

端末の移動特性を考慮した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の拡張

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がサーバレスなアドホックネットワーク上で扱われ、それらが 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 Skip Copy (SC) 方式を提案している。また、SC 方式における複製配布トラフィックが増加する問題を解決する SC with transmission Delay (SCD) 方式、低密度なアドホックネットワークにおいて複製を確実に配布する Persistent SC (PSC) 方式を提案してきた。本稿では、これらの手法を各端末の隣接端末数に応じて使い分けるハイブリッド方式について提案する。シミュレーション評価の結果、端末密度にかかわらず、端末の移動速度が大きいときにハイブリッド方式が有効であることが確かめられた。

Expansion of replica arrangement method for location dependent data in consideration of mobility in 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. We have proposed and evaluated Skip Copy (SC) method especially for maintaining location-dependent data. The SC method sparsely distributes replicas of location-dependent data items near the birthplaces of them. We have also proposed SC with transmission Delay (SCD) method which decreases replica distribution traffic and Persistent SC (PSC) method which achieves high access success rate when the host density is low. In this paper, we propose a hybrid method of these two methods in consideration of the number of neighbor hosts. Simulation results show that the hybrid method achieves higher performance on both low and high density network than other methods when hosts moving speed is high.

1. はじめに

近年 GPS 等の普及に伴い、カーナビゲーションシステムや携帯端末等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基地局等のインフラに依存して運用されるため、例えば災害時等の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、無線移動端末等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¹⁾を利用したデータ収集・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、サーバレスなアドホックネットワークにおいて、無線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、各地で発生した位置依存情報はその情報

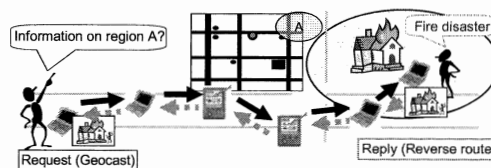


図 1 アドホックネットワークにおける位置依存情報共有アプリケーション SOLA

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

の発生位置周辺に存在する端末によって保持されていると仮定し、ある特定の場所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 Geocast²⁾を用いてデータ要求メッセージを送信する。そして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とで情報の共有を行う (図 1)。SOLA の利用場面の例としては、ITS における道路交通情報や街角情報の流通・共有、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。

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

無線アドホックネットワークの性質上、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、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、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多く提案されている^{3)~6)}。

筆者らは SOLA の環境下において、データアクセス頻度が未知の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 7) で位置依存情報複製配布方式 Skip Copy (SC) 方式を提案している。また SC 方式における問題点である端末密集のブロードキャストの頻発による複製配布時のトラフィックの増大や、低密度時において複製そのものが配布できないといった問題を解決する手法として、それぞれ SC with transmission Delay (SCD) 方式⁸⁾、Persistent SC (PSC) 方式⁹⁾ を提案している。SCD 方式は、端末密度が高い状況において、SC 方式と比較して複製配布トラフィックを削減し、複製配置数を抑えつつ同等のアクセス成功率を得ることができる。PSC 方式は端末密度が低い状況において、SC 方式と比較して複製配布トラフィックは増加するが、アクセス成功率を向上させることができる。しかし、これまでの評価では各手法の性能に主眼を置いて評価していたため、端末が置かれた状況や端末が持つ属性情報を基に各手法を使い分けることについては検討してこなかった。

そこで本稿では、前述した SCD 方式と PSC 方式を隣接端末数に基づいて使い分ける手法について提案する。以下 2 章ではこれまでに提案した複製配布手法の概要について述べ、3 章でハイブリッド手法について述べる。4 章でシミュレーション評価について述べる。5 章で本論文の関連研究について述べ、最後に 6 章で本稿をまとめる。

2. 位置依存情報複製配置手法

本章では、これまでに筆者らが提案した位置依存情報の複製配布方式およびその前提条件について述べる。筆者らが提案している複製配布方式は、前述した SOLA 環境下 (図 1) における運用を前提としている。

2.1 前提条件

SOLA では、以下の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、位置依存情報の収集、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。
- ・端末により各地で生成される位置依存情報に対するアクセス頻度は、未知である。
- ・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

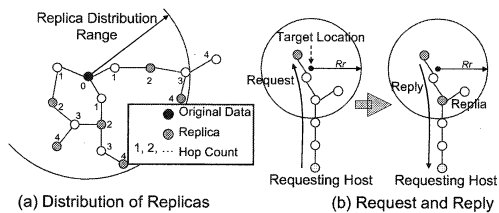


図 2 SC 方式 ($s=2$) による複製配布と要求、応答、複製の再配置 ($s_r=2$)

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

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

SC 方式では移動端末が位置依存情報を生成・取得後、この情報の冗長度を高めるため、直ちに複製を複製配布半径 R 内に存在する他の端末にフラッディングによって配布する (図 2(a))。ただし、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、これを再配布しない。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 (スキップパラメータ) 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。またデータ要求に応える際に、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 以内であるものは複製を保持する。 (図 2(b))。こうすることで、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。また、複製を記憶する領域が一杯の状況で新たなデータを生成または受信した場合、領域内にあるデータのうち最も古いデータを破棄する。

2.3 Skip Copy with transmission Delay (SCD) 方式

SCD 方式では、SC 方式における複製配布の問題点である i) ブロードキャストストームの発生、ii) ネットワーク内に同一の複製が過度に配置されるという点を解決するとともに、アクセス成功率を SC 方式と同程度に維持する。以下 SCD 方式の概要について説明する。

2.3.1 転送遅延時間の設定

SCD 方式では、情報の複製を受信した複製配布範囲内にいる端末は、その複製をただちにブロードキャストするのではなく、前中継端末からの距離および自身の移動速度を基に送信遅延時間 T_{scd} を設定し、その複製の送信を延期する。その際、前中継端末から遠い端末ほど T_{scd}

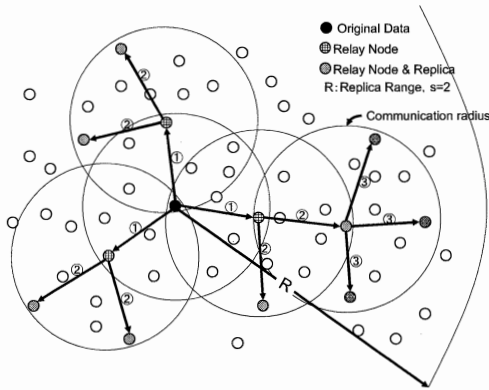


図3 SCD方式における複製配布
Fig. 3 Replica arrangement using SCD method

が短くなるようにする。また端末の移動速度が大きいほど T_{scd} を長く設定する。移動速度の大きい端末は通信中の経路断絶によって安定した通信が出来ない可能性が高いため、 T_{scd} を長く設定し複製転送の機会を少なくする。端末は複製を受信後 T_{scd} 以内に、前中継端末を同じくする隣接端末から、自身が送信延期中の複製の配布メッセージを受信した場合、その複製の送信をキャンセルする。

メッセージを受信した端末は、 T_{scd} に関する前述の条件を満たし、かつ非負の値となるように T_{scd} を計算する。 d を前中継端末からの距離、 v を端末の移動速度として、 T_{scd} を d に対して単調減少、 v に対して単調増加となるように設定する。SCD方式では T_{scd} を式(1)に従って計算している。 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

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

2.3.2 複製配布先の決定方法

SCD方式では、複製保持端末決定の際に、転送遅延時間により中継端末を決定する機構を応用して過度な複製配置を抑制する。複製のフラddینگで使用される中継端末は、他の端末からフラddینگ元の位置にいる端末への中継端末としても適していると考えられる。そこでSCD方式では、複製配布範囲内にいる端末のうち複製を中継した端末のみが s ホップごとに複製を保持する(図3)。また、フラddینگを遅延している間に、隣接端末が複製を配布したことを検知すると、端末は複製の保持および配布を行わない。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、多くの端末に複製が保持させることを避けることができる。

2.4 Persistent Skip Copy (PSC) 方式

PSC方式は、低密度なアドホックネットワークにおける効率的な複製配布を目的として設計されたものである。PSC方式では、各端末が定期的なHelloパケット送信に

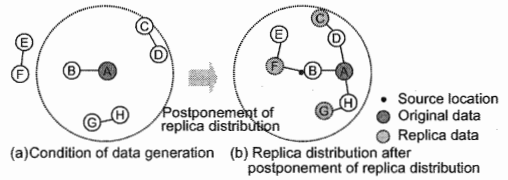


図4 PSC方式による複製配布
Fig. 4 Replica Arrangement using PSC method

よって、周辺に存在する隣接端末数 N を知っていることを前提としている。

図4にPSC方式における複製配布の例を示す。PSC方式ではオリジナルデータを生成した端末は、生成したデータをすぐにブロードキャストするのではなく、隣接端末数 N に基づき、必要に応じてブロードキャストを延期する。オリジナルデータ生成端末は、 N が閾値 D_N 以上であれば生成したデータをすぐにブロードキャストする。 N が D_N 未満となった場合、ブロードキャストを延期する。また複製データを中継する端末は、受信した複製データをすぐに転送するのではなく、前複製送信端末を除く隣接端末数 $N-1$ に基づいて、データ生成端末の場合と同様に複製の転送を延期するかどうかを判定する。ブロードキャストの延期時間 T_{psc} は式(2)によって与えられる。 k_T は調整用の係数で正の定数である。

$$T_{psc} = k_T (D_N - N) \quad (2)$$

複製配布を延期している間に N が更新された場合、 N に応じて式(2)の T を再計算する。再計算された待ち時間を T_1 、最初の転送延期決定からの経過時間を T_2 とすると、 N が更新された後の待ち時間 T_{new} は、

$$T_{new} = T_1 - T_2 \quad (3)$$

となる。 $T_{new} \leq 0$ となった場合は、複製を直ちにブロードキャストする。複製配布を延期している端末が複製配布範囲の外に離れた場合、その端末は、複製配布延期終了後、複製配布範囲の外であっても複製配布を行う。また複製受信端末のうち、送信元からのホップ数がスキップパラメータ s の倍数なら複製を保持する。

3. SCD方式とPSC方式を併用したハイブリッド方式

本章では前述したSCD方式とPSC方式について、隣接端末数に応じて使い分けるハイブリッド方式について検討する。

SCD方式は端末密集時における複製配布トラフィックの削減を目的とした複製配布方式であり、PSC方式は周辺の端末密度が低い状況において確実な複製配布を行うことを目的とした複製配布方式である。このため、端末密度が高い場合にSCD方式を使い、端末密度が低いときにPSC方式を使うことで、端末密度によらずアクセス成功率を達成することが期待できる。

この方式では、データを生成または受信した端末は自

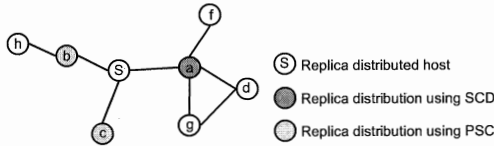


図5 ハイブリッド方式の例 ($D_N = 3$)
Fig. 5 Example of the Hybrid method ($D_N = 3$)

身の隣接端末数 N に基づいて複製配布を SCD 方式で行うか PSC 方式かを判断する。 N は PSC 方式と同様に定期的な Hello パケット送信により得られるものとする。 N が閾値 D_N 以上の場合、SCD 方式を用いて複製配布を行う。 SCD 方式での複製配布延期中に、他の端末から転送待ちデータと同一のデータを受信した場合は、そのデータの転送をキャンセルする。複製配布に SCD 方式を用いた場合、データを中継しかつ送信元からのホップ数がスキップパラメータ s の倍数なら複製を保持する。 N が D_N 未満の場合は PSC 方式を用いて複製配布を行う。 PSC 方式での複製配布延期中に N が D_N 以上になった場合は直ちに複製配布を行う。複製配布に PSC 方式を用いる場合、複製を中継したかどうかにかかわらず、送信元からのホップ数が s の倍数なら複製を保持する。

ハイブリッド方式では PSC 方式と同様に隣接端末数 N と閾値 D_N を用いて複製配布を制御する。これは以下の理由による。 PSC 方式では、 $N \geq D_N$ の場合、オリジナルの SC 方式と同様に複製到着後直ちにそれをブロードキャストする。 N が大きい、すなわち周辺の端末密度が高いと、複製配布トラフィック増加と複製の過剰配置を招く。このためハイブリッド方式では、 N が D_N 以上の場合 SCD 方式を使って複製配布を行う。

図5にハイブリッド方式における複製配布の例を示す。隣接端末数の閾値 D_N は3である。図5において、端末 S が複製を送信したとすると、端末 a, b, c がこれを受信する。ここで、端末 a, b, c の隣接端末数 N はそれぞれ4, 2, 1である。端末 a では $N > D_N$ なので、SCD 方式を用いて複製配布を行う。つまり a は S からの複製受信後、送信端末 S からの距離と自身の移動速度から、式(1)で求められた時間 T_{scd} だけ複製配布を延期する。図5の例では、端末 a に対し、 a が転送待ちをしている複製と同じものを送信する端末はいないため、 T_{scd} 経過後、 a は複製をフラディングする。一方端末 b, c は $N < D_N$ なので、PSC 方式を用いて複製配布を行う。 S から複製受信後、 b, c は自身の隣接端末数 N から式(2)を用いてそれぞれ複製配布保留時間 T_{psc} を求め、その時間分複製配布を保留する。複製配布保留中に N の増減を検知した場合、式(2)、(3)より複製配布保留時間を再計算する。時間経過や、保留時間の再計算により残り複製配布保留時間が0以下になったら、端末 b, c は複製をフラディングする。

4. 性能評価

シミュレーションにより提案方式の性能の基礎評価を行った。シミュレータとして JIST/SWANS¹⁰⁾ を用いた。本評価では、端末密度と移動速度の影響について注目する。

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 n 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¹¹⁾で移動する。最小移動速度は 1 [m/s]、最大移動速度は v_{max} [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 100 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。取得されるデータは、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。

領域の分割サイズは 100[m] とした。従って 200 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} を与える。生成から T_{TTL} だけ時間が経過したデータは記憶領域から削除される。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。本稿では T_{TTL} を 500[s] とした。

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生成された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一様アクセスモデルを用いる。一様アクセスモデルとは、全ての分割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

要求メッセージの送信には Location Based Multicast²⁾を用い、メッセージは目的領域の中心に向かって転送される。要求する領域を Geocast Region に設定する。Forwarding Zone は、要求生成端末と Geocast Region を囲み、かつ各辺がシミュレーション領域全体の各辺と平行な最小の矩形領域とする。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。

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。データ応答時にその経路情報を参照し応答をユニキャストで送信する。

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

$$A_S = \frac{A_C}{R_C} \quad (4)$$

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。

- 通信トラフィック

複製配布、要求送信、応答送信にともなうパケット送信回数を測定した。

評価する複製再配置方式は以下の 3 通りである。

- (1) SCD: SCD 方式。今回の評価において、式 (1) における調整用計数は $k_d = 0.01$ 、 $k_v = 1$ とした。
- (2) PSC: PSC 方式。今回の評価において、式 (2) における調整用計数は $k_T = 5$ とした。
- (3) Hybrid: 3 で提案したハイブリッド方式。式 (1)、(2) における調整用計数はそれぞれ $k_d = 0.01$ 、 $k_v = 1$ 、 $k_T = 5$ とした。

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。端末の記憶容量は 50 とした。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 128Byte とした。また、各方式における複製配布半径 R 、複製再配布半径 R_r

表 1 シミュレーション条件

Parameter	Default value	Range
Number of cells	200	
Data size[KB]	1.5	
Number of nodes	400	
$v_{\max}$ [m/s]	10	2, 10
Pause Time [sec]	3	
Bandwidth [Mbps]	11	
Communication range [m]	105	
Replica distribution range R [m]	300	
Distribution skip parameter s	2	
Replica arrangement range R_r [m]	300	
Arrangement skip parameter s_r	2	
T_{TTL} [sec]	500	
Data generates interval [sec]	100	
Data requests interval [sec]	100	
Memory size M	50	
Hello interval[sec]	30	29 - 31

をそれぞれ 300[m]、スキップパラメータ s 、 s_r をそれぞれ 2 とした。

4.2.1 複製配布トラフィックへの影響

図 6 に端末数を変化させたときの提案手法、PSC 方式、SCD 方式における複製配布に要したトラフィックの変化をそれぞれ示す。図中には端末の移動速度が $v = 10$ [m/s] のときと $v = 2$ [m/s] のときの結果を示した。凡例に示した提案方式、PSC 方式のそれぞれの数値は式 (2) における隣接端末数の閾値 D_N の値である。

図 6 を見ると、移動速度の違いによらず Hybrid 方式は D_N の値が同じ PSC 方式に比べてトラフィックが減少している。提案方式では隣接端末数 N が D_N 以上の場合、複製配布トラフィック削減を行う SCD 方式を用いて複製配布を行う。一方、PSC 方式では N が D_N 以上の場合はオリジナルの SC 方式と同様に複製到着後直ちにそれをブロードキャストするため、トラフィックが削減されない。このため提案方式の複製配布トラフィックが PSC 方式よりも減少する。また提案手法と SCD 方式のトラフィックを比較すると、 $D_N = 2$ のときは両者のトラフィックは同程度であり、 $D_N = 4$ のときは SCD 方式よりも提案手法の方がトラフィックが多い。

4.2.2 アクセス成功率に対する影響

図 7 に端末数を変化させたときの提案手法、PSC 方式、SCD 方式におけるアクセス成功率の変化を示す。複製配布トラフィック以外の条件は図 6 と同一である。

図 7 を見ると、移動速度が大きい場合 (図 7(a)) に、提案方式のアクセス成功率が端末密度によらず他の手法よりアクセス成功率が高い。また移動速度が大きい場合における端末密度による性能の違いに注目すると、端末密度が低い場合は提案手法、PSC 方式のアクセス成功率が SCD 方式よりも若干高く、端末密度が高い場合は提案方式と SCD 方式のアクセス成功率が PSC 方式よりも高いことがわかる。移動速度が小さい場合に注目すると、端末数が 200 以上の場合に提案手法と SCD 方式がほぼ同等のアクセス成功率で、PSC 方式よりも高いことがわかる。

移動速度が大きい場合の結果について複製配布トラ

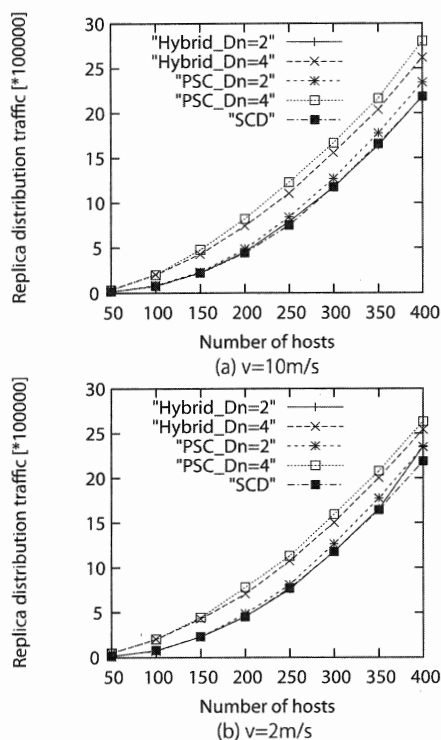


図6 複製配布トラフィックと端末数の関係
Fig. 6 Replica distribution traffic vs. number of hosts

フィックとあわせて考察する。提案方式 ($D_N = 4$) と PSC 方式 ($D_N = 4$) を比較すると、ネットワーク全体の端末数によらず、提案方式の方がアクセス成功率高く、複製配布トラフィックが少ない。また提案方式 ($D_N = 4$) と SCD 方式を比較すると、ネットワーク全体の端末数によらず、複製配布トラフィックは提案方式の方が多いが、アクセス成功率は提案方式の方が高い。特に端末数が 200 以下の場合にその傾向が顕著に表れる。SCD 方式では、端末密度の大小によらず、転送待ち複製データと同一の複製を受信したときに、複製配布をキャンセルすることで複製配布を抑制している。このため全体の端末密度が低くても、局所的な端末密度が高い場合、複製配布を抑制してしまう。全体の端末密度が低いときに複製配布を抑制すると、本来配布すべき複製の配布を抑制する可能性がある。一方 PSC 方式を用いると、複製配布の抑制は行わないため、端末密度が低い状況であっても、多くの複製を配布できる。このため、全体の端末密度が低い状況では、提案手法のアクセス成功率が SCD 方式よりも高くなる。

移動速度が小さい場合の結果について複製配布トラフィックとあわせて考察する。提案方式 ($D_N = 4$)、PSC 方式 ($D_N = 4$) と SCD 方式を比較した場合、アクセス成功率は提案手法と SCD 方式がほぼ同等で、PSC 方式

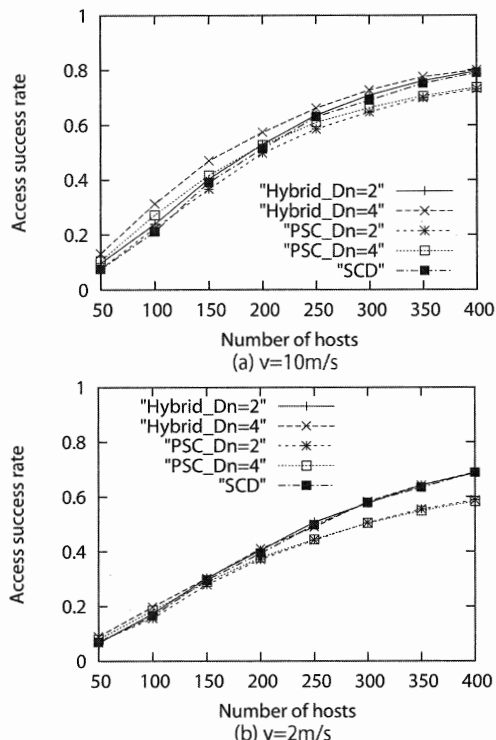


図7 アクセス成功率と端末数の関係
Fig. 7 Access success rate vs. number of hosts

よりも高い。またトラフィックは SCD 方式が最も少なく、次いで提案方式、PSC 方式の順である。移動速度が低いとトポロジの変化が乏しいため、複製配布を保留しても新たな複製配布先端末が現れにくい。この場合、PSC 方式では複製配布保留時間経過後に複製配布が行われるが、その複製を受信する相手がいないため、複製が配置されない。そのため、PSC 方式は複製配布トラフィックは増加するがアクセス成功率が低い。提案方式は、 N に応じて SCD 方式と PSC 方式を使い分けられているため、複製配布トラフィックは PSC 方式より少ないが、PSC 方式併用の影響により SCD 方式よりもトラフィックが増加する。以上よりアクセス成功率が向上しなかった原因、低移動速度かつ低端末密度の状況で PSC 方式を用いて、隣接端末の有無にかかわらず複製の送信を試みていることだといえる。

4.2.3 要求・応答トラフィックに対する影響

図8、図9に端末数を変化させたときの提案手法、PSC 方式、SCD 方式における要求送信、応答送信に要したトラフィックの変化をそれぞれ示す。要求、応答トラフィック以外の条件は、図6、図7と同一である。

図8より、端末密度が高い状況において、提案方式と SCD 方式の要求トラフィックが PSC 方式よりも大きいことがわかる。これは、PSC 方式と比較して、提案手法、

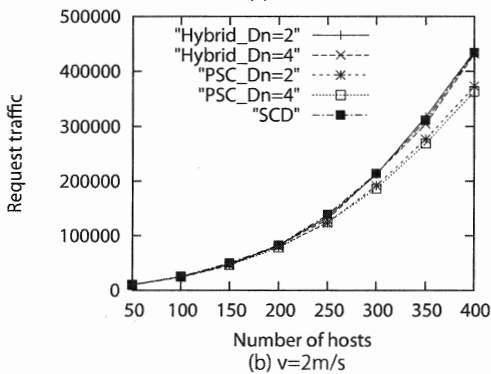
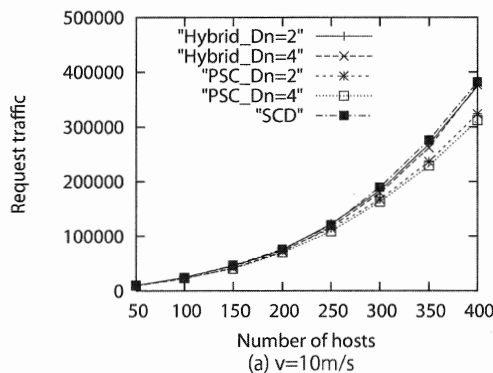


図 8 要求トラフィックと端末数の関係
Fig. 8 Request traffic vs. number of hosts

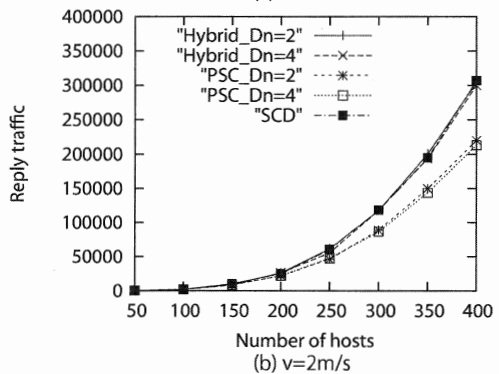
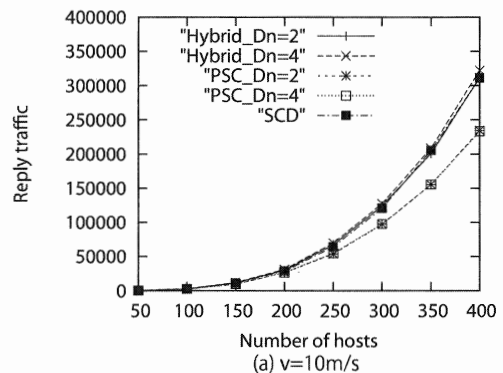


図 9 応答トラフィックと端末数の関係
Fig. 9 Reply traffic vs. number of hosts

SCD 方式では複製配布を抑制することで、ネットワーク上に存在する複製の数が少なくなる。この結果、複製保持端末までのホップ数が長くなるためである。ただし、要求メッセージは複製配布メッセージや応答メッセージと比べてサイズが小さいことを考えると、提案手法で要求メッセージのトラフィックが大きいことは、提案手法の有効性に大きな影響を及ぼすものではないと考える。

図 9 より、端末密度が高い状況において、提案方式と SCD 方式の要求トラフィックが PSC 方式よりも大きいことがわかる。これは前述したように、提案手法、SCD 方式ではネットワーク上に存在する複製の数が少なく、複製保持端末までのホップ数が長くなるためである。PSC 方式の応答トラフィックが小さい理由は、PSC 方式では他の方式と比較して 1 つのデータに対してより多くの複製を配布するため、データ要求が成功する場合、データ要求端末から近い端末が複製を保持している確率が高いためである。

5. 関連研究

本章では、本論文の関連研究について述べる。関連研究は以下の 2 つに大別される。

- (1) アドホックネットワークにおける複製配布手法
- (2) アドホックネットワークを利用した位置情報提供

サービス

5.1 アドホックネットワークにおける複製配布手法

Hara は文献 3) 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、省電力手法⁴⁾の検討を行っている。Yin 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。Chen らは文献 6) 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。

これらの手法はそれぞれ、データのアクセス頻度やデータの保持者が既知であることを前提としている。一方筆者らの手法は、位置依存情報を前提としている点、データのアクセス頻度が未知な状況を前提としている点でこれらの手法とは異なる。

5.2 アドホックネットワークを利用した位置情報提供サービス

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, Yashiro が文献 12) で提案している Nomadic Agent (NA) や, Maihofer らが文献 13) 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。

6. ま と め

本稿では, 筆者らがこれまでに提案した位置依存情報複製配布方式のうち, 高密度なアドホックネットワークにおける複製配布トラフィック抑制手法 SC with transmission Delay (SCD) 方式と, 低密度なアドホックネットワークにおいて複製を確実に配布する手法 Persistent SC (PSC) 方式のハイブリッド方式を提案した。提案方式では, 各端末がその隣接端末数に応じて SCD 方式と PSC 方式を使い分ける。提案手法についてシミュレーションにより性能評価を行った結果, 提案手法は端末密度によらず, 端末の移動速度が大きい状況において既存の手法より高いアクセス成功率を示した。一方端末の移動速度が小さい場合には, 複製配布トラフィックが増加するもののアクセス成功率の向上は得られなかった。これは, 低移動速度かつ低端末密度の状況では, PSC 方式を用いると隣接端末の有無にかかわらず複製の送信を試みていることが原因であると考えられる。端末密度だけでなく, 端末に移動速度を用いた複製配布方式の切り替えを行えば, このような状況を避けることができると考えられる。今後は, 端末の移動速度も用いたハイブリッド方式について検討する。

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) 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., 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) Hara, T. and Madria, S. K.: Data Replication for Improving Data Accessibility in Ad Hoc Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 5, No. 11, pp. 1515–1532 (2006).
- 4) Shinohara, M., Hara, T. and Nishio, S.: Data Replication Considering Power Consumption in Ad Hoc Networks, *8th International Conference on Mobile Data Management* (2007).
- 5) Yin, L. and Cao, G.: Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks, *IEEE Transaction on Mobile Computing*, Vol. 5, No. 1, pp. 77–89 (2006).
- 6) 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 Technologies and Communications* (2001).
- 7) 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, 電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol. J88-B, No. 11, pp. 2214–2227 (2005).
- 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) 土田元, 石原進: 無線アドホックネットワークにおける近隣端末情報を利用した位置依存情報複製配布スケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 12, pp. 3234–3243 (2006).
- 10) JiST – Java in Simulation Time / SWANS – Scalable Wireless Ad Hoc Network Simulator. : <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>.
- 11) Perkins, C. E.: Ad Hoc Networking, *Addison-Wesley* (2001).
- 12) Yashiro, T.: A New Paradigm of V2V Communication Services Using Nomadic Agent, *2nd International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications 2006 (V2VCOM 2006)*, pp. 1–6 (2006).
- 13) Maihofer, C., Leinmuller, T. and Schoch, E.: Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks, *2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005)*, pp. 20–29 (2005).