

Title	指向性アンテナを用いた Angle Table 生成法に関する研究
Author(s)	葛谷, 将典
Citation	
Issue Date	2003-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1678
Rights	
Description	Supervisor:中野 浩嗣, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

指向性アンテナを用いた Angle Table 生成法に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

葛谷将典

2003年3月

修士論文

指向性アンテナを用いた Angle Table 生成法に関する研究

指導教官 中野浩嗣 助教授

審査委員主査 中野浩嗣 助教授
審査委員 浅野哲夫 教授
審査委員 平石邦彦 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

110039 葛谷将典

提出年月: 2003 年 2 月

概要

本論文では、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークにおいて、効率的な通信をするために必要な隣接ノードの位置情報を取得する方法を提案する。この隣接ノード情報を用いて適切な指向性制御を行えば、干渉低減により同時通信数を増加させスループット特性を向上させることができる。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第2章	無線アドホックネットワークと指向性アンテナ	3
2.1	固定ネットワーク, 従来のネットワークとの相違	3
2.2	指向性アンテナ	4
2.3	指向性アンテナを用いた応用例	4
第3章	モデルの仮定	6
3.1	指向性アンテナモデルの仮定	6
3.2	隣接ノード位置情報の必要性	7
3.3	既存の Angle Table 生成法	9
第4章	Angle Table 生成法	14
4.1	提案手法 1	14
4.2	提案手法 1 の問題点	15
4.3	提案手法 2	16
第5章	シミュレーションによる比較と評価	18
5.1	既存の手法と提案アルゴリズムの比較	18
5.2	提案手法の評価	20
第6章	まとめ	26

第1章 はじめに

1.1 背景と目的

近年のハードウェアの技術の進歩により小型で高性能な携帯情報端末を自由に持ち運び、利用することが可能になった。さらに高度な無線技術によりいつでもネットワーク接続を可能にする環境が整った。しかし、モバイル環境下において端末間で情報の交換や共有を直接行いたいという要求は十分には満たされていない。いつでもどこでも自由に端末間で情報の交換・共有が可能になれば、名刺交換やスケジュール調整、議事録やメモの共有、資料の配布等の、これまで人が行ってきた協同作業の支援が可能になることが期待される。このように、必要に応じ一時的に構築するネットワークはアドホックネットワークと呼ばれ、近年盛んに研究が行なわれている [1]~[5]。アドホックネットワークでは、ネットワークを構成する端末は事前に互いの存在を知らず、集中管理を行うサーバは存在しない。そのためアドホックネットワークのような新しい形態の移動体通信においては、従来の固定的なネットワークの枠組みでは柔軟な対応が難しい。技術的な大きな問題としてリソースの消費問題がある。これは制御通信量が多くなりネットワークやCPUなどの浪費問題が指摘される。

従来のアドホックネットワークは主に無指向性アンテナ(全方向アンテナ)の利用が想定されていた。しかし最近、アドホックネットワークに適した、つまり小型可能な指向性アンテナが開発されている [11][12]。この指向性というのはアンテナから電波が出力されるとき、方向によって電波の強さが異なるという特性のもっている。アドホックネットワークにおいて指向性アンテナを用いたときのメリットは、通信電波の重なりを減らし、電波の干渉を低減させることが可能となる点である。それに伴いネットワーク内での同時通信数を増加させ、スループットを向上させることができる。しかし、指向性アンテナはあらかじめ送信相手がわかっている場合に用いられるもので、隣接ノードがわからないアドホックネットワークにはそのままでは使用することはできない。そのため指向性アンテナを用いて効率的な通信を行う前に、指向性アンテナを用いてそれぞれのノードが隣接ノードの位置情報を取得することが必要となる。そこで本論文では、指向性アンテナを用いてこの隣接ノード情報を効率よく取得するための手法を提案する。

1.2 本論文の構成

本論文の内容は以下の通りである。第2章では従来のネットワークとアドホックネットワークとの相違点を説明し、そして指向性アンテナの特徴と応用例を述べる。

第3章では本論文でのモデルを定義し、アドホックネットワークに指向性アンテナを用いたときの隣接ノード位置情報の必要性とその既存の取得法を説明する。第4章では隣接ノード位置情報を取得するための2つの提案手法を述べる。第5章では既存手法と提案手法を同じ条件下で評価・比較を行う。6章ではまとめと今後の課題について述べる。

第2章 無線アドホックネットワークと指向性アンテナ

本章ではまず現在の固定ネットワーク、基地局やアクセスポイントを使った無線ネットワークとアドホックネットワークの違いを説明し、その後、指向性アンテナを用いたときのアドホックネットワークにおける問題点と解決策を説明する。

2.1 固定ネットワーク、従来のネットワークとの相違

アドホックネットワークとは自律分散ネットワークと言われている。主な特徴としては次の通りである。

- ネットワーク構築前に設定がない。
- 他の端末の位置を知らない。
- 端末が、基地局・中継局のような役割を果たしながらネットワークを構成するため、固定ネットワークインフラが不必要なる。
- ネットワークを構成する端末の頻繁な変化、即ち、ネットワークトポロジーの動的な変化に対応可能となる。
- 対象とする端末間で直接リンクが張られていない場合、近傍の端末を中継したデータのやりとりが可能である。(マルチホップ通信)

PCを例にとると、複数の端末がサーバを利用せず、P2P的に接続し、ネットワークを構成するようなケースが想定される。

表 2.1 は固定ネットワーク、従来の無線ネットワーク (携帯電話や IEEE802.11 等に準拠した無線デバイスによるもの)、アドホックネットワークについてそれぞれ、その接続の状況、設定の必要の有無についてまとめたものである。固定ネットワークに存在する端末は、常時ネットワークに接続されており、ルーティングテーブルや他の端末のアドレスの設定が必要である。無線ネットワークでは、ネットワークへの接続は常時ではなく、携帯電話の場合はユーザが接続を意図した時であり、無線デバイスの場合は、無線の有効範囲に入ったときである。しかし、携帯電話はホストの電話番号の設定が必要であり、IEEE802.11 準

拠の無線ネットワークデバイスでは、セキュリティや混信防止のための ID が必要であるため、何も設定せずに使うことはできない。また、複数のネットワークに接続する場合はルーティングの設定が必要となる。一方、アドホックネットワークでは、各端末が自律的に他の端末を認識してネットワークを構築し、ルーティングテーブルを構築するため、接続が随時であっても、設定は不要である。

	接続	設定
固定ネットワーク	常時	必要
従来の無線ネットワーク	随時	必要
アドホックネットワーク	随時	不要

表 2.1: 各ネットワークの特徴

2.2 指向性アンテナ

この節では指向性アンテナについての説明を行う。指向性アンテナとは、電波の出し側・受け側の方向が決まっている場合に用いられるもので、パラボラアンテナなどもこれにあたる。これとは逆に、方向が決まっていない場合に用いられるのが無指向性（全方向性）アンテナである。

アンテナから電波が出ていくとき、方向によって強さが異なるという特性が「指向性」である。また「無指向性」とは、電波の放射特性に方向による強弱がない、つまり全方向にまんべんなく放射するという特性である、アンテナは用途に合わせて適切な指向性を持ったものを使用する必要がある。

指向性出力を可能にするアンテナは、今まで多くの研究者によって研究、開発されてきたが、そのほとんどが指向性を制御する演算をデジタル回路でするため、高速のビーム形成ができる利点がある反面、回路規模、消費電力が大きくなり、移動端末への搭載に問題があった。

しかし近年のアンテナ技術の向上により、指向性パターンを電子的に制御できるアンテナが開発され [11][12]、これにより小型化、低消費電力が実現し、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークに関する研究が盛んに行われ始めてる [13]。

2.3 指向性アンテナを用いた応用例

小型可能な指向性アンテナの特性を生かした応用として現在、雪山での探索のほか、これをハイカー、老人、幼児、ペットなどに予め持たせることにより、山岳や被災地（地震によるがれき現場）などでの遭難、徘徊、迷子などが生じた場合の発見、救難、人命救助にも貢献できると考えられている。事故現場でのリアルタイムの探索が可能なので迅速な救難

活動と2次災害発生の防止も期待できる。また、探知機を移動車に搭載して電波到来方向へかじ取りする機構を設ければ、どこまでも追いかけてくるロボットやボタンひとつで呼びつけることのできるロボットが作れる。

第3章 モデルの仮定

この章では本論文で使用する指向性アンテナのモデルを定義し、その後、指向性アンテナを用いて隣接ノードの位置情報の必要性を述べる。

3.1 指向性アンテナモデルの仮定

まず本研究で扱うのモデルを説明する。

- 指向性アンテナの通信範囲は中心角 30° の扇形とする (図 3.1)
- 1つの通信チャンネルのみ利用可能とする
- 各ノードは移動しない
- 干渉が生じたときにノイズを受信すること (collision detection) が可能
- 1回のビームを出力するのにかかる時間を1タイムスロットとする

ここでいう通信チャンネルとは、各ノード間のデータ伝送に使用する通信路のことをいう。各ノードは collision detection が可能なので、受信を試みたノードのステータスは、何も受信しない、正確に受信する、干渉 (collision) を受信する、の3つのうちどれかである。正確に受信したときだけ、そのデータを得ることができる。

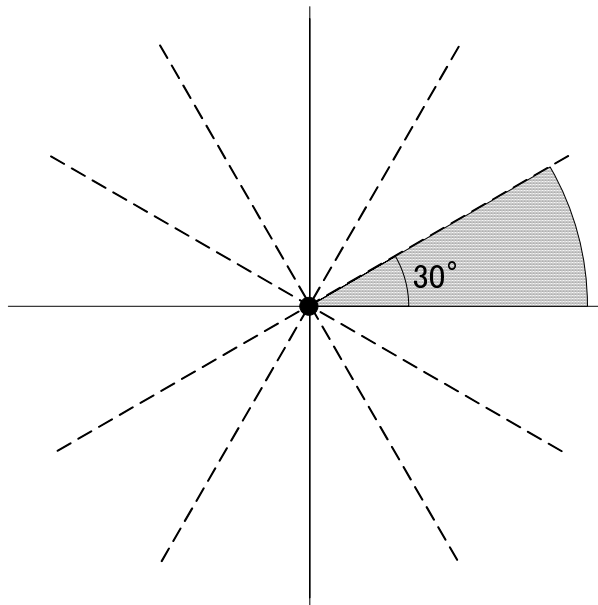
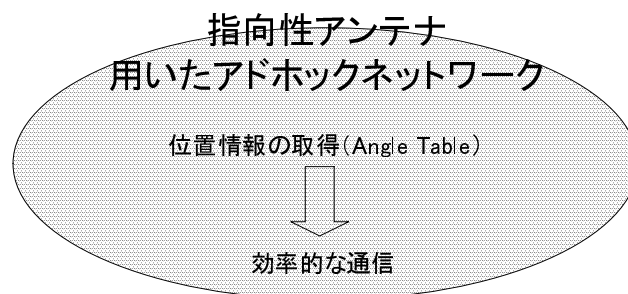


図 3.1: 本研究で扱う指向性アンテナ

3.2 隣接ノード位置情報の必要性

指向性アンテナは通信相手の位置がわかっているならば効率的に使用することができる。しかし端末のみで構成される無線アドホックネットワークの初期状態では隣接ノードの位置がわからない。よってアドホックネットワークで指向性アンテナを使い効率的な通信(消費電力低減やスループットを向上)を実現させるためには、あらかじめ隣接ノードの位置情報を取得する必要がある。この位置情報を記録したものを Angle Table と呼ぶ。



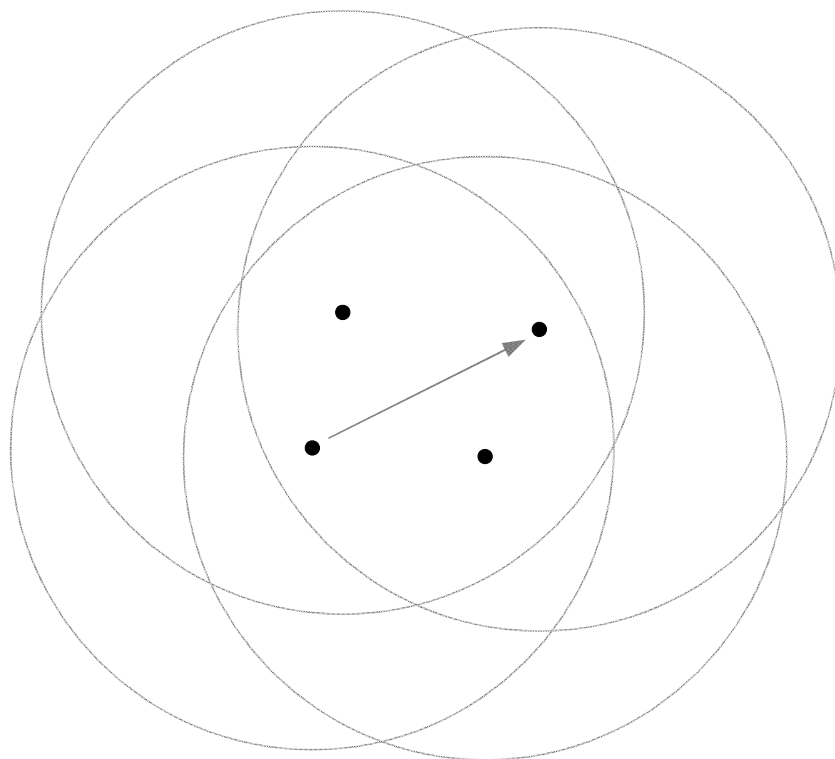


図 3.2: 無指向性アンテナの例 (同時通信数 1)

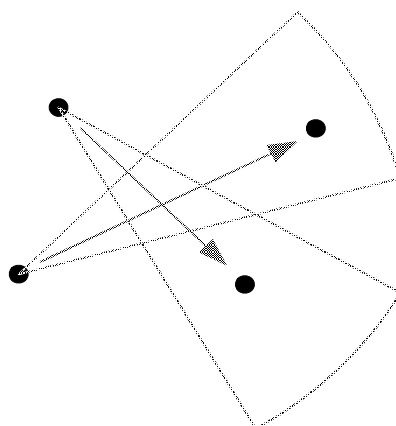


図 3.3: 指向性アンテナの例 (同時通信数 2)

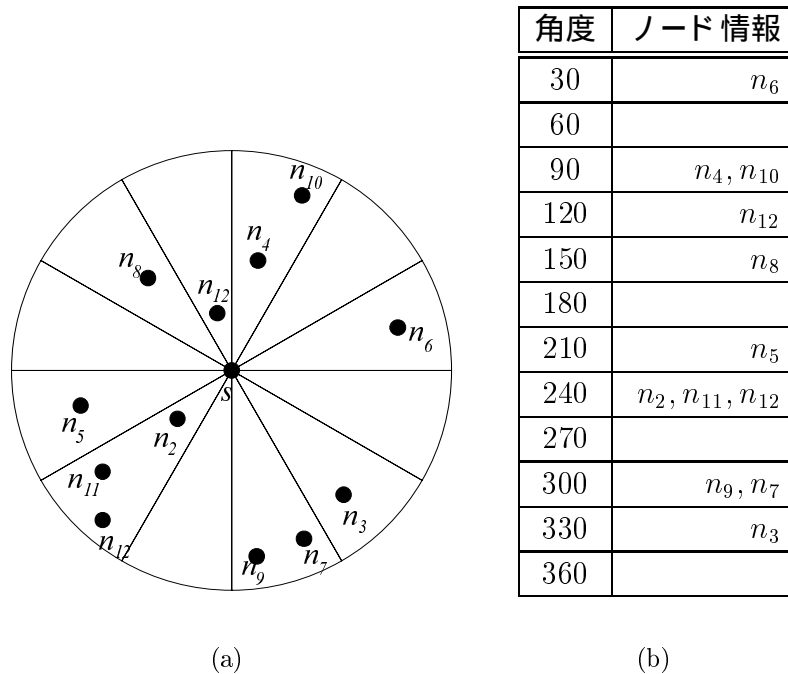


図 3.4: (a) はノード s の隣接情報の例, (b) はノード s の Angle Table

3.3 既存の Angle Table 生成法

既存の Angle Table の生成法は単純である。条件として、各ノードは指向性アンテナを持っていて、送信する内容は自分のノード ID と出力している方向である。

- 各ノードは任意の方向を選び、その方向から反時計回りで指向性ビームを出力する
- 受信したノードはその内容を自分の Angle Table へ書き込む

以上のことを Angle Table が完成するまで繰り返す。

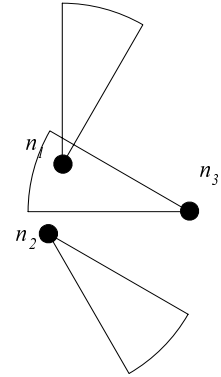
図 3.5, 3.6 はノード n_1, n_2, n_3 が既存手法により Angle Table を生成している様子を表している。(通信チャンネルは 1 つ) 図 3.5 は 1 回のターンでそれぞれノードが Angle Table を完成させているが、図 3.6 は n_3 のみの完成である。この場合はまた任意の方向へ出力し反時計回りで指向性ビームを出力することになる

使用可能な通信チャンネル数が少ないときや、ノード数が多いときはこの方法では情報取得を試みても頻繁に干渉が起こり、各ノードが正確に Angle Table を生成するには時間がかかると思われる。

n_1	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
9	
\vdots	\vdots
12	n_3

n_2	
Angle	Node ID
1	
\vdots	\vdots
3	
\vdots	\vdots

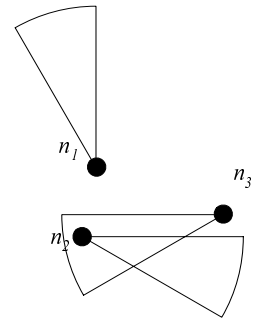
n_3	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
6	
7	
\vdots	\vdots



n_1	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
9	
\vdots	\vdots
12	n_3

n_2	
Angle	Node ID
1	n_3
\vdots	\vdots
3	
\vdots	\vdots

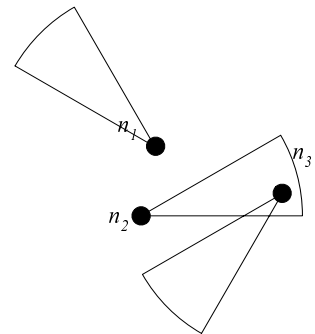
n_3	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
6	
7	
\vdots	\vdots



n_1	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
9	
\vdots	\vdots
12	n_3

n_2	
Angle	Node ID
1	n_3
\vdots	\vdots
3	
\vdots	\vdots

n_3	
Angle	Node ID
\vdots	\vdots
6	
7	n_2
\vdots	\vdots



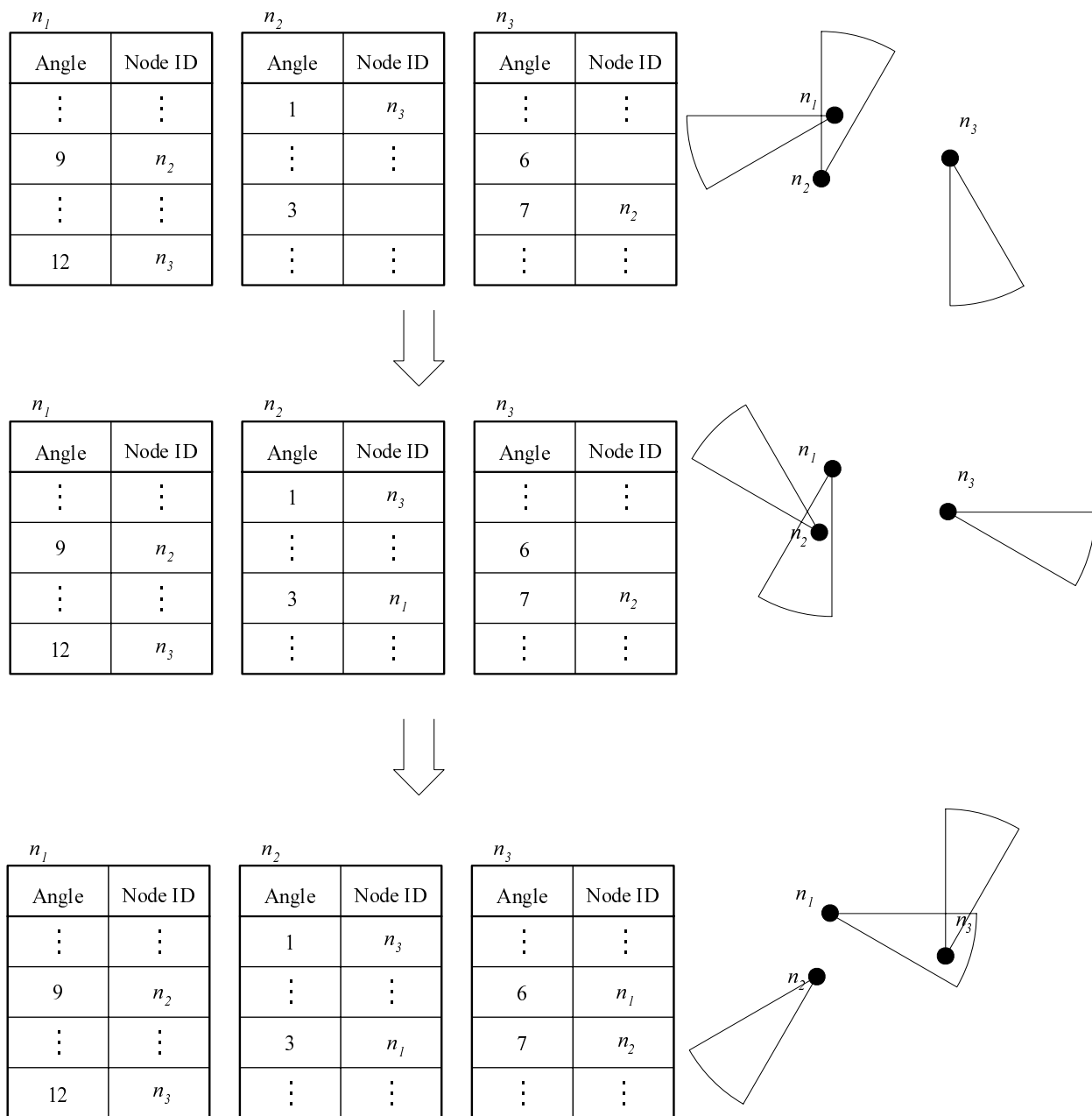
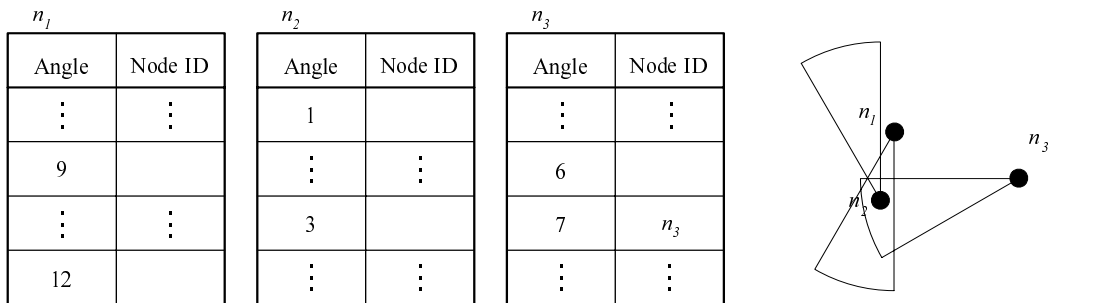
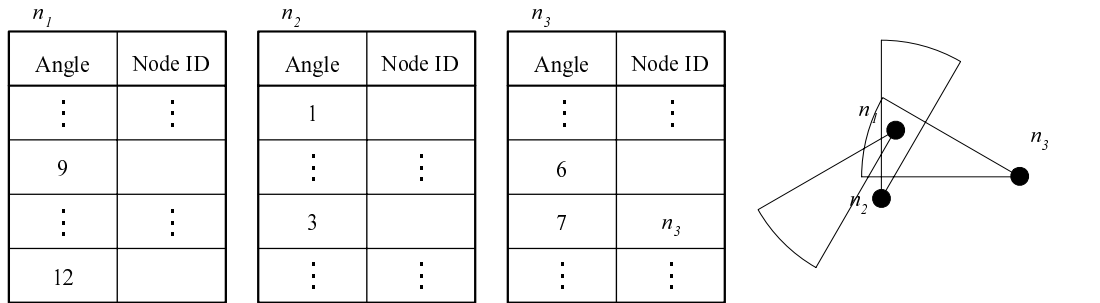
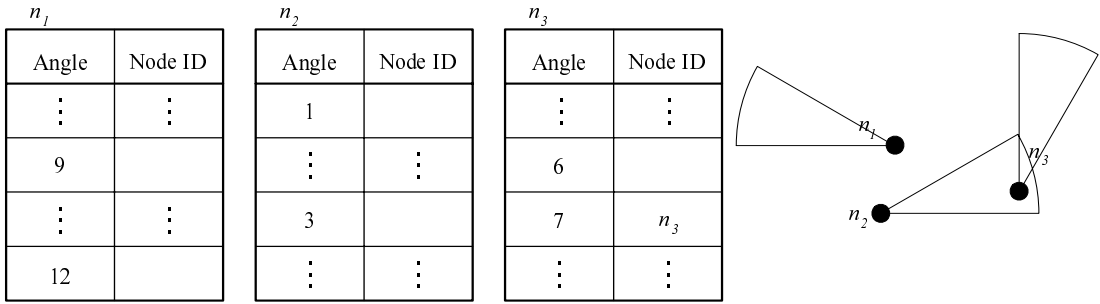


図 3.5: 既存手法を使った Angle Table の生成例 (1 ターンで成功)



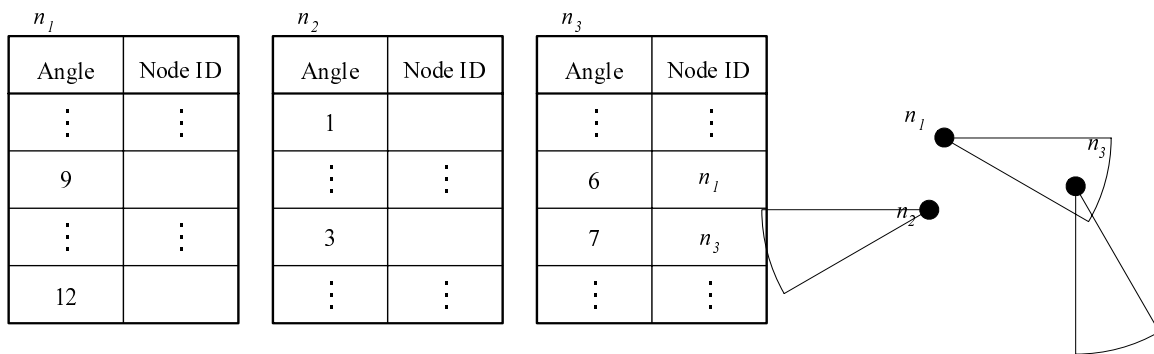


図 3.6: 既存手法を使った Angle Table の生成例 (1 ターンでは失敗)

第4章 Angle Table生成法

4.1 提案手法1

既存手法では正確に受信できたノードは、その受信内容からノード ID と方向を自分の Angle Table に記録することができるが、ノイズを受信したノードは ID はもとより送信側の方向も知ることができない。

そこで、本提案手法では全てのノードが各タイムスロットで同じ方向に出力を行う。これは、ノイズを受けたノードがどの方向からの受信であったかを知るためである。そして、次の2つの Phase を Angle Table が完成するまで繰り返す。

Position Phase: 時間差をつけて自分の位置を教える

Collision phase: 受信ができなかったこと教える

具体的なアルゴリズムを以下に示す。

```
1  for  $x = 0$  to
2    for  $i = 1$  to 12
3       $s = \text{random}([1, 2x])$ 
4      for  $j = 1$  to  $2^x$ 
5        if  $x = 0$ 
6          方向  $i$  に自分の位置を送信 ;
7          同時に方向  $i + 6$  から受信したら Angle Table に記録 ;
8        else if  $j = s$  かつ 前回の collision phase で「受信できなかった」を受信
9          方向  $i$  に自分の位置を送信 ;
10         同時に方向  $i + 6$  から受信したら Angle Table に記録 ;
11
12     for  $i = 1$  to 12
13       if Angle Table 中の角度  $i$  の記録が collision と書かれていたら
14         方向  $i$  に「受信できなかった」と送信 ;
15         方向  $i + 6$  からなにも受信しなかったら , その方向へは sleep ;
16   if Angle Table のなかに collision を検出できなかった break ;
```

このアルゴリズムの 2 ~ 10 行目までが Position Phase で, 12 ~ 15 行目までが Collision Phase となっている. 提案手法 1 は, まず 1 回目の Position Phase で全てのノードが Angle 1 へ出力する. 各ノードは送信と同時に受信を行う. 受信の内容が正確に読み取れたら, その内容 (ノード ID) を自分の Angle Table へ記録する. もしノイズを受信したら, 受信した方向の Angle に 「collision」と記録する. これを Angle 12 まで行い, 次に 1 回目の Collision Phase へ移る. この Phase では自分の Angle Table を参照し, もし 「collision」と記録されていたらその Angle へ受信できなかったことを伝えるために出力する (ノード ID が記録されているか, または何も記録されていなかったら出力しない). これも Angle 12 まで行う. 2 回目の Position Phase では 1 回目の Collision Phase で受信できなかったと伝えられたノードのみが送信を行う. この Phase では 1 つの Angle へ出力するのに 2 つタイムスロットを使うことが許されているので, 出力するノードはどちらか一方をランダムに選ぶ. 時間差をつけて出力するので, 受信を試みたノードは正確に自分の Angle Table へ記録することができる. もし同じタイムスロットを選んでしまったら 2 回目の Collision Phase で受信できなかったことが伝えられ, 次の Position Phase でさらにタイムスロットを設けて, つまり, 時間差がつくように出力する. このアルゴリズムは, i 回目の Collision Phase 後の Position Phase では 2^i 個のタイムスロットを使うことが許されている. 任意のノード l についてこのアルゴリズムの終了は, ノード l の Angle Table の中に collision が存在しないかつ, l の隣接ノードの Angle Table の中に l が正確に記録されたときである.

4.2 提案手法 1 の問題点

提案手法 1 の利点は, 送信できた方向とできなかった方向を明確に区別するので, 次の Position Phase で時間差をつけ出力することにより Angle Table を生成するためのタイムスロットを減らすことができる. しかし問題点として, ノード数が少ないときはほとんど存在しないが, ノード数が増加すると, 1 度正確に送信できたにも関わらず, 他ノードの影響でまた送信しなければならないノードが現れる可能性がある. 例えば, ノード n_2, n_3, n_4 の同方向にノード n_1 が存在したとする. 1 回目の Collision Phase では n_1 は n_2, n_3, n_4 へ向けて受信できなかったことを伝えるので, 2 回目の Position Phase で n_2, n_3, n_4 は 2 つのタイムスロットのうちどちらかを選んで送信する. このとき n_2 が 1, n_3, n_4 が 2 を選んだとすると, n_2 は正確に送信することができるが, n_3, n_4 は同時に出力するので n_1 に collision を与えてしまう. すると, 2 回目の Collision Phase では n_1 は n_2 から受信できたことは考慮せず, ただ n_2, n_3, n_4 へ向けて受信できなかったと伝える. これを受信した n_2 は正確に送信できなかったと判断し, 3 回目の Position Phase へ参加することになる. このような

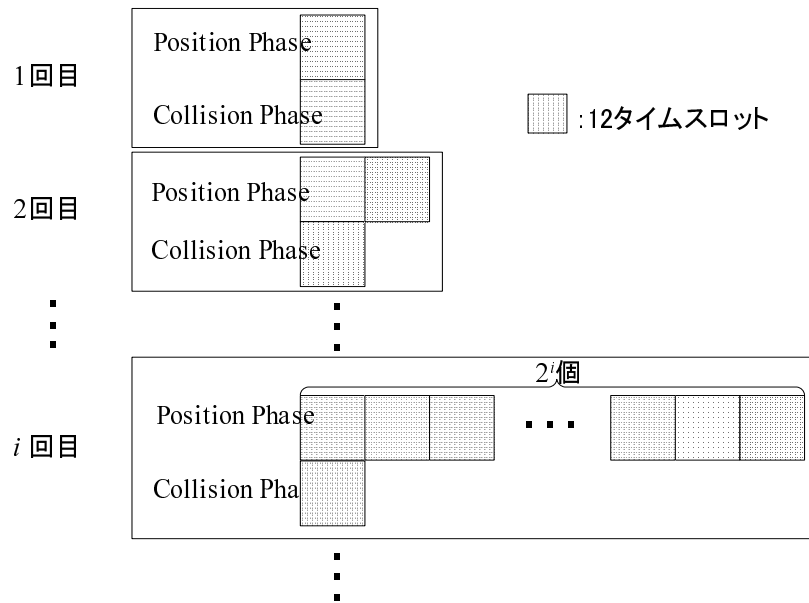


図 4.1: 提案手法 1 の概要図

状況を回避するために次の節で提案手法 2 を述べる.

4.3 提案手法 2

提案手法 2 は Collision Phase でも Position Phase と同じだけのタイムスロットを与えることを提案する. つまり i 回目の Position Phase と Collision Phase には共に 2^i 個のタイムスロットが存在することになる. Position Phase でのタイムスロットでは手法 1 と同様に時間差をつけて出力を試みる. Collision Phase でのタイムスロットは Position Phase で同じ方向から受信できたノードとできなかった (干渉を起こした) ノードを区別し, 送信ノードに教えるためにある.

前節の例を使って説明すると, 1 回目の Collision Phase で n_2 が 1, n_3, n_4 が 2 を選んだ場合, n_1 はタイムスロット 1 のときに n_2 を正確に受信し, n_3, n_4 は受信できないので, 2 回目の Position Phase では受信できなかったタイムスロット, つまり 2 のときに n_2, n_3, n_4 へ送信する. 受信した n_2, n_3, n_4 は自分が出力したタイムスロットと比較し異なっていたら送信が正確に行われたことを知る. つまり n_2 は 3 回目の Position Phase へ参加する必要がなくなる.

提案手法 2 のアルゴリズムを以下に示す.

1 for x 0 to

```

2   for  $i = 1$  to 12
3      $s = \text{random}([1, 2x])$ 
4     for  $j = 1$  to  $2^x$ 
5       if  $x = 0$ 
6         方向  $i$  に自分の位置を送信 ;
7         同時に方向  $i + 6$  から受信したら Angle Table に記録 ;
8       else if  $j = s$  かつ 前回の collision phase で「受信できなかった」を受信
9         方向  $i$  に自分の位置を送信 ;
10        同時に方向  $i + 6$  から受信したら Angle Table に記録 ;
11
12    for  $i = 1$  to 12
13      for  $j = 1$  to  $2^x$ 
14        if タイムスロット  $j$  のときにノイズを受信 ;
15          方向  $i$  に「受信できなかった」と送信 ;
16          方向  $i + 6$  からなにも受信しなかったら , その方向へは sleep ;
17    if Angle Table のなかに collision を検出できなかった break ;

```

ここで 2 ~ 10 行目までが Position Phase で 12 ~ 16 行目までが Collision Phase となる。

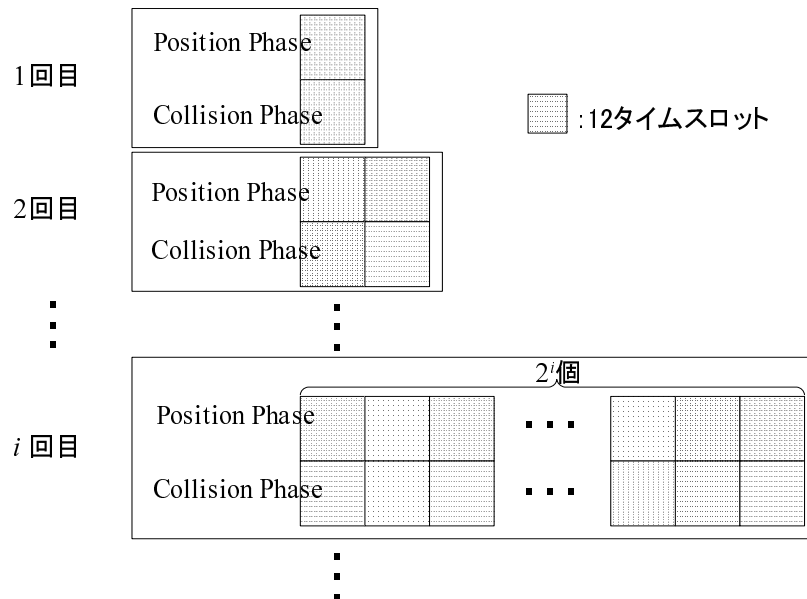


図 4.2: 提案手法 2 の概要図

第5章 シミュレーションによる比較と評価

本章では、第4章で提案したアルゴリズムと既存の手法を実際に計算機上でシミュレーションして比較を行う。

シミュレーション条件は 1000×1000 の二次元空間に指向性アンテナを持ったノードをランダムに配置する (指向性アンテナの通信範囲は 100 とする)。ノード数は 500 から 3000 の範囲で 250 ごとに増加させていく。各ノード数ごとに 1000 ずつ試行し、Angle Table が生成されるまでの平均ターン数 (1 ターン = 12 タイムスロット) を比較する。

5.1 既存の手法と提案アルゴリズムの比較

表 5.1 は既存手法と提案手法 1,2 の比較である。表からわかるようにノード数が 1250 までは既存の手法の方が少ないターン数で Angle Table を生成している。これはノード数が少ないと collision がそれほど起らないため、提案手法の Phase で設けたタイムスロットが逆に生成時間を遅くさせているためだと考えられる。しかし、ノード数が 3000 では提案手法 1 は約 50 倍、提案手法 2 は約 60 倍速く Angle Table を生成していることがわかる。

ノード数	既存の手法	提案手法 1	提案手法 2
500	27.3	37.96	42.44
750	39.2	61.2	87.22
1000	58.1	94.08	120.28
1250	107.7	138.7	137.09
1500	271	182	145.23
1750	566.6	214	170.01
2000	1069.6	257.4	159.08
2250	1954.3	293	220.4
2500	4913	347.08	257.1
2750	11023.8	382.2	290.12
3000	21002.7	435.56	342.23

表 5.1: 既存手法と提案手法の比較 (単位はターン)

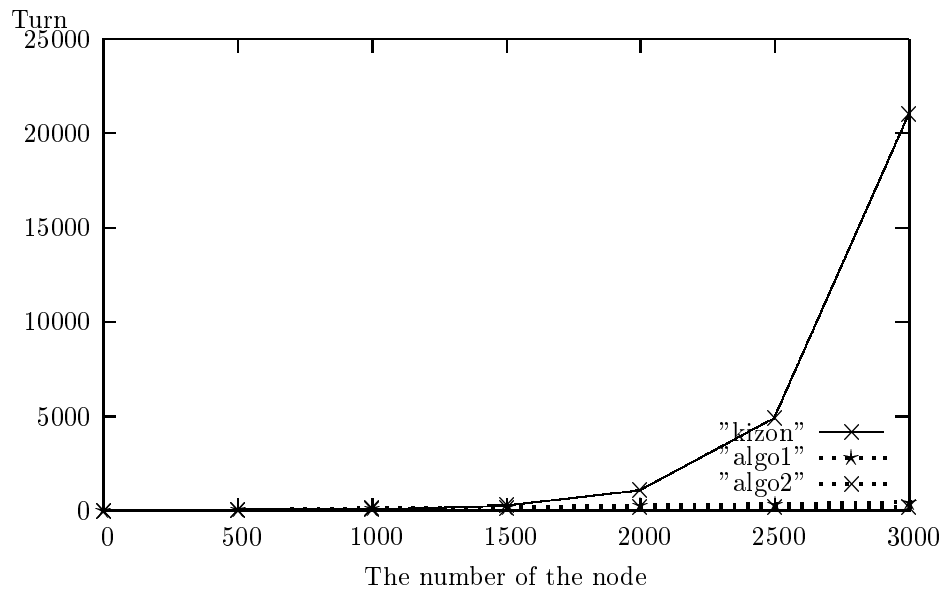


図 5.1: 既存の手法と提案手法の比較

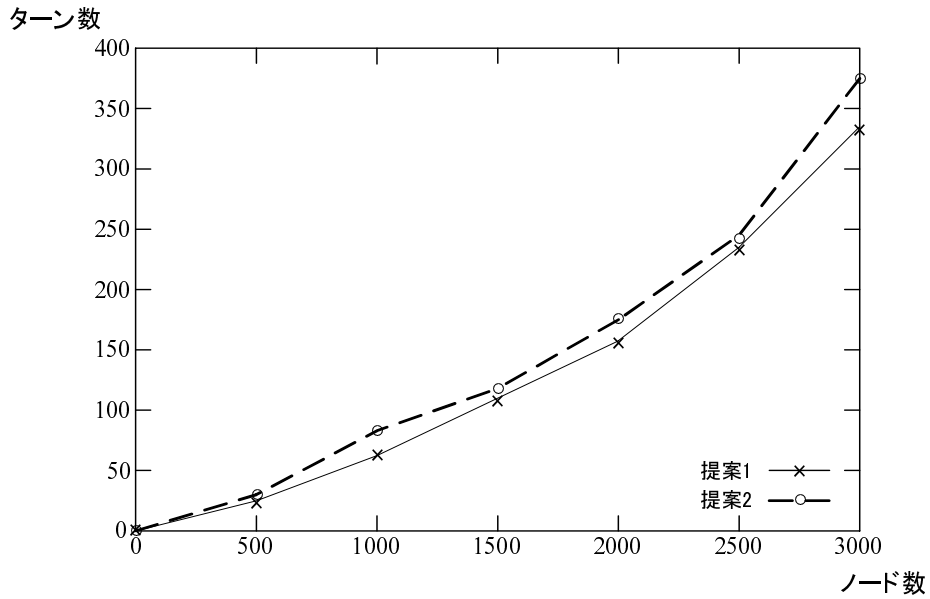


図 5.2: $n=10$ のときの比較

5.2 提案手法の評価

提案手法において今までは, i 回目の Collision Phase 後の Position Phase では 1 方向に 2^i のタイムスロットを与えていた. これはあるノードがある方向に Collision Phase でビームを送信したとすると, 受信したノードグループは異なった乱数を持つまで通信は終わらすことはできない. この終わる確率は Position Phase でのタイムスロット数に関係し, このタイムスロット数が少ないと低いことがわかる. よって i 回目の Collision Phase に対し大きな数の 2^i 個とした.

この節では 2^i ではなく, ある数の定数倍, つまり $n \times i$ (n は $10 \sim$) のタイムスロットを与えて提案手法 1,2 の評価を行う.

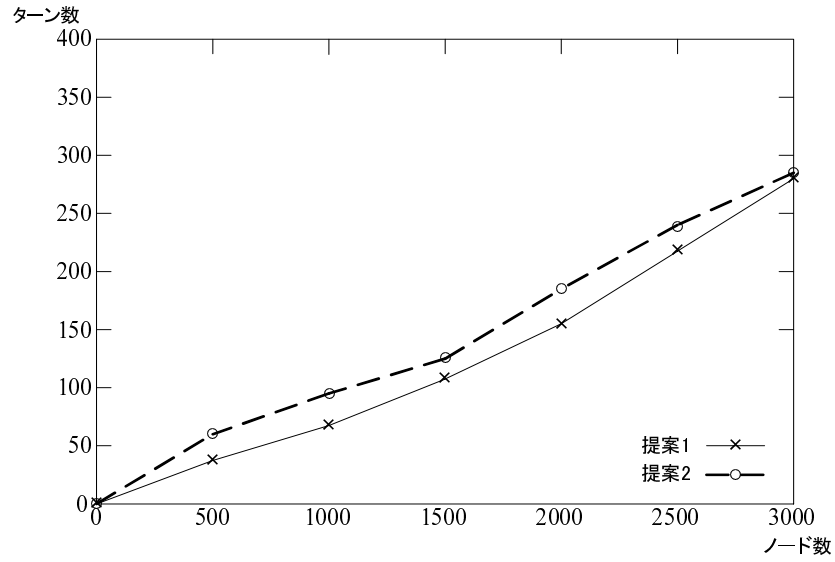


図 5.3: n=20 のときの比較

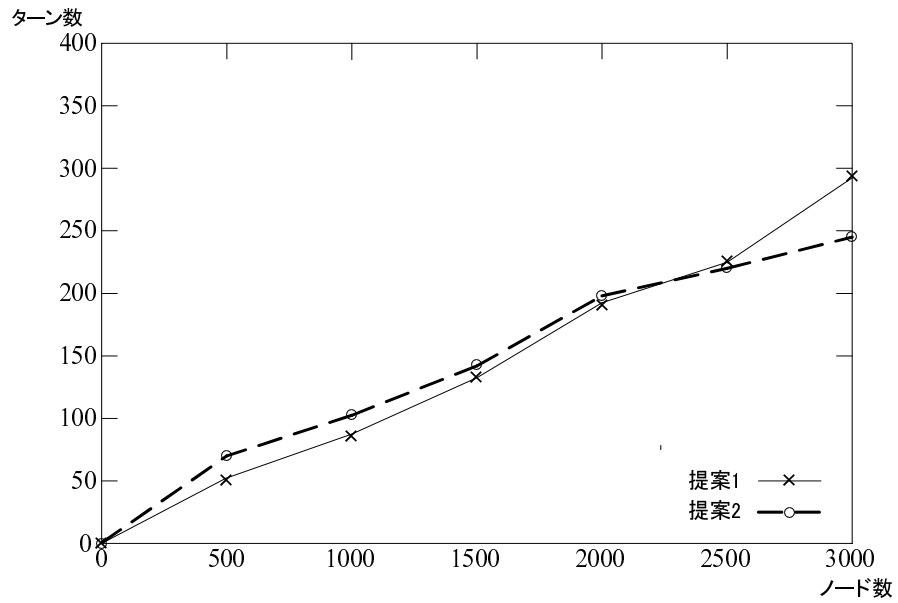


図 5.4: n=30 のときの比較

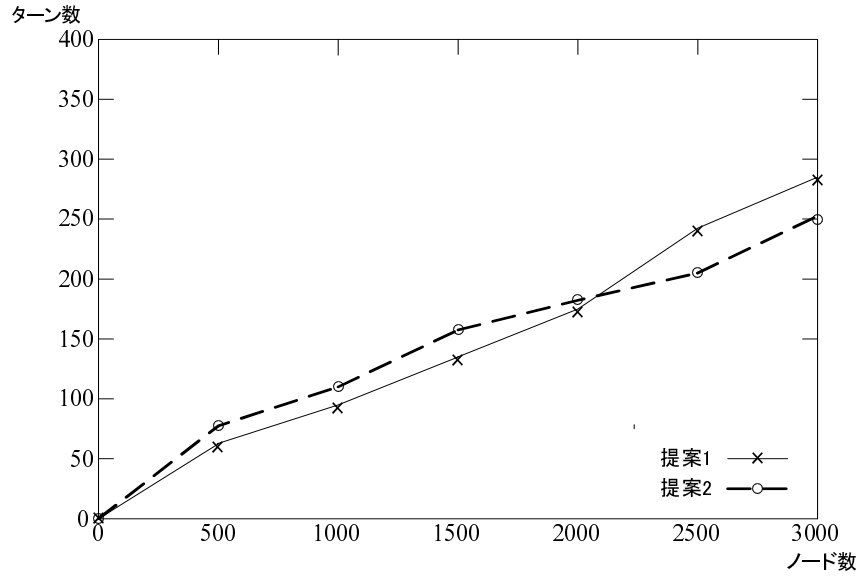


図 5.5: $n=40$ のときの比較

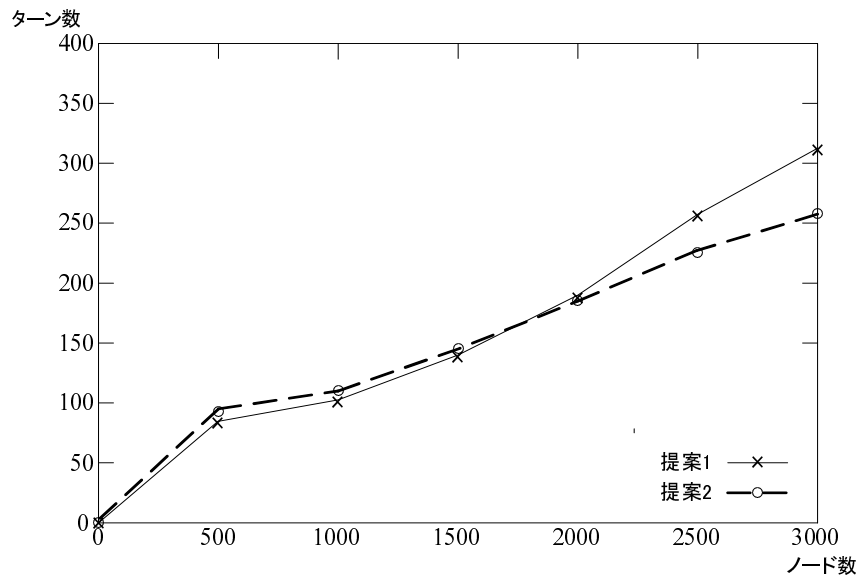


図 5.6: $n=50$ のときの比較

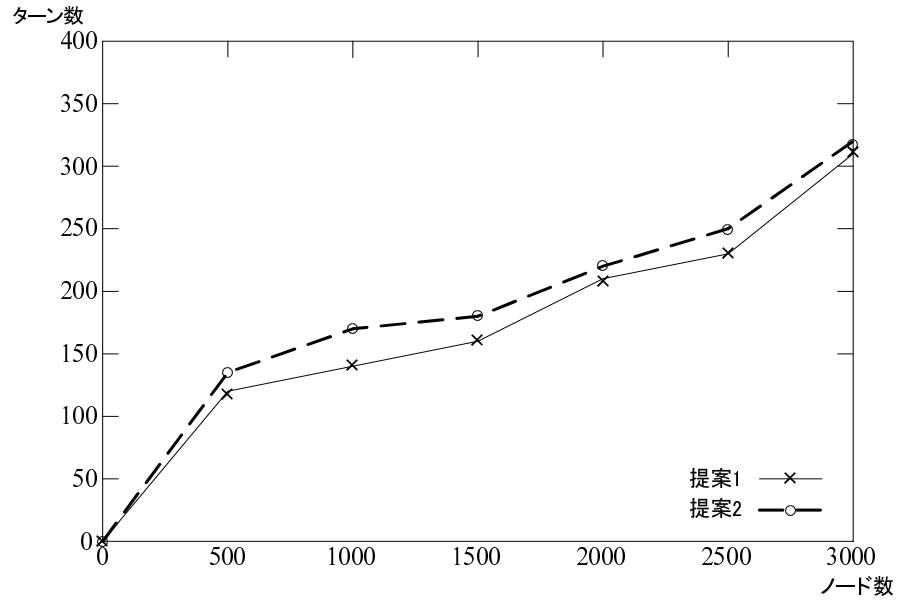


図 5.7: n=60 のときの比較

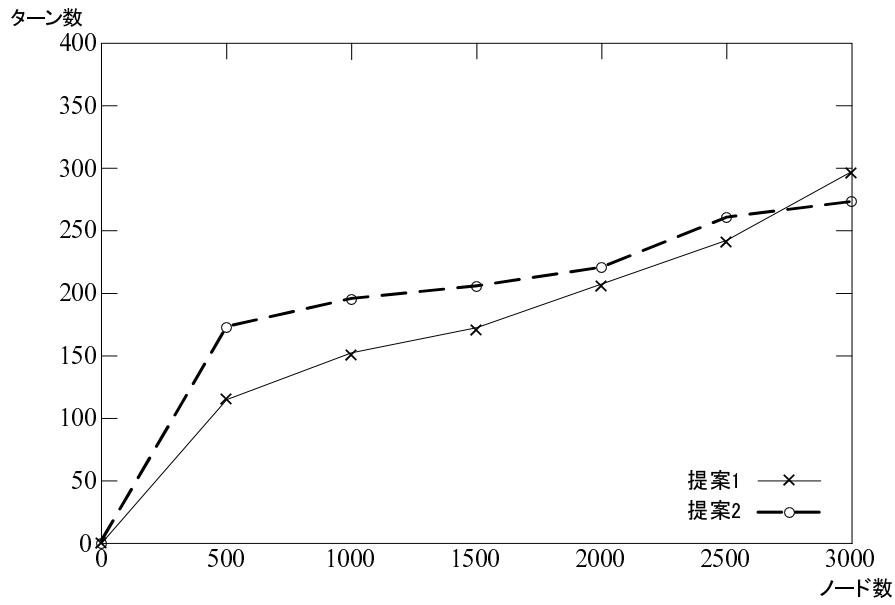


図 5.8: n=70 のときの比較

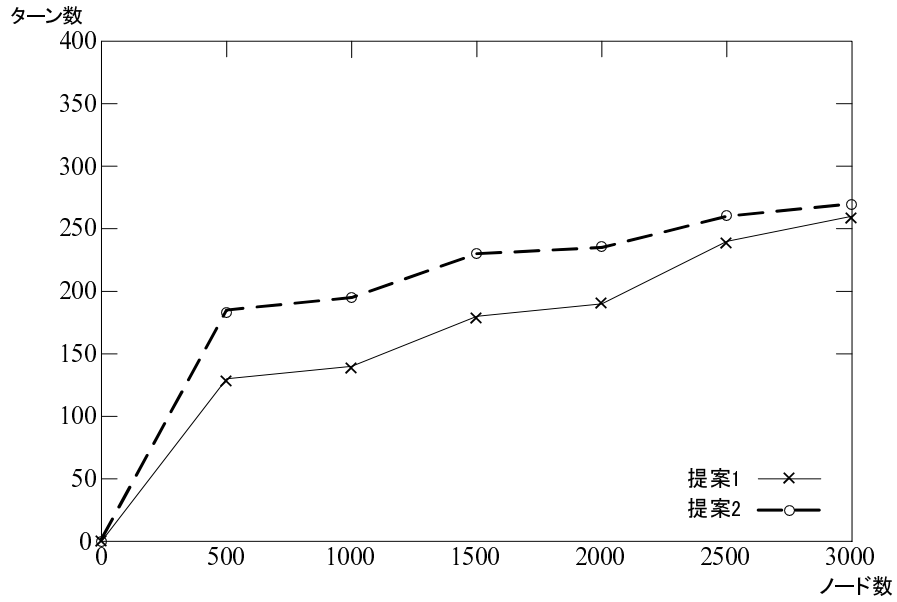


図 5.9: n=80 のときの比較

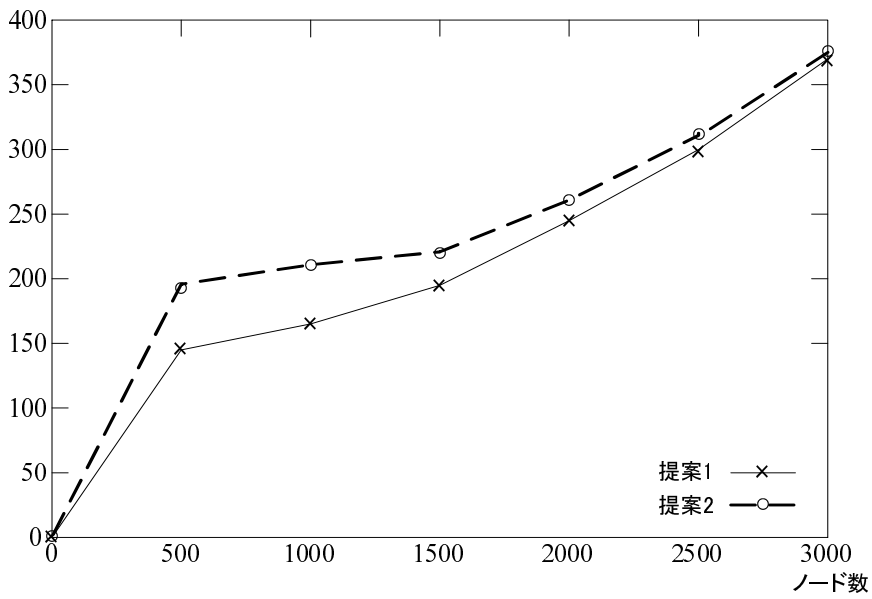


図 5.10: n=90 のときの比較

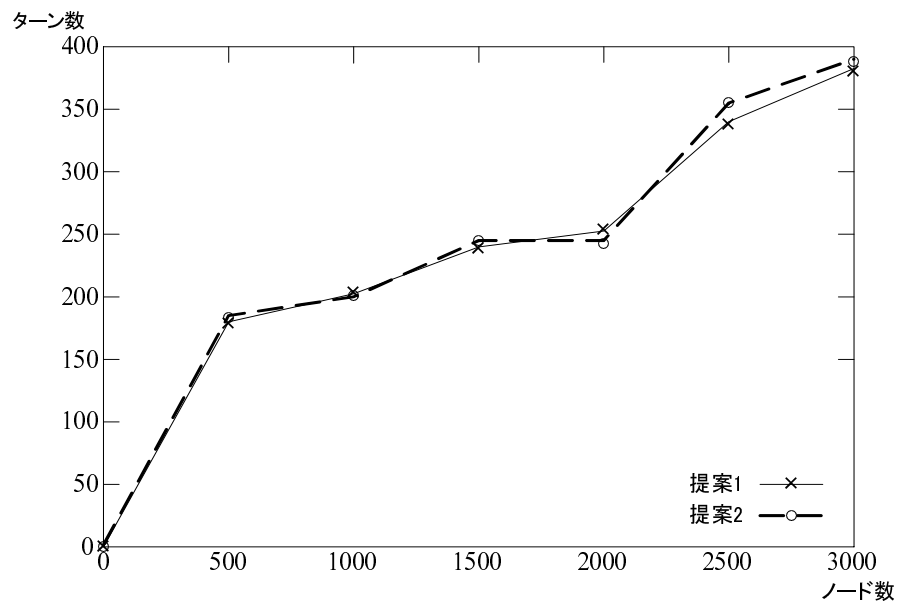


図 5.11: $n=100$ のときの比較

第6章 まとめ

本論文では、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークにおいて同時通信、スループット向上に欠かせない Angle Table の生成法を提案した。既存手法と提案手法 1,2 を計算機を用いてシミュレーションをした結果、ノード数が少ないとき (1250 以下) では、既存手法の方が少ないタイムスロットで Angle Table を生成することができるが、ノード数が 1250 以上になると提案手法の方が高速に生成できることがわかった。理由として、既存手法はノード数の増加により、受信時における干渉が頻繁に発生し Angle Table 生成が困難になるからだと考えられる。また、提案手法 1,2 のみの比較では、ノード数が少ないときは干渉が少ないため、Collision Phase に複数のタイムスロットを与える提案手法 2 は逆に生成時間を遅らせる結果を得た。今回提案した手法は Angle Table の生成における最適解が求まる保証も近似率の保証もないヒューリスティックな解法である。よって今後の課題としては、提案手法の理論的アプローチ、特に確率的手法を用いてノード数とタイムスロットの関係を解析することがあげられる。また、実際のアドホックネットワークでのノードは移動、出現、消滅が起るので、それに対応する Angle Table の生成法も必要となる。

謝辞

本論文を作成するにあたり暖かいご指導をいただいた中野浩嗣助教授に深く感謝致します。また、浅野哲夫教授、小保方幸次助手、元木光雄助手をはじめとする当講座の皆様にはいろいろとお世話になりました。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] R.Dube, C.D.Rais, K. Wang, and S.K.Tripathi, *Signal stability based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks*, IEEE Personal Communication Feb.1997
- [2] V.D.Park and M.Chatterjee, N.H.Vaidya, and D.K.Pradhan, *A cluster-based approach for routing in adhoc networks*, in USENIX Symposium on Location Independent and Mobile Computing, Apr.1995
- [3] S.Corson and J.Macker, *Architectural considerations for mobile mesh networking (Internet draft RFC, version 2)* may 1996.
- [4] Koji Nakano, Stephan Olariu, *Leader Election Protocols for Radio Networks*, Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing (Chapter 10), Wiley, 2002, 219-242.
- [5] C.R.Lin, M.Gerla, *Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks*, IEEE J.Selected Areas in Communication, vol15, no.7, pp1265-1275,1997
- [6] Y. Ohno, Y. Kada, K. Gyod, and T. Ohira, *ATR:angle-SINR Table routing for wireless ad-hoc networks*, IEICE 2000 General Conference, B-5-109, march 2000;
- [7] Gunnar Blom, Lars Holst, Dennis Sandell, *Problems and Snapshots from the World of Probability*, Springer-Verlag.
- [8] K.Mori, H.Arai, Y.Ebine , *A Method of Radiation Pattern Enhancement for 6-Sector Antenna Using Proximity Coupled Taper Slot* , KJJC-AP/EMC/EMT'98, AP-4-6, 1998, Sep
- [9] 河口 信夫, 外山 勝彦, 稲垣 康善, モバイルエージェントによるアドホックネットワークの構築, 日本ソフトウェア科学会, 第2回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ SPA'99
- [10] 丸山珠美, 上原一浩, 鹿子嶋憲一, モノポール八木・宇田アレーアンテナを用いた無線 LAN 用小型マルチセクタアンテナの解析と設計, 信学論, vol.J80-B-II, no.5, pp424-433 , 1997

- [11] 秋山 章, 行田 弘一, 太平 孝, 安藤 真, エスパアンテナのビーム及びヌル形成能力に関する数値シミュレーション, 電気電子情報通信学会論文誌 B Vol. J85-B no.12, pp.2234-2244, 2002/12
- [12] 古桶 知重, 大平 孝, 無線アドホックネットワークにおける指向性アンテナの効能に関する考察, 電気電子情報通信学会論文誌 B Vol. J85-B No.12, pp.2223-2233, 2000/12
- [13] 植田 哲郎, ソンブラカシュ バンデオパダイ, 蓮池 和夫, 無線アドホックネットワークにおけるスパークアンテナを用いた適応型メディアアクセス制御プロトコルとシステムの評価, 電気電子情報通信学会論文誌 B Vol. J85-B no.12, pp.2189-2197, 2000/12
- [14] 橋本 英卓, 中西 恒夫, 福田 晃, , セル位置情報に基づくアドホックネットワークルーティングの評価, 研究報告「高度交通システム」No.006-027,2001
- [15] http://www.d2.dion.ne.jp/~shinya.m/report/yagi_antenna.html
- [16] http://www.atr.co.jp/html/topics/press_020325_j.html