

## 指向性アンテナを用いた耐干渉プロトコル

木村 真樹†

萬代 雅希†

渡辺 尚†

†静岡大学情報学部

## 1 はじめに

近年、アドホックネットワークにスマートアンテナを適用する研究が進められている。スマートアンテナは、電気的制御によってアンテナ指向性を制御可能である。スマートアンテナは、アンテナ利得を送信相手に向けるビームステアリングや、周辺の干渉源にヌルを向けるヌルステアリング [1] が可能である。

本研究では、ビームとヌルの両方を考慮したビームパターンを用いることで、所望方向へ高い利得を得つつ干渉端末方向への利得を低くすることで高スループットを実現する MAC プロトコルを提案する。

## 2 提案方式

## 2.1 ビームパターンの検討

本研究では、図 1 の ESPAR アンテナ [2] を利用する。ESPAR アンテナは、市販されていて入手しやすく、低コストかつコンパクトなスマートアンテナである。ESPAR アンテナでは、中心のアンテナを使用して送受信を行い、周囲の 6 本のアンテナにかける電圧を制御することにより、指向性を制御する。[3] では、ESPAR アンテナで形成可能なビームパターンの計算手法が示されている。提案方式では無指向性パターンと下記の 2 種類のビームパターンを用いる。

1) 基本パターン: 一方向の利得を最大化するビームパターンである。図 2 に 0 度方向の利得が最大となる基本パターンを示す。0 度方向に約 10 dBi の利得が得られる。なお、この場合、後方に約 -5 dBi のバックローブやサイドローブが発生する。本研究では、0 度から 30 度刻みに 330 度までの全 12 個の基本パターンを用意する。

2) 耐干渉パターン: 一方向の利得を最大化し、同時

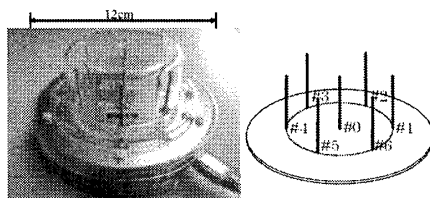


図 1: ESPAR アンテナ。

A directional Antenna Interference Tolerant Protocol

†Masaki KIMURA †Masaki BANDAI †Takashi WATANABE

†Faculty of Informatics, Shizuoka University

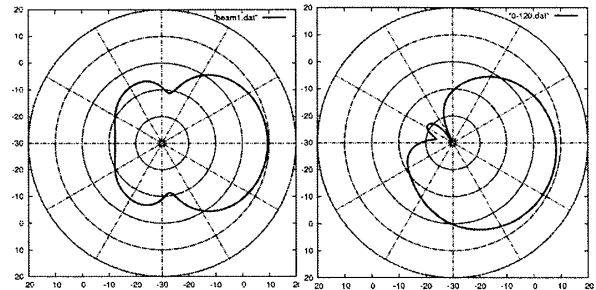


図 2: 基本パターン

(ビーム 0 度)。

図 3: 耐干渉パターン

(ビーム 0 度, ヌル 120 度)。

に一方向にヌルを向けるパターンである。図 3 に、0 度方向の利得が最大となり、120 度方向にヌルを向ける耐干渉パターンを示す。この場合、ヌルの方向には利得が低くなるため、干渉に強い。ここで、ビームの利得が 8 dBi 以上、かつヌルの方向に -30 dBi 以下とする。本研究では、ビームの方向を 0 度として、ヌルの方向が 90 度から 30 度刻みに 270 度までの 7 パターンを用意する。これを 12 方向分の全 84 (7×12) 個の耐干渉パターンを用意する。

提案方式では、無指向性パターンと上記の 96 (12+84) パターンの合計 97 パターンをあらかじめ用意し、状況に応じて適切なパターンを選択し、次節の通信手順に従い通信を行う。

## 2.2 通信手順

提案方式の通信手順を図 4 に示す。自端末の位置情報は GPS、周囲端末の位置はハローパケット等を用いて既知とする。各端末は、アイドル状態では無指向性で待機する。送信端末 A は、受信端末 B に向かって基本パターンで RTS を送信する (図 4a)。B は干渉レベ

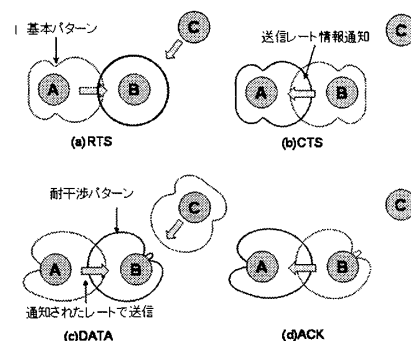


図 4: 提案方式の動作。

表 1: SINR による受信しきい値と送信レート

SINR 閾値 [dB]	送信レート [Mbps]
24.56	54
24.05	48
18.80	36
17.04	24
10.79	18
9.03	12
7.78	9
6.02	6

ルの予測値と RTS の受信電力を用いて SINR を計算し、送信レートを決定し、CTS を基本パターンで A に通知する (図 4b)。RTS/CTS 共にシステムの最低レートで送信する。同時に、B は A の方向にビーム、干渉の方向にヌルを向けた耐干渉パターンを形成して DATA 受信を待機する。A は、B から通知された送信レートで B の方向に耐干渉パターンで DATA を送信する (図 4c)。図 4d は ACK 送信時を示す。

干渉の方向は、他通信のオーバーヒア回数を記録し、通信回数が多い端末の方向とする。もし、通信回数が同じ場合には、距離が近い端末を干渉の方向と考え、ヌルを向ける。

### 2.3 SINR

受信できる通信レートは SINR によって決定される。SINR は希望波受信電力と干渉波受信電力および雑音電力の和の比である。SINR の式を以下に示す。

$$SINR = \frac{P_{tr}}{\sum_{i=1, i \neq t}^N P_{tr} + \eta_r}$$

$P_{tr}$  は送信端末 T に対する受信端末 R の受信電力、 $\eta_r$  は R の雑音電力を示す。ここでは、受信端末 R の周辺に  $N$  端末が存在し、それらすべての端末からの干渉を加味している。ここで、自由空間を仮定する場合の R での受信電力  $P_{tr}$  は以下で示される。

$$P_{tr} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_t G_r P_t$$

$d$  は T と R 間の距離、 $G_t$  は T の利得、 $G_r$  は R の利得、 $P_t$  は T の送信電力、 $\lambda$  は波長を示す。SINR による受信しきい値、送信レートの例を表 1 に示す。本研究では、表 1 を用いて、送信レートの決定を行う。送信レートを高くするには、受信端末での SINR を高くする必要がある。SINR を高くするには、希望波方向の利得を上げ、干渉の方向への利得を下げる必要がある。提案方式は、ビームを送信端末方向へ向けることで希望波方向の利得を上げ、同時に、干渉の方向にはヌルを向けることで、干渉の方向への利得を下げ、SINR の向上を目指すものである。

### 3 基礎評価

提案方式の有効性を示すために、シミュレーションにより評価を行う。シミュレーション環境を図 5 に示



図 5: シミュレーション環境。

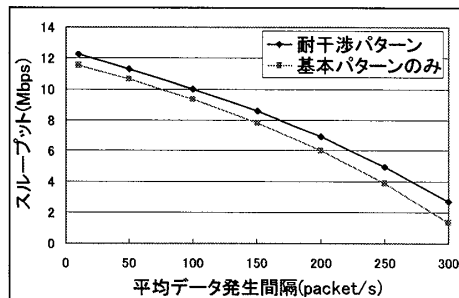


図 6: シミュレーション結果。

す。物理層には IEEE 802.11g を用い、比較対象は 2.1 の 2) の基本パターンのみの場合とする。フローは A → B, D → C の 2 フローとする。スループットは 2 フローの合計とし、以下の式とする。

$$\text{スループット} = \frac{\text{データサイズ} \times \text{パケット到着数}}{\text{合計パケット到着遅延時間}}$$

シミュレーション結果を図 6 に示す。図 6 より、提案方式はすべてのパケット発生間隔でスループットが基本パターンのみの場合と比べ向上していることがわかる。また、パケット発生間隔が上昇するにつれ、スループットが低下していくが、提案方式は比較対象よりも低下の幅が小さい。理由としては、パケット発生間隔が上昇することで、干渉が増えるが、提案方式では耐干渉パターンより干渉を低減しているためである。

### 4 まとめ

本研究では、スマートアンテナを用いてビームとヌルの両方を組み合わせたビームパターンを利用する MAC プロトコルを提案した。シミュレーション結果により、提案方式のスループットが向上することを示した。今後の課題として複数の干渉端末がある場合について検討する。

### 参考文献

[1] J. C. Mundarath, P. Ramanathan and B. D. Van Veen, "NULLHOC: A MAC Protocol for Adaptive Antenna Array Based Wireless Ad Hoc Networks in Multipath Environments," *Proc. IEEE GLOBECOM'04*, 2004.

[2] T. Ohira and K. Gyoda, "Electronically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) Antennas for Lowcost Adaptive Beam forming," *Proc. IEEE International Conference on Phased Array Systems*, pp. 101-104, May 2000.

[3] 行田 弘一, 大平 孝, "電子制御導波器アレー (ESPAR) アンテナの指向性制御可能性," 電子情報通信学会総合大会, no. B-1-184, March 2000.