

# 無線ビーブネットワークにおける極大マッチングアルゴリズム

小野優也<sup>†</sup> 大下福仁<sup>††</sup> 角川裕次<sup>†</sup> 増澤利光<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻

<sup>††</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

**概要** 本稿では、ビーブモデルを用いて極大マッチングを解く乱択アルゴリズムを提案する。ビーブモデルとは、ノードの通信能力を搬送波の送信と検知のみに限定したブロードキャストモデルである。本アルゴリズムは、ネットワークポロジは任意かつ匿名ネットワークを仮定している。さらに、ノードの初期知識は使用可能チャネル数  $F$  のみである。また、各ノードは同期起動かつスロット同期される。同期起動とは、ある時刻で全てのノードが一斉にアルゴリズムを開始することであり、スロット同期とは一つの通信アクションの時間が全てのノードにおいて等しいことである。本稿では、はじめに諸定義とモデルを説明し、次に提案アルゴリズムの概要と今後の研究方針について述べる。

## 1 はじめに

本稿では、無線ネットワークにおける極めて厳しいブロードキャストネットワークモデルであるビーブモデルを用いて、極大マッチングアルゴリズムを考える。ビーブモデルとは、ノードの通信能力を搬送波の送信 (ビーブ) と検知 (リスン) のみに限定したモデルであり、2010 年に実装手法が提案 [6] されてから様々なアルゴリズムがビーブモデルで提案されている [1-3, 5, 7, 8]。搬送波のみを用いるため、メッセージパスモデルと比較して通信コストが低いことや小型機器への実装が容易であることが特徴である。以降では、はじめに諸定義とビーブモデルを説明し、次に極大マッチングを解く乱択アルゴリズムについて説明する。最後に今後の研究方針について述べる。

## 2 諸定義

ノード集合を  $V$ 、リンク集合を  $E$  として、ネットワークを無向グラフ  $G = (V, E)$  とする。ここで、システムに参加するノード数を  $n = |V|$  とし、リンク  $(v, w) \in E$  をビーブを相互に受信できるノードの組とする。ノード  $u$  の隣接ノードを  $N(u) = \{v \in V \mid (u, v) \in E\}$  とする。また、ノード  $u$  から高々  $h$  ホップ内のノードを  $N_h(u)$  とする。

ノード  $u \in V$  に関して  $d(u) = |N(u)|$  をノード  $u$  の次数とし、 $G$  の最大次数を  $\Delta = \max_{u \in V} d(u)$  で表す。次に、グラフ理論で用いられるマッチング集合と極大マッチング集合の定義を示す。

**定義 2.1** 無向グラフ  $G$  について、辺部分集合  $M \subseteq E$  の互いに異なる任意の二つの辺が異なる端点を持つとき、 $M$  をマッチング集合とする。

**定義 2.2** 無向グラフ  $G$  について、 $M$  がマッチング集合かつ任意の辺  $e \in E - M$  に対して  $M \cup \{e\}$  が  $G$  のマッチングではないとき  $M$  を極大マッチング集合とする。

## 3 モデル

ノードの動作は文献 [2] の定義を用いる。時間を長さ  $\mu$  で分割し、分割された時間をスロットとよぶ。全ノードの  $\mu$  は等しく、 $\mu$  時間経過後には次のスロットを開始する。また、各ノードは 1 スロット毎に以下の動作を行う。

- ビーブもしくはリスン
- 局所計算

さらに、全ノードは同じ時刻で起動し、1 スロット目からアルゴリズムを開始する。このとき、各ノードは隣接ノードやグラフ構造などの情報は知らず、自身も識別子を持たない。ビーブモデルでは、あるスロットでビーブもしくはリスンしたノードは隣接ノードの通信アクションに応じてそれぞれ以下の情報を区別する。

**送信者側** どの隣接ノードもビーブしなかった (サイレント) もしくは隣接ノードのうち少なくとも一つのノードがビーブした (衝突)。

**受信者側** どの隣接ノードもビーブしなかった (サイレント) かちょうど一つの隣接ノードがビーブした (ビーブ) もしくは少なくとも二つのノードがビーブした (衝突)。

### 3.1 マルチチャネルモデル

さらに本稿では、文献 [4] で用いられるマルチチャネルモデルをビーブモデルでも同様に定義する。各ノードは 1 スロット毎にビーブもしくはリスンを一つのチャネル  $c$  に対して行う。あるスロットでノード  $u$  がチャネル  $c$  を選択したときに、どの隣接ノードも  $c$  と異なるチャネルを選択した場合は、隣接ノードの動作に関わらずに  $u$  はサイレントと判別する。使用できるチャネル数を  $F$  で表し、 $F > 2(\Delta - 1)$  であると仮定する。

本稿では、以上のマルチチャネルビーブモデルを用いるため、マッチング集合と極大マッチング集合を以下のように定義する。

**定義 3.1** 各ノードが高々一つのチャネルを決定し、それらがちょうど一つの隣接ノードと等しいとき、その状況をマルチチャネルモデルにおけるマッチングと呼ぶ。

**定義 3.2** チャネルを決定していないノードがチャネルをどのように選択してもマッチングを満たさないとき、その状況をマルチチャネルモデルにおける極大マッチングと呼ぶ。

## 4 極大マッチングアルゴリズム

本節では、マルチチャネルビーブモデルを用いて定義 3.2 の極大マッチング問題を解くアルゴリズムを提案する。アルゴリズムの基本方針は、まず各ノードが 1 から  $F$  の中からチャネルを一つ選択し、それらがちょうど一つの隣接ノードと等しければマッチングしたと判定して終了し、



---

**Step 3** 隣接との状態通知・検出

---

```
1: if ( $state = \mathbb{L}$ ) then
2:   beep on 0
3:   if (silent) then terminate
4: else
5:   wait for 1 slot
6:   for each  $x \in \{1, 2, \dots, \mathcal{F}\}$  do
7:     if ( $state = \mathbb{M} \wedge x = match$ ) then
8:       beep on  $x$ 
9:       terminate
10:  else if ( $state = \mathbb{L}$ ) then
11:    listen on  $x$ 
12:    if (beep or collision) then
13:       $ch \leftarrow ch \setminus \{x\}$ 
14: end for
```

---

ロジが任意かつ匿名であり、ノードがチャネル数  $\mathcal{F}$  しか知らない条件で動作し、解の出力は必ず正しいが実行時間は確率的であるラスベガスアルゴリズムである。また、アルゴリズムの開始時刻は全てのノードで同じであるが、文献 [5] でビーブモデルにおける同期起動アルゴリズムが提案されているため、厳しい制約ではないといえる。今回はチャネル数  $\mathcal{F}$  に制限を加えているが、この制限を除去した場合においてもアルゴリズムに少し変更を加えるだけで動作する。しかし、定義 2.2 と合致した解が得られないため、今回は制限付きのアルゴリズムを提案した。

今後の課題としては、本アルゴリズムの正当性と実行時間の解析を行うことである。さらに、本アルゴリズムを衝突検知無しモデルに適用する予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Afek, N. Alon, Z. Bar-Joseph, A. Cornejo, B. Haeupler, and F. Kuhn, *Beeping a maximal independent set*, Distributed Computing **26** (2013), no. 4, 195–208.
- [2] A. Cornejo and F. Kuhn, *Deploying wireless networks with beeps*, Proceedings of the 24th international conference on distributed computing, 2010, pp. 148–162.
- [3] A. Czumaj and P. Davies, *Communicating with beeps*, CoRR **abs/1505.06107** (2015).
- [4] S. Daum, M. Ghaffari, S. Gilbert, F. Kuhn, and C. Newport, *Maximal independent sets in multichannel radio networks*, Proceedings of the 2013 acm symposium on principles of distributed computing, 2013, pp. 335–344.
- [5] K.-T. Frster, J. Seidel, and R. Wattenhofer, *Deterministic leader election in multi-hop beeping networks*, Distributed computing, 2014, pp. 212–226.
- [6] R. Flury and R. Wattenhofer, *Slotted programming for sensor networks*, Proceedings of the 9th acm/ieee international conference on information processing in sensor networks, 2010, pp. 24–34.
- [7] B. Huang and T. Moscibroda, *Conflict resolution and membership problem in beeping channels*, International symposium on distributed computing (disc) 2013.
- [8] Y. Métivier, J. M. Robson, and A. Zemmari, *On distributed computing with beeps*, ArXiv e-prints (July 2015), available at 1507.02721.