

アドホックネットワークにおける過去の通信成功記録および目的地への到達性を考慮した Geocast の効率化

野本明寛[†] 土田元^{††} 石原進^{††}

筆者らは、アドホックネットワークにおいて Geocast によるデータ要求に対する応答が返信される環境を対象としたフラッディングベースの Geocast の効率化手法 Geocast scheme based on Successful Transmission Records(GSTR) を提案している。GSTR では、geocast で送信した要求に対して応答が返される環境下において、宛先の領域に送った要求に対する応答の転送を行ったか否かの記録-通信成功記録-に基づいて要求の geocast 時のパケット送信タイミングを制御することで、重複パケットの発生を抑制する。本稿では、要求に対する応答が返されたかどうかに加え、目的地への到達性を考慮してパケット送信タイミングを制御することにより GSTR を改善し、シミュレーションによる性能評価を行ったのでその報告をする。

A Geocast scheme based on Successful Transmission Records with reachability to destination area on Wireless Ad Hoc Networks

AKIHIRO NOMOTO,[†] GEN TUCHIDA^{††} and SUSUMU ISHIHARA^{††}

We have proposed an improved flooding based geocast scheme, Geocast Scheme based on Successful Transmission Record (GSTR) for environments where reply messages to a query message sent by geocast are sent back to the sender of the query. In GSTR, transmission timing of broadcast of query packets is controlled using records of that the node has forwarded reply messages to query messages which have been sent to the same geographical destination. Using this strategy, the GSTR avoids redundant transmission of broadcast packets transmission from multiple nodes. We propose an improvement scheme of GSTR which controls the packet transmission timing using the prediction of the reachability to the destination of a forwarding packet. The simulation results show the GSTR and its variants slightly improve access success rate of query messages.

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などを配信する様々なサービスがインフラに依存する形で運用されている。しかし、これらのサービスは、災害時などインフラの運用が難しい環境や車車間通信においての運用は難しいといえる。こうした背景の下、インフラに依存せず移動端末のみでアドホックネットワーク上において渋滞情報や街角情報など特定の位置に関連付けられた情報（位置依存情報）を共有するサービスが期待されている。

位置依存情報配信サービスの一例として、アドホックネットワークを構築する各端末が各地で移動先で位置依存情報を収集し、これを共有するアプリケーションがある。筆者らはこのようなアプリケーションを SOLA (System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc networks) と定義している。SOLA では完全にサーバレスな環境を想定しているため、他の端末がどのような

情報を保持しているかは分からない。そのため、ある地点に依存した情報はその地点にいる端末が保持しているのみとし、特定の地点の位置依存情報の要求を行う端末は、その地点に向けて Geocast により要求メッセージを転送し、目的のデータを保持する端末から応答を返してもらうことにより情報の共有を行う（図 1）。このような環境において、筆者らは各端末がデータの取得時にデータの複製配布を行うことでデータの可用性を高める研究を行っている¹⁾²⁾³⁾。

Geocast はユニキャストベースの手法とフラッディングベースの手法に大別される。ユニキャストベースの手法は、hello パケットを用いて近隣端末と互いの位置情報を交換しておき、近隣端末の中で転送する端末を選択し、ユニキャストで Geocast Region までメッセージを転送した後、Geocast Region 内でパケットをフラッディングすることにより Geocast Region 内のすべての端末にパケットを転送する。

一方、フラッディングベースの Geocast では、フラッディングを用いて複数の経路でメッセージを Geocast Region に届ける。フラッディングベースの手法の一例として、Location Based Multicast(LBM) がある⁴⁾。LBM では、少なくとも送信元と Geocast Region を含む Forwarding

[†] 静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

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

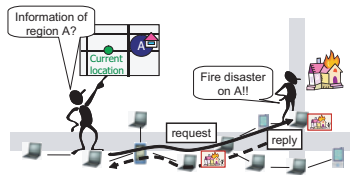


図1 アドホックネットワークにおける位置依存情報共有システム
Fig.1 A System for Sharing Objects with Location information on Ad-hoc networks

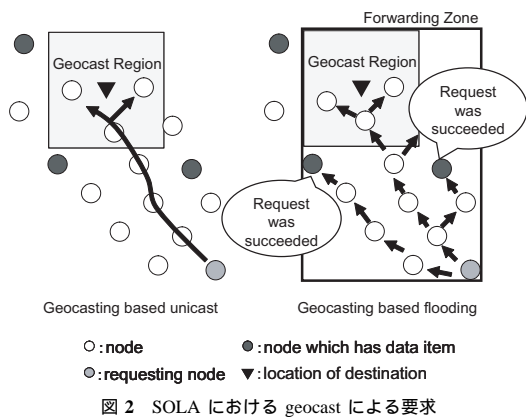


図2 SOLA における geocast による要求

Fig.2 Requesting by geocasting on SOLA

zone を定義し、この領域内でフラッディングを行うことで Geocast Region 内の全ての端末にパケットを転送する。LBM に代表されるマルチキャストベースの手法は、その性質上パケットの重複が多い。このため端末密度が高い場合、Forwarding zone 内では大量のトラフィックにより、衝突が頻繁に起こり、パケットの到達確率が低下する可能性がある。衝突を避けるためには、冗長なトラフィックを抑えることが必要である。

SOLA のような環境下では、要求の宛先となる端末は、特定の地点の位置依存情報を保持した端末であり、現在特定の地点に存在する端末とは限らない。各端末は特定の地点においてデータを取得しても、時間が経つとその場から移動してしまう。この結果、Geocast Region 内にその地点に依存した情報を保持した端末がいなくなってしまう可能性がある。そのためユニキャストベースの Geocast を用いるのではなく、マルチキャストベースの Geocast を用いて Geocast Region だけでなくその周辺の端末にも要求メッセージを転送することにより、データを保持している端末へのメッセージの到達確率を高めることが有用と考える(図2)。

筆者らは文献5)で、このような環境を対象とし、要求に対する応答が返されたかどうかの記録—通信成功記録—を取得し、これに基づいてデータ送信タイミングを制御することによりフラッディングベースの Geocast の効率化を実現するプロトコル Geocasting based on Successful Transmission Results (GSTR) を提案した。本稿では、要求転送時に特定の地点への通信経路の存在情報を新たな通

信成功記録として取得し、これを用いた転送タイミングの制御を行う GSTR の改善について述べる。

2. 関連研究

2.1 フラッディングベースの Geocast 手法

フラッディングベースの Geocast 手法として、Location Based Multicast(LBM)がある。LBM では、少なくとも送信元端末と目的地を含む Forwarding Zone と呼ばれる領域内に存在する端末のみに転送を行う端末を限定することでフラッディングを効率化しつつ目的地に要求を届ける手法を提案している。しかし、LBM では隣接端末の位置を考慮せずに単純に Forwarding Zone 内の端末のみが再転送を行うため、ブロードキャストを行ったとしても Forwarding Zone に他の端末が存在しない場合メッセージが届けられない可能性がある。文献6)では、近隣端末の存在位置を元にボロノイ図を作り、再転送を行う端末が存在するよう Forwarding Zone を決定することにより、パケットの到達性を向上させている。

LBM では Forwarding Zone 内において全ての端末が転送を行うため、端末の密度が多い場合は冗長なパケットが多量に発生し、複数端末の同時送信による衝突が発生する可能性が高くなる。そのため、フラッディングベースの Geocast では、冗長パケットを削減するための様々な手法が提案されている。文献7)では、ネットワークを地理的にいくつかの領域に分割し、各領域内において領域の中心に最も近い端末を Gateway ノードとし、Gateway ノードのみがパケットの転送を行うことで冗長なパケットを削減する手法 GRID を Geocast に適応させた手法 GeoGRID を提案している。また、文献8)では、宛先地点および要求発生地点の2点を焦点とした楕円を Forwarding Zone とし、Forwarding Zone 内で確率的にメッセージの再転送を行うゴシップングを用いることで冗長なパケットを削減する手法を提案している。

2.2 ブロードキャストの効率化

前述したようにマルチキャストベースの Geocast における課題には、フラッディングの効率化が挙げられる。ブロードキャストの効率化は既に様々な研究が行われている。例えば文献9)ではフラッディングによるブロードキャストストームに関する問題を解決手法として以下(i)~(v)に示す、確率的手法、カウンタベースの手法、距離ベースの手法、位置ベースの手法、クラスタベースの5つのアプローチから冗長トラフィックを削減する手法が提案されている。i) メッセージ受信時に確率的に転送を行うことにより冗長パケットの削減を行う手法、ii) メッセージ受信時に転送待ち時間を設け、待ち時間中に受信したメッセージ数により転送を中止し、冗長パケットを削減する手法、iii) 転送待ち時間中に受信したメッセージの送信元端末のうち最も近い端末からの距離に応じて転送を中止し、冗長パケットを削減する手法、iv) 転送待ち時間中に受信したメッセージの送信元端末の位置から予想さ

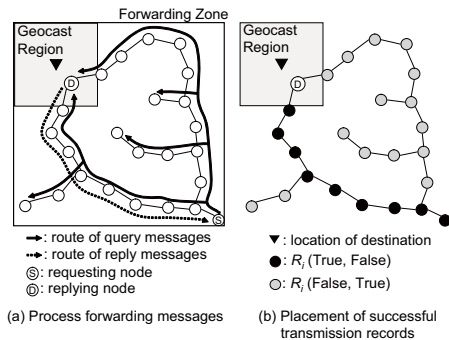


図3 GSTRにおける R_i の取得方法
Fig. 3 Obtaining R_i on GSTR

れる再転送による新規メッセージ受信端末に応じて転送を中止し、冗長パケットを削減する手法、v) hello パケットを用いて隣接端末を確認し、複数のクラスタにまたがる端末のみが転送を行うことで冗長トラフィックを削減する手法が提案されている。

また、プロアクティブ型の MANET 向けルーティングプロトコルである OLSR では、パケットの再送信を責任を持って行うノードの集合である MPR 集合を定義し、あらかじめフラディングを行う端末を指定することにより経路情報配信時の冗長パケットを削減している¹⁰⁾。

その他の代表的なブロードキャストの効率化手法に関しては文献 11) にまとめられている。

3. A Geocast scheme based on Successful Transmission Records

GSTR は、SOLA 環境のような Geocast で送信される要求メッセージに対して応答メッセージが返送される環境において、要求メッセージの転送時にその端末が応答メッセージの転送を行ったか否かを記録し、この記録—通信成功記録—を参照して以降のメッセージ転送タイミングの制御を行うことによりフラディングベースの Geocast における冗長トラフィックを削減する。

GSTR におけるメッセージ転送処理は、LBM をベースとする。図 3 に示すように、要求発生地点と Geocast Region を含む Forwarding Zone 内に存在する端末のみが要求メッセージを転送する。目的地周辺で発生したデータを保持する端末が要求メッセージを受信すると、要求転送経路を逆にたどって応答メッセージを返送する。このとき、応答メッセージの転送経路となる端末は、要求発生地点から目的地で発生したデータを保持する端末に最も早くたどり着くことができたデータ保持端末への最適な経路上に存在したといえる。一方、要求メッセージを転送したものの、これに対する応答経路とならなかった場合は、他の端末のみで構成される経路を用いて要求がデータ保持端末に届けられ、これに対する応答が返送された、もしくは要求発生地点から目的地への経路上に

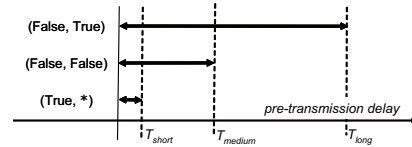


図4 GSTRにおける転送待ち時間
Fig. 4 Pre-transmission delay on GSTR

その端末が存在しなかったといえる。GSTR では上記の観点に基づき、過去の要求において最適な転送経路上に存在した端末が優先的に転送を行うことにより、重複パケットの転送を抑制する。

3.1 通信成功記録の取得方法

領域が N 個の矩形の小領域に分割されているとする。各端末は宛先となる小領域 i ($i=1,2,\dots,N$) それぞれに対して通信成功記録 R_i を保有する。 R_i は、要求に対する応答が行われたかを示す値 r_s と、要求を転送後から定められた時間 T_w 以内に応答を転送しなかったことを示す値 r_f の組、すなわち (r_s, r_f) で表される。なお r_s および r_f はそれぞれ True もしくは False の値をとる。各端末は領域 i に対する要求を転送後、応答待ち時間 T_w が経過するまでに要求に対する応答を転送した場合に R_i の r_s を True に設定する。 T_w が経過しても要求に対する応答を転送しなかった場合に R_i の r_f を True に設定する。 r_s, r_f は値が True になった後、通信成功記録の寿命 T_e が経過した場合、それぞれ False になる。トポロジの変動を考慮して T_e はノードの移動速度 v が高ければ高いほど短くなるよう以下に示す関数により決定される。

$$T_e = \begin{cases} k_r/v & (k_r/v \leq T_0) \\ T_0 & (k_r/v > T_0) \end{cases} \quad (1)$$

変数 k_r は調整用のパラメータであり、 T_0 は、移動速度があまりに遅い場合に寿命が長くなり過ぎることを防ぐための閾値である。なお、 r_s および r_f はそれぞれ独立して管理される。例えば、ある領域 i に対する通信成功記録 R_i が (True, False) を保持している端末 A が、領域 i に対する要求を転送後、 T_w 以内に応答を転送しなかったとしても、 r_s の値は変更されず、 r_f のみが True に設定される。結果として端末 A の持つ R_i は (True, True) となる。

3.2 通信成功記録を利用したメッセージ転送タイミングの制御

GSTR では、宛先領域 i への要求転送時に R_i の値に基づいて転送待ち時間の最大値のみを指定し、端末の保持する通信成功記録を用いてメッセージ転送におけるランダム転送待ち時間を決定する。ある端末が領域 i への要求メッセージを受信した場合、その端末自身の持つ R_i が (True, *) の場合には短い値 T_{short} を (False, True) の場合には長い値 T_{long} を (False, False) の場合には中程度の値 T_{medium} を設定する(図 4)。ここで*は任意の値 (True または False) を示す。これに加え、カウンタベースのフラディング最適化を行う。すなわち、転送待ち時間中

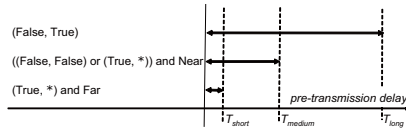


図 5 目的地周辺における (True, *) の集中を考慮した GSTR における転送待ち時間

Fig. 5 Pre-transmission delay on GSTR with controlling timing near the destination

に転送予定のメッセージを n 回以上受信した場合、転送をキャンセルする。

以上のような転送タイミングの制御により、過去に通信に成功した経路を優先的に用いて転送を行うことで、複数端末の同時送信を避けつつ遅延を抑えることが可能になる。

なお、通信成功記録 $R_i=(\text{True}, \text{False})$ を保持した端末が確率的に転送をキャンセルすることで、必要なメッセージは確実に転送しつつ、冗長なパケットを削減する拡張も可能である。

3.3 目的地付近における通信成功記録 R_s の保持端末の集中

要求メッセージの目的地の周辺に存在する端末は、目的地のデータを保持する端末へアクセスが可能である可能性が高い。そのため、目的地周辺に存在する端末は、通信成功記録 (True, *) を保持する可能性が高いといえる。従って、目的地周辺の端末の多くは短い転送待ち時間で転送を行うため、目的地の周辺においては複数端末の同時送信による衝突が多発する。

この問題を解決するために、転送を行う端末から目的地までの距離を考慮し、最大転送待ち時間を決定する手法を考える。各端末から目的地への距離が閾値 D_{near} 以下の場合、(True, *) を保持していても転送待ち時間の最大値を T_{medium} とする。これにより、目的地周辺の複数端末が短い転送待ち時間 T_{short} で転送を行うことによる衝突多発を回避する。本手法を導入した転送待ち時間の決定方法を図 5 に示す。

3.4 目的地への到達性を考慮した GSTR の改善

GSTR では目的領域 i に対する要求を転送後、応答経路とならなかった全ての端末が通信成功記録 R_i の r_f を True に設定する。このとき、 r_f の値が True だとしても、これらの端末を経由して目的地までメッセージが届けられる可能性もある。例えば図 6 において、端末 A が転送した要求メッセージがデータ保持端末 B まで届けられたとしても、それ以前に端末 B が応答を送信していた場合、端末 A は領域 i に対する通信成功記録 $R_i=(\text{False}, \text{True})$ を保持するものの、実際には端末 A を経由して目的地に要求が届けることが到達可能である。しかし、 $R_i=(\text{False}, \text{True})$ を保持している端末は、 T_{long} だけ待ってから再転送を行うため、要求の応答時間が増大してしまうという問題点がある。また、3.2 末尾で述べた $R_i=(\text{False}, \text{True})$ を保持した端末が確率的に転送をキャンセルする手法を

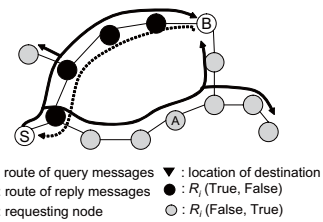


図 6 要求・応答転送後の通信成功記録の分布

Fig. 6 Distribution of successful transmission records after exchanged queries and replies

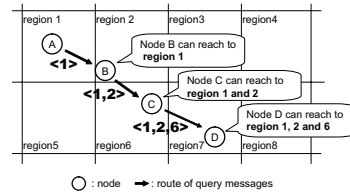


図 7 通信成功記録 r_r の取得方法

Fig. 7 Obtaining successful transmission records r_r

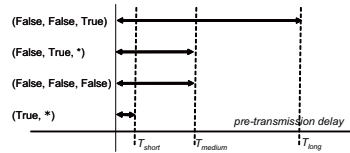


図 8 目的地への到達性を考慮した GSTR における転送待ち時間

Fig. 8 Pre-transmission delay on revised GSTR

用いた場合、データ保持端末にメッセージを届けるために必要なメッセージの再転送をキャンセルしてしまう可能性があり、要求の到達性が低下してしまう。

この問題点を解決するために、要求に対する応答が返されたかどうかを示す通信成功記録 r_s , r_f に加え、新たに目的地への到達経路が存在するかどうかを示す記録 r_r を追加した通信成功記録 (r_s , r_f , r_r) を用いて転送待ち時間を調節し応答時間を削減する手法について考える。以下に r_r の取得方法および導入時の転送タイミングの制御方法について述べる。

この手法において、各端末は目的領域への到達経路が存在するかどうかを示す通信成功記録 r_r を、要求の発地点および転送地点の存在する領域 $p_i(i=1, \dots, N)$ に対して保持する。各端末は要求転送時に自分の位置の存在する領域をパケットに追加し、これを受信した端末は要求メッセージの転送経路となった端末の存在した領域に対する通信成功記録 R_{p_i} の r_r を True に変更する。例えば図 7 のように要求が転送された場合、端末 B は通信成功記録 R_1 、端末 C は通信成功記録 R_1 および R_2 の r_r を True に変更する。 r_r はそれぞれの値が True になった後、通信成功記録の寿命 T_e が経過した場合、それぞれ False になる。 T_e も r_s および r_f と同様に、ノードの移動速度 v を考慮して決定される。本手法を導入した際の転送待ち時間の決定方法を図 8 に示す。

4. シミュレーションによる評価

提案手法を評価するためにシミュレーションによる評価を行った。本章ではそのためのモデルについて説明する。シミュレータとして JiST/SWANS¹²⁾ を用い、提案方式に基づく位置依存情報共有機構をアプリケーション層のモデルとして実装した。

4.1 シミュレーションモデル

2000[m] × 1000[m] の 2 次元平面状に 500-2500 大の端末が存在すると仮定し、このうちの 100 台は、後述するデータ生成モデルおよびデータ要求モデルに従って動作させる。残りの端末はメッセージの中継のみを行う。

MAC 層プロトコルには IEEE802.11 を用い、通信大域幅を 11[Mbps]、通信可能半径を 100[m] とした。要求および応答においてのトランスポート層プロトコルは UDP を用いた。ルーティングはアプリケーションレベルで行い、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。これは端末の位置情報および要求されているデータを保持しているかどうかの判定を要求の転送時にアプリケーションレベルで行う必要があるためである。

4.2 移動モデル

各端末は移動領域内にランダムに配置され、移動領域内をランダムウェイポイントモデル¹³⁾ で移動するものとした。移動速度は 0 ~ 10[m/s] を用いるものとし、PauseTime = 3[sec] とした。

4.3 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 200[m] × 200[m] の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。従って 50 箇所から異なるデータが発生することになる。各端末は最大 10 個の位置依存情報を保持し、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。

データ生成を行う端末は平均 120 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、端末の存在する領域の中心位置と発生時刻をパラメータとして持つものとした。また、位置依存情報の有効期限は 300[sec] とし、有効期限が過ぎた位置依存情報を無効にすることでデータバージョンの違いを考慮するものとした。なお、これらの位置依存情報の複製は作られないものとした。

4.4 データ要求モデル

データ要求を行う端末は平均 60 秒のポアソンモデルに従ってデータ要求を行う。要求の宛先となる領域はシミュレーション領域を分割した小領域からランダムで選択されるものとした。

4.5 要求および応答方法

要求メッセージは Geocast により目的となる領域に向けて送信される。今回のシミュレーションでは後述する 8

表 1 シミュレーションパラメータ

Table 1 Simulation parameters

Parameter	Value
T_{short} [ms]	10
T_{medium} [ms]	100
T_{long} [ms]	300
T_d	100
T_w [sec]	1
k_r	50
T_0 [sec]	30
D_{near} [m]	400

つの Geocast 手法を用いて評価を行った。要求メッセージを受信した端末は自分が宛先の領域で発生したデータを保持しているかどうかを判定し、保持している場合は応答を要求メッセージを逆にたどって応答を返送する。保持していない場合にはそれぞれの Geocast 手法に従って要求の再転送を行う。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、データサイズは UDP、IP ヘッダを含めて 128[byte] とした。応答は UDP によるユニキャストにより転送されるものとし、応答メッセージのデータサイズは応答経路の情報を含めて 1000[bytes] とした。

4.6 評価指標

シミュレーションにおいて用いた評価指標を以下に示す。

- アクセス成功率 A_s (Access Success Raito)

$$A_s = A_c / R_c \quad (2)$$

R_c (Request count) は、各端末が要求メッセージを送信した回数の総和であり、 A_c (Answer success count) は要求メッセージの送信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である。

- 衝突確率 C_r (Collision Rate)

$$C_r = \frac{C_c}{T_{receive_mac} + C_c} \quad (3)$$

C_c はパケットの衝突が原因となり、フレームを受信できなかった回数であり、 $T_{receive_mac}$ はフレームを受信した回数である。

- 応答時間 T_d (Response time per one hop)

T_d は要求に対する応答が得られた際の、1 ホップあたりの応答時間の平均値である。

- 要求到達率 R_{req} (Reachability of requests)

R_{req} は要求メッセージが少なくとも 1 台のデータ保持端末に届けられた確率である。

- 応答経路集中度 R_c

R_c は受信した領域 i への要求に対する応答を、過去 30 秒以内に受信していた確率である。

シミュレーションにおいて、i) 転送待ち時間導入の効果、ii) 通信成功記録 R_i に基づいたメッセージ転送タイミングの制御の効果 iv) 目的地周辺における転送タイミングの制御の効果の 3 つの観点から評価を行う。そのために以下の 8 つの手法の性能を比較した。

- Greedy: 各端末は Greedy Forwarding に従って要求を転送する。hello パケットの送信間隔は平均 2[sec] と

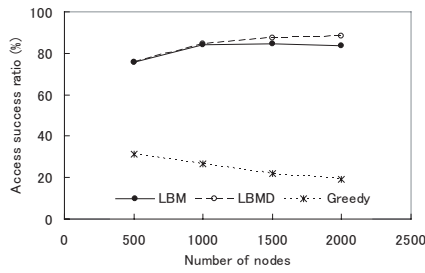


図9 端末数とアクセス成功率の関係 (Greedy vs フラディング)
Fig. 9 A_s (Greedy vs Flooding)

し、その有効期限は 1[sec] とした。Hello パケットのデータサイズは 128[byte] とした。

- LBM: 各端末は LBM に従って要求を転送する。このとき転送タイミングの調整をしない。
- LBM-D: LBM において、要求転送時に最大 100[msec] のランダム転送待ち時間を挿入し、転送待ち時間中に 3 回以上転送予定のメッセージを受信した場合、転送をキャンセルする。
- GSTR: LBM において、過去の通信成功記録 $R_i(r_s, r_f)$ に基づいて転送待ち時間を挿入し、転送タイミングをずらす。転送キャンセル手法は LBM-D と同様のものを用いる。
- GSTR-R: LBM において、過去の通信成功記録 $R_i(r_s, r_f, r_r)$ に基づいて決定される転送待ち時間を挿入し、転送タイミングをずらす。転送キャンセル手法は LBM-D と同様のものを用いる。
- GSTR-N: GSTR に加え、目的地周辺における転送タイミングの制御を行う。
- GSTR-NR: GSTR-R に加え、目的地周辺における転送タイミングの制御を行う。
- GSTR-NRC: GSTR-NR において、領域 i に対する要求受信端末が通信成功記録 $R_i=(\text{False}, \text{True}, \text{False})$ を保持している場合、転送をキャンセルする。

表??, 1 に各手法の特徴およびシミュレーションにおいて用いるパラメータを示す。

5. 性能評価

本章では、提案手法のシミュレーション結果について述べる。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。以降に示す結果の大部分はシミュレーションエリアに存在する端末数を 500 から 2500 まで 500 台間隔に変化させて得たものである。

5.1 フラディングベースの Geocast 手法とユニキャストベースの Geocast 手法の比較

まず、SOLA におけるフラディングの Geocast 手法のユニキャストベースの Geocast 手法に対する有用性を示すために、両者の比較を行う。図 9 に端末数を 500 から 2000 台に変動させた際のアクセス成功率 A_s 、図 10 に

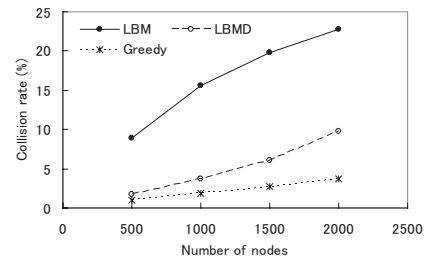


図10 端末数と衝突確率の関係 (Greedy vs フラディング)
Fig. 10 C_r (Greedy vs Flooding)

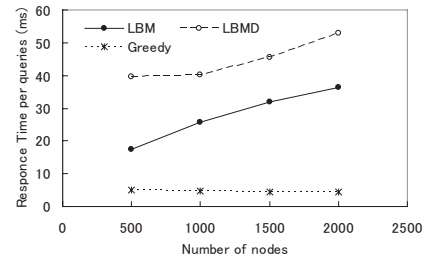


図11 端末数と応答時間の関係 (Greedy vs フラディング)
Fig. 11 T_d (Greedy vs Flooding)

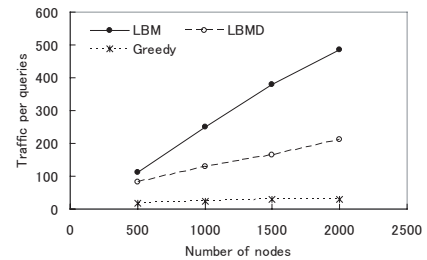


図12 端末数とトラフィックの関係 (Greedy vs フラディング)
Fig. 12 T_r (Greedy vs Flooding)

衝突確率 C_r 、図 11 に 1 ホップの平均応答時間 T_d 、図 12 に要求あたりのフレーム受信回数 T_r を示す。

図 9 を見るとフラディングを用いた手法である LBM および LBM-D は Greedy に比べ非常に高いアクセス成功率を達成している。これはフラディングベースの手法を用いた場合、目的領域にパケットを転送する過程で多くの端末が要求メッセージを中継するため、データを保持した端末に要求を届けやすいためである。一方、Greedy Forwarding を用いた場合では、要求元から目的地まで一本の経路で要求を転送するため、要求発生地点から移動してしまったデータ保持端末にアクセスすることが難しいといえる。また、Greedy Forwarding では要求を転送する端末は近隣端末の中から次の中継端末を選択するため、端末間の距離が離れやすくなる。そのため、応答経路が崩れやすくなり応答到達率が低下する。したがって、Greedy 以外の他のユニキャストベースの Geocast 手法を用いることで A_s は向上すると考えられるが、Greedy と LBM お

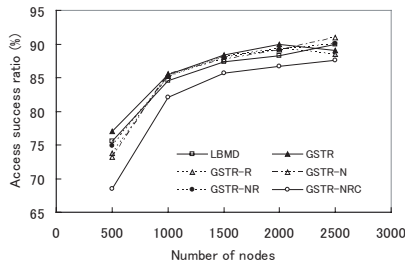


図 13 端末数とアクセス成功率の関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 13 A_s (LBM-D vs GSTR)

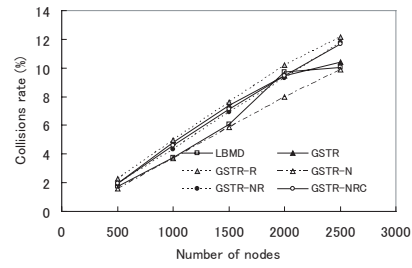


図 15 端末数と衝突確率の関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 15 C_r (LBM-D vs GSTR)

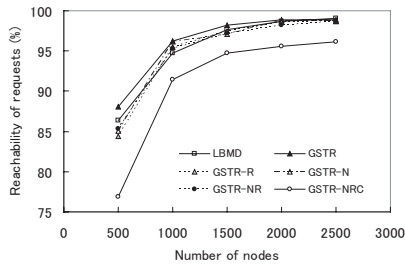


図 14 端末数と要求到達率の関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 14 R_{req} (LBM-D vs GSTR)

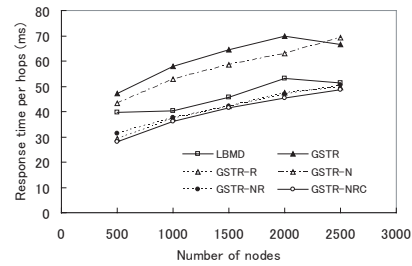


図 16 端末数と応答時間の関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 16 T_d (LBM-D vs GSTR)

よび LBM-D の A_s の差は非常に大きくこれが逆転するほど向上するとは考えにくい。以上のことから SOLA 環境下ではフラディングベースの Geocast が適しているといえる。

しかしながら、図 12 を見ると LBM を用いた場合のトラフィックは非常に高く、端末密度が高い場合は衝突確率が高くなる。この結果、要求および応答メッセージが衝突により失われやすくなり、アクセス成功率が低下する。ただし、この問題は LBM-D のように転送タイミングの制御およびカウンタベースの手法による冗長パケットの削減を行うことで緩和され、アクセス成功率の低下を防ぐことが可能となる。

5.2 通信成功記録を用いた転送タイミングの制御の効果

次に通信成功記録を用いた転送タイミング制御手法の有用性を評価するため、LBM-D, GSTR, GSTR-R, GSTR-N, GSTR-NR, GSTR-NRC の 5 つの手法を比較する。

図 13 に端末数を 500 から 2500 台に変動させた際のアクセス成功率 A_s 、図 14 に応答到達率 R_{req} 、図 15 に衝突確率 C_r 、図 16 に 1 ホップの平均応答時間 T_d 、図 17 に要求あたりのトラフィック T_r 、図 17 に応答経路集中度 R_c を示す。

図 13 を見ると、LBM-D と比べ GSTR および GSTR-R, GSTR-N, GSTR-NR は A_s の面で若干の向上が見られる。しかし、図 15, 16 を見ると GSTR を用いた場合、LBM-D に比べ C_r, T_d が上昇してしまっている。しかし過去に通信に成功した経路を優先的に用いて要求を転送することにより、効率よく要求メッセージをデータ保持端末に届

けることが可能になり、 A_s は若干向上する。

GSTR を改善した各手法に関しては、以下のような傾向が見られた。GSTR-N では目的地周辺における衝突の抑制を行うことにより C_r および T_r の面で他の手法に比べ優位性を示している。GSTR-R では、目的地への到達性を考慮して転送タイミングを制御することにより、 T_d の面で他の手法に比べ優位性を示している。この 2 つの手法を併用した GSTR-NR では GSTR に比べ、 C_r, T_d, T_r の面で優位性が示されているが、これによる A_s の向上は見られなかった。これは通信成功記録に r_r を追加した場合および目的地周辺における衝突の回避を行った場合、結果として LBM-D に挙動が近づくことになるため、過去に通信に成功した経路を優先的に用いるという GSTR の特性が失われたことが原因である。図 18 に示した応答経路集中度 R_c の値を見ても、GSTR に比べ他の手法は R_c が低く、過去に通信に成功した経路を優先的に用いて異なることが分かる。

GSTR-NR において $R_i=(False, True, False)$ を保持する端末が転送自体をキャンセルする GSTR-NRC では、GSTR-NR よりもトラフィックが減少しているが、その量はわずかである。GSTR-NRC はゴシップに似た手法であり、再転送を行う端末が減少するため T_d を削減できるはずである。しかしながら、トラフィック削減効果がないのは、カウンタベースのブロードキャスト効率化手法と併用していることに原因がある。カウンタベースの手法は、転送待ち時間中に同じメッセージを n 回受信した場合に転送をキャンセルするものであり、その転送キャンセルの割合は、再転送を行う近隣端末数によって決定される。

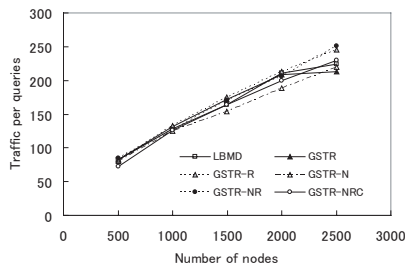


図 17 端末数とトラフィックの関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 17 T_r vs Number of nodes

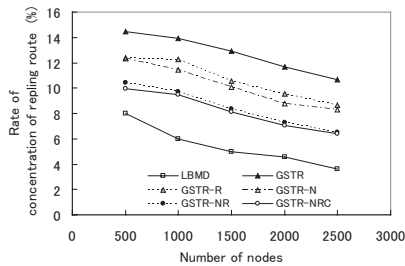


図 18 端末数と応答経路集中度の関係 (LBM-D vs GSTR)
Fig. 18 R_c vs Number of nodes

これとゴシッピングを併用する場合、ゴシッピングにより要求が転送される可能性が低くなったとしても、カウンタベースの手法によってキャンセルされるメッセージ数が減少してしまうため、結果として T_r はあまり削減することができず、要求メッセージの目的地への到達確率だけが減少してしまう。

6. ま と め

本稿では、Geocast で送信した要求に対して応答が返される環境において、宛先の領域に送った要求に対する応答の転送を行ったか否かの記録—通信成功記録—に基づいて要求の Geocast 時のパケット送信タイミングを制御することで、重複パケットの配送を制御する手法 Geocast scheme based on Successful Transmission Records (GSTR) についてまとめ、これに目的地への到達性を考慮することで応答時間を削減する手法を提案し、シミュレーションにより評価を行った。

シミュレーションの結果、提案手法 GSTR を用いて転送タイミングを制御することで複数端末の同時送信を避けつつ、遅延を抑えることが可能になり、若干のアクセス成功率の向上が見られた。今回評価した条件は、GSTR で送信するデータは、データ要求メッセージを仮定し、サイズが小さなものだった。送信データサイズが大きな場合、GSTR の効果が顕著になることが予想される。今後このような大きなデータを送信する GSTR の性能及びその応用について検討する予定である。

7. 謝 辞

本研究の一部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 (財) 中島記念国際交流財団日本人若手研究者研究助成金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) 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布手法,” 電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol.J88-B, No.11, pp.2214-2227, 2005.
- 2) 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.
- 3) Mariko Yamanaka, Gen Tsuchida, and Susumu Ishihara, “A replica distribution scheme for location-dependent information on vehicular ad hoc networks,” in *proc. VANET2006*, pp.98-99, 2006.
- 4) Y. B. Ko, N. H. Vaidya, “Flooding-based geocasting protocols for mobile ad hoc networks,” *Mobile Networks and Applications*, pp. 471-480, (2002).
- 5) Akihiro Nomoto, Gen Tsuchida, and Susumu Ishihara, “A Geocast scheme based on Successful Transmission Records on Wireless Ad Hoc Networks,” in *proc. of ICMU2006*, pp.272-277, 2006.
- 6) I. Stojmenovic, A. P. Ruhil, and D. K. Lobiyal, “Voronoi Diagram and Convex Hull-Based Geocasting and Routing in Wireless Networks,” in *proc. of ISCC2006*, pp.51-56, 2006.
- 7) W.-H. Liao et al., “GeoGRID: A Geocasting Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Based on GRID,” *J. Internet Tech.*, vol.1, no.2, pp.23-32, 2000.
- 8) X.-Y. Li, K Moaveninejad, O. Frieder, “Regional gossip routing for wireless ad hoc networks,” *Mobile Networks and Applications*, vol.10, Issue 1-2, pp.61-77, 2005.
- 9) S. Ni, Y. Chen, J. Sheu, “the broadcast storm problem in a mobile ad hoc network,” in *proc. of ACM/IEEE MOBICOM'99*, pp.153-167, 1999.
- 10) T. Clausen, P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” *RFC 3626*, 2003.
- 11) Brad Williams, Tracy Camp, “Protocols: Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks,” *Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, 2002.
- 12) JIST/SWANS: <http://jist.ece.cornell.edu/>
- 13) C. E. Perkins, *Ad hoc networking*, Addison-Wesley, 2001.