ消去数

表 2 シミュレーション条件

パラメータ	数値
領域の数	100
データサイズ [KB]	1.5
端末数 [KB]	100
v_{max} [m/s]	2
Pause Time[s]	3
通信速度 [2Mbps]	2
通信半径 [m]	100
複製配布半径 [m]	300
平均データ取得間隔 [s]	60
平均データ要求間隔 [s]	60

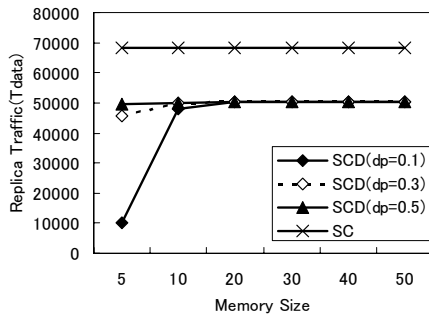


図 6 記憶容量に対する複製配布時のトラフィック (端末数:100)

データの総容量が端末の記憶容量を上回った時に転送待ちデータが消された数。

6. シミュレーション結果と考察

以下に示す 2 つの複製配布方式についてシミュレーションを行った。本稿での評価においては、複製配布時に転送遅延導入によるトラフィック削減に伴うアクセス成功率の変化に注目し、複製の再配置は行わないものとした。

- (1) SC: SC 方式 ($s=2$)、複製の再配置を行わない
- (2) SCD(SC transmitting Delay): 転送遅延を用いた SC 方式

シミュレーション条件を表 2 に示す。式 (1) における速度に関する項は無視し、 $k_v = 0$ とした。また、 $k_d = 0.01$ とした。シミュレーションはシミュレーション上の時間で 10,000 秒間行った。SC、SCD それぞれの方式において記憶容量 (各端末が保持できる最大のデータオブジェクト数) を 5 から 50 まで 6 間隔に変化させた。

6.1 トラフィックに関する検討

図 6 に記憶容量を変化させた時の SC、SCD 方式における複製配布時のトラフィックの変化を示す。凡例に示した SCD 方式のそれぞれの数値は表 1 に示す閾値 (d_p) である。図 6 を見ると SCD 方式は SC 方式に比べ大幅にトラフィックが減少している。SCD 方式は記憶容量が大きくなるにつれて d_p が変化してもトラフィックに大きな変化はない。しかし、記憶容量が極端に小さい場合には SC 方式に比べトラフィックが大きく減少している。特に

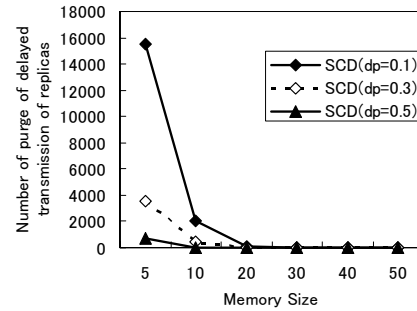


図 7 記憶容量に対する転送待ちデータ消去数 (端末数:100)

記憶領域内で転送待ちデータと複製データのどちらを消去するかを決定する閾値 (d_p) が小さい時にトラフィックの減少幅が大きい。これは優先的に転送待ちデータが消去されるためである。転送待ちデータが消去されることで、消去されたデータについては転送遅延時間経過後、データ転送が行われなくなるためにトラフィックが減少する。記憶容量が大きくなるにつれて、転送待ちデータが記憶領域を圧迫することが少なくなるため、 d_p の値が変化してもトラフィックに大きな変化は見られなくなる。

図 7 は、記憶容量を変化させた時の SC、SCD 方式における転送待ちデータの消去数を示す。 $d_p = 0.1$ の時は転送待ちデータが多く消去されているが、 d_p が大きくなるにつれて転送待ちデータは消去されにくくなる。 $d_p = 0.5$ 以上の場合では転送待ちデータの消去数はほとんど 0 であった。これは d_p の値が大きいため優先的に複製データが消去され、転送待ちデータが消去されることがなかったからである。それに加え、記憶容量が大きくなると、データの総容量が記憶容量を超えることが少なくなったため転送待ちデータが消去されることはなかった。しかし、データの総容量が記憶容量を超える回数の発生頻度は、端末のデータ取得頻度に依存している。そのため、端末によるデータ取得頻度が高い状況においては記憶容量が大きくても転送待ちデータが記憶容量内に多数保持され、複製データの保持に影響を与えることは十分考えられる。 d_p の値が大きい状況では、転送待ちデータが消去されることが少ないために、転送遅延時間のみによってトラフィックが減少し、転送待ちデータが消去されることによってトラフィックは減少していない。

6.2 アクセス成功率に関する検討

図 8 に記憶容量を変化させた時の SC、SCD 方式におけるアクセス成功率の変化を示す。SCD 方式は SC 方式と比べて同等のアクセス成功率を達成している。これは図 6 に示したように複製配布のトラフィックを削減しながらもアクセス成功率を高く維持できたことを示している。閾値 d_p が小さく、記憶容量が極端に小さい場合には、SCD 方式のアクセス成功率が SC 方式のアクセス成功率

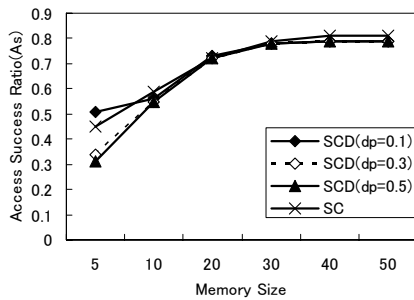


図 8 記憶容量に対するアクセス成功率 (端末数:100)

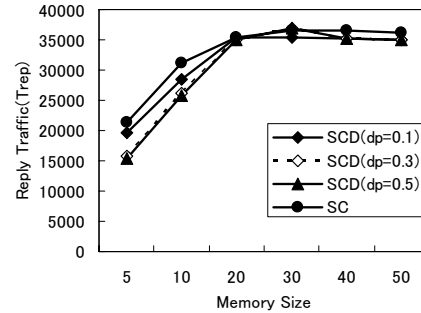


図 10 記憶容量に対する応答データのトラフィック (端末数:100)

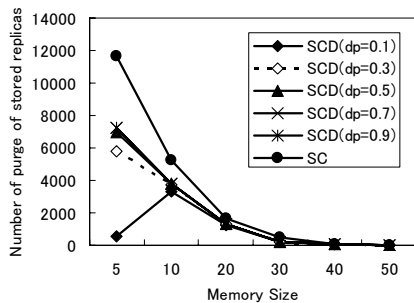


図 9 記憶容量に対する複製データ消去数 (端末数:100)

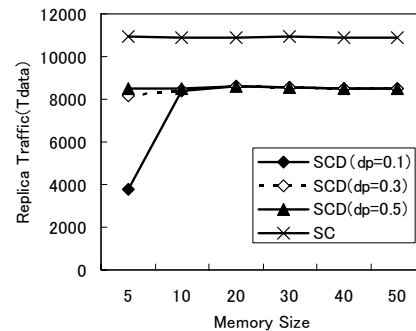


図 11 記憶容量に対する複製データのトラフィック (端末数:50)

を上回っている．これは閾値 d_p が小さいために頻繁に転送待ちデータが消去され，複製データがほとんど消去されなかったためであると考えられる．図 9 に記憶容量を変化させた時の SC，SCD 方式における複製データの消去数の変化を示す． $d_p = 0.1$ の時はほとんど複製データが消去されることはない．図 7 に示すように消去されたデータの大部分は転送待ちデータである．これは閾値 d_p が小さい時は 1 度端末が保持した複製は消去されにくいために，結果的にネットワーク内に多種類のデータが保持できたためアクセス成功率が SC 方式よりも上昇したと考えられる．

転送遅延時間によってトラフィックを減少させると同時に， d_p を小さくして転送待ちデータを多く消去することによって，複製配布のトラフィックを減少させても，アクセス成功率にほとんど変化はない．これは，転送遅延時間だけで無駄なトラフィックを完全にはなくしきれていないことを意味し，さらに複製配布トラフィックを減少させてもアクセス成功率を維持できることを示していると考えられる．また，閾値 d_p が大きくなるにつれてより優先的に複製データを消去するため，記憶容量が小さい時に若干アクセス成功率が減少するが，記憶容量が大きくなるにつれてその差は収束していく．

図 10 に記憶容量を変化させたときの SC，SCD 方式における応答トラフィックを示す．SCD 方式は SC 方式に

比べて記憶容量が小さいときに応答データのトラフィックが減少している．これは図 8 に示すように記憶容量が小さい時，SC 方式に比べ，SCD 方式の $d_p = 0.3$ ， $d_p = 0.5$ の場合にアクセス成功率が低下しているため，応答データの発生が少なく応答トラフィックが減少したものと考えられる．

6.3 端末密度に関する検討

端末密度の違いによる影響を調べるため，端末の移動領域のサイズを同じままで，端末数 50 としてシミュレーションを行った．このうち 25 台は 5.1.2 で述べたデータ取得モデルに従って動作する．残りはデータの中継及び SC 方式のルールに基づく複製データの保持を行う．また，データを取得する 25 台の端末は 5.1.3 で述べたデータ要求モデルに従ってデータ要求を行った．その他の条件は表 2 に示す通りである．図 11 に記憶容量を変化させた時の SC，SCD 方式における複製データのトラフィックの変化を示す．SC 方式に比べ SCD 方式は，複製データの送信が約 2500 回削減されていることがわかる．一方，図 6 に結果を示した端末数 100 台の場合は，SCD 方式では複製データの送信が SC 方式を用いた場合よりも約 20000 回削減されている．これらの結果から端末密度が大きくなるほど SCD 方式によるトラフィック削減効果が大きいたことが分かる．

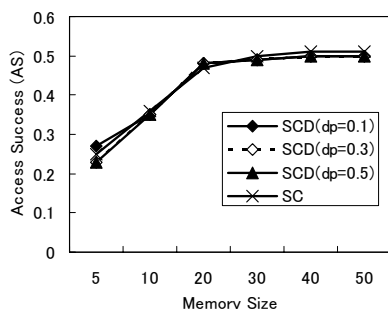


図 12 記憶容量に対するアクセス成功率 (端末数:50)

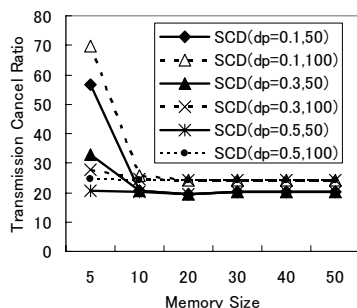


図 13 記憶容量に対する転送キャンセル率

また、図 12 に端末数 50 における記憶容量を変化させた時の SC, SCD 方式におけるアクセス成功率を示す。図 8 に結果を示した端末数 100 台の場合と同様に SCD 方式においても SC 方式と同等のアクセス成功率を達成している。これは、図 11 に示したように、端末の密度が低い場合においても一定のトラフィック削減しながらもアクセス成功率を高く維持できたことを示している。

また、同条件における転送キャンセル率についても評価を行った。図 13 に記憶容量を変化させた時の SCD 方式のキャンセル率を示す。凡例に示した数値は閾値 (d_p) と端末数である。グラフの実線は端末数 50、点線は端末数 100 である。転送キャンセル率は端末密度が 50 から 100 に増えると上昇したが、端末密度の増加割合に比べ転送キャンセル率の増加割合は少なかった。これは 4.1 で述べたように、転送遅延時間の設定が影響している。つまり前中継端末から離れた場所で複製データを受信した端末は、近隣の端末とは遅延時間差が小さいために、他の端末が送信したデータを受信する前に送信を始めてしまった。そのため、端末密度の増加割合に対して転送キャンセル率の増加割合が少なかった。これは、転送遅延時間の設定により無駄なトラフィックを完全に削減できていないことを意味する。

7. ま と め

本稿では SC 方式の端末密集時のフラッディングの効率化、適切な複製配置を実現するため転送遅延時間を用いて複製配布時の無駄なトラフィック削減し、転送遅延によって選ばれた端末が数ホップおきに複製を保持する SCD 方式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、SCD 方式を用いることにより、アクセス成功率を SC 方式よりも悪化させることなく、複製配布に伴うトラフィックを減少させることができた。また、転送遅延時間発生に伴い遅延時間中の転送待ちデータと複製データの扱いについても評価を行った。その結果、記憶容量が十分大きな場合には、転送待ちデータと複製データのどちらを消去するかを決定する閾値 d_p が変化しても、トラフィック、アクセス成功率に変化はほとんど見られなかった。しかし、記憶容量が小さい場合に転送待ちデータを優先的に消去するようにすると、複製データが消去されにくくなり、結果的に多種類のデータが保存でき、アクセス成功率が上昇することが確かめられた。

今後は、転送遅延時間を変化させたときのトラフィック変化と適切な複製配置によるアクセス成功率の上昇についてさらなる検討を行う。また、データ管理を工夫することでより多種類のデータをネットワーク内で扱えるように検討を行う。

参 考 文 献

- 1) T.Hara: "Effective Replica Allocation in Ad Hoc Networks for Improving Data Accessibility Anchorage, Alaska, U.S.A." in proc. of IEEE Infocom 2001, Vol.3, pp.1568-1576 (2001).
- 2) Guobong Cao, Liangzong Yin, Chita R. Das: "Cooperative Cache-Based Data Access in Ad Hoc Networks," IEEE Computer Magazine, Vol.37, No.2, pp.32-39 (2004).
- 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移動体の位置を考慮した複製配布方式," DICOMO2001 シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2001, No.7, pp.31-36 (2001).
- 4) 佐仲貴幸, 土田元, 石原進, 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高信頼化に関する検討," 情報学ワークショップ 2004 論文集, pp.289-296 (2004)
- 5) GloMoSim: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloMosim/>