

M-040

MANET 上での島モデル GA を用いた経路制御のための一手法 A Technique for Routing Control using Island Model GA in MANET

高島 栄一† 村田 佳洋† 柴田 直樹‡ 安本 慶一† 伊藤 実†
Eiichi Takashima Yoshihiro Murata Naoki Shibata Keiichi Yasumoto Minoru Ito

1. まえがき

近年, Mobile Ad-hoc Network (MANET) 上において, 複数のユーザに対しビデオの配信サービスを行う利用法が考えられている. これにはユーザ毎に遅延や帯域幅などの複数のサービス品質を最適化するようなマルチキャスト木を求める必要があるが, この問題は NP-困難であり, 計算コストが高い. そのため, この問題に対する近似解法の一つとして遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) を用いる方法が研究されてきた [1]. ネットワーク上で GA を用いる場合, あるノードで集中して計算する方法が主流である. しかし, 集中制御方式では, 情報収集および全経路算出のコストのためスケラビリティに欠ける. また, MANET 上のノードの計算資源は限られている.

本稿では, MANET 上でユーザの要求を満たすマルチキャスト木を構築する方法を提案する. 提案手法ではネットワークをクラスタに分割し, 各クラスタ内およびクラスタ間の 2 階層でそれぞれ並列 GA の一種である島モデル GA を用いることでスケラビリティを高める工夫を行った.

2. 問題設定

2.1 ネットワークモデル

ネットワークを重みつき無向グラフ $G = (V, E)$ とし表す. ここで V, E は, それぞれノードの集合とノード間のリンクの集合を表す. 各ノードには固有の ID (整数値) が与えられる. ここで, 2つのノードが 1 ホップの無線範囲内にある時, これらのノード間にリンクが存在すると仮定する. また, 各リンクの遅延, 帯域幅 (リンクパラメタと呼ぶ) は, そのリンクの両端ノードが知っていると仮定する. マルチキャスト木 (V', E') は次のように定義される: $V' \subseteq V, E' \subseteq E$ であり, グラフ (V', E') には, 一つのソースノード $s \in V'$ と, 複数のエンドノード $M \subseteq \{V' - \{s\}\}$ を含む. 以降, マルチキャスト木 (V', E') を $T(s, M)$ と記述する.

本稿では, 必要帯域幅 Br , 最大遅延 Dr に対し, $Constraint(T(s, M), Br, Dr) = 1$ を満たした上で目的関数 F が最小となるマルチキャスト木 T^* を求める. ここで, $Constraint(T(s, M), Br, Dr)$ は, 全ての $e_i \in T(s, M)$ に対し, $Band(e_i) \geq Br$, かつ全ての $r_j \in M$ に対し, $Delay(path(s, r_j)) \leq Dr$ である場合, 1 を返し, そうではない場合, 0 を返す関数である. ここで, $Band(e_i)$ はリンク e_i の帯域幅を返す関数であり, $Delay(path(v_s, v_t))$ はパス $path(v_s, v_t)$ の遅延を返す関数である. $path(v_s, v_t)$ は, ノード v_s から $v_t \in V'$ と $e_i \in E'$ を経由し, ノード v_t へ至るパスである. 本稿では, 簡単のため, 目的関数 F は $F = |E'|$ とする.

2.2 クラスタ

クラスタとはネットワーク上の全てのノード集合 V の分割 S の各要素である. クラスタに分割する際, 各クラ



図 1: マルチキャスト木の維持・管理

スタ $C_i = (V_i, E_i)$ (ここで, $V_i \subseteq V, E_i \subseteq E$) は, クラスタヘッド h_i を 1 つもち, また, h_i から C_i の全ての要素へ q ホップ以内の最短経路をもつようにクラスタ C_i を構築する (q は既定の定数). クラスタの ID はクラスタヘッドのノード ID を用いる. ネットワーク上の全クラスタのクラスタヘッドの集合を $H \subseteq V$ で表す. H の要素のうち最も ID の小さいノードをトップクラスタヘッドと呼ぶ. サブクラスタヘッドは, 各クラスタにおいて, クラスタヘッドからの最短距離が $q/2$ ホップ以内にあるノードの中から k 個選ぶものとする (k は既定の定数).

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

提案手法は, (i) クラスタ生成, (ii) クラスタ内情報収集, (iii) クラスタ間情報収集, (iv) クラスタ間割当, (v) クラスタ内割当の 5 フェーズで構成されている. (i) ではネットワークをクラスタに分割し, クラスタヘッドとサブクラスタヘッドを決定する. (ii) ではクラスタ毎にクラスタ内リンクパラメタをクラスタヘッドに集める. (iii) では隣接するクラスタ間 (対応するサブクラスタヘッド間) のパスの帯域幅, 遅延の情報を調べ, クラスタヘッドに集める. そして, これらの情報とユーザの接続要求を各クラスタヘッドからトップクラスタヘッドに集める. (iv) では収集したユーザ要求を満たすマルチキャスト木 (ただし, (サブ) クラスタヘッド間のパスのみを含む) をトップクラスタヘッドで決める. そして, その結果は全クラスタヘッドに送られる. (v) ではクラスタ内で接続要求を出したノードを, クラスタ間割当で計算されたマルチキャスト木に, つぎ木するパス (帯域幅, 遅延の制約を満たす) を各クラスタヘッドが決定する. その結果を各ノードへ送る. 以上によりマルチキャスト木が構築され, 以後, 図 1 のように維持・管理を行う. 時間を A 時間毎に区切り (A は既定の定数), その区切られた時間毎に, クラスタ内情報収集, クラスタ内割当, パスの更新を繰り返す. そして, $K \times A$ 時間毎に, クラスタ間情報収集, クラスタ間割当, パスの更新を行う (A は既定の定数). ユーザの接続と離脱の要求は, 要求するノードがクラスタヘッドに要求のメッセージを通知することで常時受け付けられる. そして, 各割当の際に受付内容を一括して反映させる.

クラスタ間割当とクラスタ内割当では, それぞれコスト最小のマルチキャスト木, コスト最小のつぎ木方法を島モデル GA [2] を用いて計算する. しかし, クラスタ間と各クラスタ内でそれぞれコスト最小を求めた結果がネットワーク全体としてはコスト最小ではない可能性があるが, 遅延と帯域幅の制約条件は満たすコスト最小のマルチキャスト木の近似解を効率良く求めることができる. また, これらの割当の再計算の際, 前の計算結果 (島

†奈良先端科学技術大学院大学, 情報科学研究科

‡滋賀大学, 経済学部

モデル GA の個体群) を流用することによりすばやく解を得ることができる。ネットワーク全体で使用する島モデル GA の数はクラスタの数+1 である。

3.2 各フェイズの処理

3.2.1 クラスタ生成

ネットワーク上のクラスタの生成とクラスタヘッドの決定には、WCA (Weighted Clustering Algorithm) [3] を用いる。クラスタヘッドからの TTL = $q/2$ のフラッディングにより、各ノードで生成した乱数を収集し、上位 k 個のノードをサブクラスタヘッドとして決定する。

3.2.2 クラスタ内情報収集

クラスタ C_1 のクラスタヘッド h_1 から全隣接ノードへ情報収集要求メッセージ $M_{REQ} <$ シーケンス番号, クラスタ ID, TTL, $R_a >$ を送信する。但し, R_a はクラスタヘッドからのパスである。 M_{REQ} を受け取ったノード v_j は, M_{REQ} をまだ受信していない場合, R_a に v_j の ID を加える。また, v_j の経路制御表に R_a を加える。そして, 送信元以外の隣接ノードにメッセージ M_{REQ} を転送する。メッセージ M_{REQ} は TTL が 0 になるまで次々と再転送される。メッセージ M_{REQ} を転送したノードは, 他に転送するノードがない場合, またはすでに TTL が 0 である場合, クラスタヘッド h_i に向けリプライメッセージ $M_{REP} <$ シーケンス番号, クラスタ ID, $R_b, p_b, r >$ を送信する。シーケンス番号, R_b, p_b と r は, それぞれ受信したメッセージ M_{REQ} のシーケンス番号, h_i へのパス, リンクパラメータと接続要求を要求するノードの ID である。この送信の際, 経路制御表の最小ホップのパスを用いる (図 2)。

ノード v_i が属するクラスタ C_i 以外のクラスタヘッド h_j からメッセージ M_{REQ} を受け取った場合, その v_i は, 送信元のノード v_j に境界通知メッセージ $M_{BDR} <$ シーケンス番号, v_i の ID, C_i の ID, $p_{i,j} >$ を送信する。但し, シーケンス番号は受信したメッセージ M_{REQ} のシーケンス番号であり, $p_{i,j}$ は v_i と v_j 間のリンクのリンクパラメータである。

以上によりクラスタヘッドにクラスタ内のトポロジ情報が集められる。

3.2.3 クラスタ間情報収集

クラスタ C_1 のクラスタヘッドと各サブクラスタヘッドから, 隣接するクラスタ C_2 のクラスタヘッドと各サブクラスタヘッド間への最短パスをそれぞれ作る。これを隣接パスと呼ぶ。それらの隣接パスとそれらの隣接パスの遅延, 帯域幅の情報の組 (隣接パス情報) をクラスタヘッドに送る (図 3)。隣接パス情報とクラスタ外のノードへの接続要求を各クラスタヘッドからトップクラスタヘッドに集める。

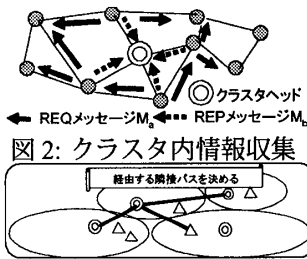


図 2: クラスタ内情報収集

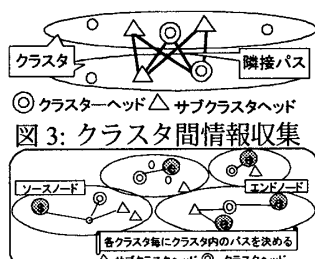


図 3: クラスタ間情報収集

3.2.4 クラスタ間割当

ユーザの接続要求を満たす (かつコスト最小となる) 隣接パスのみからなるマルチキャスト木をトップクラスタ

ヘッドで決める。トップクラスタヘッドは, トップクラスタヘッドの属するクラスタの各サブクラスタヘッドに問題を配布し, それらのサブクラスタヘッドと島モデル GA [2] を構成し, この問題を解く。この結果は全てのクラスタヘッドに送られる (図 4)。この問題の問題設定は以下の通りである。

問題設定 クラスタ間割当を解くために, 各クラスタヘッドと各サブクラスタヘッドをそれぞれ 1 つのノードとみなし, クラスタ間の隣接パスをリンクとみなして, グラフ (V'', E'') に単純化する。ここでの隣接パスとはクラスタ間情報収集で求めたパスである。これらのリンクには隣接パス情報が与えられる。この問題の入力として, 接続要求の集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ とグラフ (V'', E'') のノード, リンクとリンクパラメータの情報が与えられる。 n は接続要求の数である。各接続要求 d_i は接続要求のあるクラスタ ID である。出力は制約を満たした上で目的関数 F_1 を最小化した T' である。ここで, $T' = (V^\alpha, E^\alpha)$, $V^\alpha \subseteq V'', E^\alpha \subseteq E'', F_1 = |E^\alpha|$ とする。

3.2.5 クラスタ内割当

クラスタ内で接続要求を出したノードを制約を満たすように, クラスタ間割当で計算されたマルチキャスト木に, つぎ木するパスを各クラスタヘッドが決定する。クラスタヘッドは, 各サブクラスタヘッドに問題を配布し, それらのサブクラスタヘッドと島モデル GA を構成し, この問題を解く (図 5)。その結果を各ノードへ送る。この問題の問題設定は以下の通りである。

問題設定 入力として, クラスタ間割当で計算されたマルチキャスト木, クラスタ内の接続要求の集合 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ とクラスタ内のリンク $E''' \subseteq E$, ノード $V''' \subseteq V$ の集合とリンクパラメータの集合が与えられる。 n は要求の数であり, 各要求 I_u は接続要求のあるノード ID である。出力は制約を満たした上で目的関数 F_2 を最小化したパスの集合 P'' である。ここで, $P'' = (V^\beta, E^\beta)$, $V^\beta \subseteq V''', E^\beta \subseteq E''', F_2 = |E^\beta|$ とする。

4. おわりに

本稿では, MANET 上でユーザの要求を満たすマルチキャスト配送木を構築する方法を提案した。提案手法ではネットワークをクラスタに分割し, 各クラスタ内およびクラスタ間の 2 階層でそれぞれ並列 GA の一種である島モデル GA を用いることでスケーラビリティを高める工夫を行った。

今後, 提案手法に対し, ns-2 上に実装し性能評価を行う予定である。また, 木の再構築の際, 配信中のストリームの品質を落とさないようシームレスにパスを切替える手法を考案したい。

参考文献

[1] L. Layuan and L. Chunlin: "QoS Multicast Routing in Networks with Uncertain Parameters", APWeb, pp. 430-441 (2003).
 [2] E. Cantú-Paz: "A Survey of Parallel Genetic Algorithms", Technical Report 97003, Illinois Genetic Algorithms Laboratory (1997).
 [3] M. Chatterjee, S. K. Das and D. Turgut: "WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad hoc Networks", Journal of Cluster Computing (Special Issue on Mobile Ad hoc Networks), 5, 2, pp. 193-204 (2002).