

完了確認付き無線ブロードキャストアルゴリズムの局所改善

大久保 智[†]浅野 孝夫[‡]中央大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻[†]中央大学 理工学部 情報工学科[‡]

1 はじめに

ブロードキャストとは、ソースから他のすべてのノードにメッセージ（ソースメッセージ）を伝えることであり、ネットワーク通信における基礎的なタスクである。

本稿では、2000年に Chlebus et al. によって提案された、完了確認付き無線ブロードキャストを $O(n)$ ラウンド (n : ノードの個数) で達成するアルゴリズム [1] に局所改善を施して実装し、それに基づいて実験的性能評価を行う。

無線ネットワークは有向グラフとして表すことができ、各ノードはトランスミッタまたはレシーバとなる。有向辺 uv の存在は、ノード u からノード v へ直接到達可能であることを意味し、ノード v はノード u の近傍と呼ばれる。対称有向グラフのときは逆も同様である。また、各ノードはグローバルクロックによって示されるラウンドと呼ばれる離散時間で同期を取るとする。

本稿では、ブロードキャストに要する合計時間、すなわち、総ラウンド数という指標に着目する。

2 問題定義

各ノードは、無線ネットワークの構造とサイズに関する情報は持たず、各ノードがネットワークに関して持っている情報は、各ノード自身のラベルのみとし、ラベルは1から n までの整数とする（このような無線ネットワークはしばしば、アドホックマルチホップネットワーク[§]と呼ばれる）。

もし、ネットワークに関する情報（構造、サイズなど）について、すべてのノードが利用できるならば、ブロードキャストに要する総ラウンド数はあらかじめ知ることができ、すべてのノードは、ブロードキャストが完了すると同時に、完了したことを確信できる。しかし、本稿の設定では、ネットワークのサイズさえ知られていないので、ブロードキャストは完了するが、各ノードはブロードキャストが完了したことに気づかな

い。よって、以下の2つの問題：無線ブロードキャスト (Radio Broadcasting: 以後 **RB**)、完了確認付きブロードキャスト (Acknowledged Radio Broadcasting: 以後 **ARB**) が考えられる。RB の目的はソースメッセージをすべてのノードに送信することであり、ARB の目的はRBを達成し、それをソースに知らせることである。

3 Chlebus et al. (2000) の手法

3.1節では、コリジョン検知機能[¶]を持たない対称有向グラフに対してフェーズを用いて $O(n)$ ラウンドでRBを達成するアルゴリズムを述べる。また、3.2節では、3.1節のアルゴリズムを改良し、コリジョン検知機能を持つ対称有向グラフに対してフェーズを用いて $O(n)$ ラウンドでARBを達成するアルゴリズムを述べる。

3.1 EXPLORE-AND-EXPAND

k 番目のフェーズ（以後フェーズ k ）は3つのステージ A (2^{k-1} ラウンド)、B (2^k ラウンド)、C (2^{k+1} ラウンド) の計 $7 \cdot 2^{k-1}$ ラウンドで構成される。以下にフェーズ k におけるアルゴリズムの詳細な動きを記述する。

ステージ A : ラベル $2^{k-1} + 1, \dots, 2^{k-1} + 2^{k-1}$ のノードが順に自身のラベルを含むメッセージを近傍に送信する。

ステージ B : フェーズ $k-1$ のステージ C において構築された閉路 C_{k-1} 上のノードは、フェーズ k のステージ A もしくはステージ B においてメッセージを受け取ったとき **アクティブ** と呼ばれる。アクティブなノードは割り振られた k -tag (各ノードに割り振られた正整数) に対応するラウンドにおいて、メッセージを近傍に送信する。

ステージ C : もしソースがステージ B でアクティブになれば、ステージ C を開始する。トークンははじめはソースにあり、 G_k^{**} を深さ優先探索しソースメッセージを運び、各ノードに k -tag を割り振る。またトークン

[¶]ノード u の2つ以上の近傍が同時にメッセージを送信したならば、ノード u はこのラウンドにおいて何もメッセージを受け取れない。この場合、ノード u でコリジョンが起こったという。ノード u の少なくとも1つの近傍がトランスミッタであり、メッセージを受け取るかコリジョンが起こったとき、レシーバがシグナル μ を聞くと定義されるモデルのことである。論文 [1] において、コリジョン検知機能がなければ ARB は実行不可能であることが証明されている。

Local Improvement of Acknowledged Radio Broadcast Algorithms

[†]Satoshi OOKUBO, Information and System Engineering Course, Graduate School of Science and Engineering, CHUO University

[‡]Takao ASANO, Department of Information and System Engineering, Faculty of Science and Engineering, CHUO University

[§]移動端末同士が一時的に構築するネットワーク。基地局・専用線などの基盤インフラに依存しないため、災害時などにおける利用が注目されている。

は, G_k のスパニング木 T_k とこの木に関するオイラー閉路 C_k を構築する.

3.2 EXPLORE-EXPAND-CHECK

フェーズ k における改良点を以下に記述する.

ステージ A: ステージの最後にラウンドを 1 つを追加する. このラウンドにおいて, 2^k より大きいラベルを持つすべてのノードはメッセージを送信し, 2^k より小さいラベルを持つすべてのノードは, レシーバとして振る舞う. このラウンドでシグナル μ を聞くすべてのノードは警告ノードと呼ばれる.

ステージ B: EXPLORE-AND-EXPAND と同一.

ステージ C: 警告ノードがトークンを近傍に送るとき, トークンに警告メッセージを付加する. そして, トークンを得たノードは警告ノードになる.

フェーズ k の終了時にソースが警告ノードでなければ, ソースは RB が完了したことを知る.

4 提案手法

Chlebus et al. の手法では, フェーズ k のステージ C は 2^{k+1} ラウンドから構成される. それに対し, フェーズ k で構築される閉路の長さは高々 $2(2^k - 1)$ であることから, トークンは高々 $2(2^k - 1)$ ラウンドで G_k を探索することが可能である. また, ステージ C でトークンによって各ノードに割り振られる k -tag は, 高々 $2^{k+1} - 2$ までとなるので, フェーズ $k+1$ のステージ B は, 高々 $2^k - 2$ ラウンドとすることが可能である. つまり, ステージ C の冗長なラウンドを排除することにより, トークンにより割り振られる k -tag の数を少なくし, 次のフェーズのステージ B のラウンド数も減少させている.

なお, 本提案手法は各ノードがラウンド数とともにフェーズ数を知っている仮定のもとで実現される.

後述の計算機実験で, 提案手法は Chlebus et al. の手法に対して, どの程度ラウンド数が減少するかについて述べる.

5 実験的性能評価

各ノード数において単純で連結な対称有向グラフをランダムで 250 個発生させた. 辺数は (1): ノード数の 2 倍, (2): ノード数の 4 倍, (3): ノード数の 6 倍, の 3 種類となっている. 図 1 の A, B は, A は各ノードが現在のフェーズ数を知っている仮定のもとでの Chlebus et al. の手法, B は提案手法を表している.

Chlebus et al. と提案手法を (1), (2), (3) に適用し, ARB が完了する平均ラウンドを比較した.

**ラベル $1, \dots, 2^k$ のノードの集合から導かれるソースを含むネットワークの連結成分

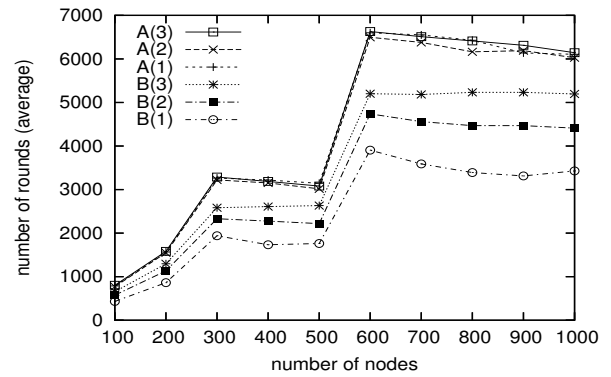


図 1 Chlebus et al. の手法 (A) と提案手法 (B) における ARB を達成する平均ラウンド数の比較

図 1 を見ると, Chlebus et al. の手法は辺数が増加することによるラウンド数の変化はさほど見られなかったが, 提案手法は辺数が増えるとともに, 解が悪くなっていくことがわかる. これは, 辺数が増加するとともにステージ C が開始されるフェーズが早くなるためだと考えられる.

6 むすび

提案手法は, 漸近的計算量 $O(n)$ は改善しないが, (1) のようなノード数に対して辺数が少ないグラフにおいて, Chlebus et al. の手法に対して, 半分程度のラウンド数で ARB を達成していることが分かる.

また, Chlebus et al. の手法, 提案手法ともにノード数が 2 のべき乗+1 ごとにフェーズが 1 つ進み, ノード数が 2 のべき乗の完全グラフのときに Chlebus et al. の手法と提案手法のラウンド数の差が最も小さくなる. しかし, ノード数 n を, $2^{k-1} < n \leq 2^k$ とすると, n が 2^{k-1} により近いとき, 提案手法は, より大きくラウンド数を減少させることができる.

以上に述べたようなグラフに対して, 提案手法は Chlebus et al. の手法より有用である.

謝辞

本研究は, 一部, 文部科学省科学研究費補助金からの援助のもので行われたものである.

参考文献

- [1] Bogdan S. Chlebus, Leszek Gasieniec, Alan Gibbons, Andrzej Pelc, Wojciech Rytter: Deterministic Broadcasting in Unknown Radio Networks. *Proceedings of the 11th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, San Francisco, January 2000, pp. 861–870.