

# Mobile WiMAX 上り回線用 アダプティブアレーの開発

平川 満\*・山本 剛史・岡田 洋侍  
杉本 充生

Development of Adaptive Array Antenna for Mobile WiMAX Uplink — by Mitsuru Hirakawa, Takashi Yamamoto, Yoji Okada and Mitsuo Sugimoto — Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mobile WiMAX) is a next-generation wireless communication technology that enables higher data throughput and better mobility compared to wireless local area network (WLAN). Mobile WiMAX supports a 1-cell reuse pattern for improving spectrum efficiency, but this cell allocation suffers from heavy co-channel interference (CCI). Adaptive array antenna can be an efficient solution for canceling interference signals, but it is difficult to apply a recursive adaptive array algorithm in the multipath environment because uplink user data is distributed over the bandwidth and the channel state changes instantly. To solve this problem, the authors developed a new adaptive array algorithm that calculates adaptive weights to cancel interference signals on a tile-by-tile basis. In their simulation and experiment, the authors verified that demodulation quality is dramatically improved by using the new algorithm instead of the conventional zero-forcing (ZF) algorithm.

## 1. 緒言

Mobile WiMAX<sup>\*1</sup>は、IEEE802.16eとして規格化された、LANより広いエリアをカバーするMAN<sup>\*2</sup>の規格である。既に一部の国や地域では商用サービスが開始されており、日本でも2009年にサービス開始が予定されている。

Mobile WiMAXでは、隣り合うセル<sup>\*3</sup>で同じ周波数を利用する1セル繰り返しを適用するため同一チャネル干渉<sup>\*4</sup>を引き起こし、通信品質の劣化を招く。そのため、他セルからの干渉波を除去して通信品質を確保する必要がある。

干渉波除去技術としてはアダプティブアレー<sup>\*5</sup>が有効であるが、Mobile WiMAXのフレーム構成においては、従来のアダプティブアレーのアルゴリズムをそのまま適用することは困難である。

そこで当社は、Mobile WiMAXの上り回線に最適なアダプティブアレーを開発した。本稿では、WiMAXおよびアダプティブアレーの概要と開発したアダプティブアレーのアルゴリズムについて述べ、最後にシミュレーション結果および試作基地局による実験結果について紹介する。

## 2. Mobile WiMAX

Mobile WiMAXは広域の高速データ通信向けの無線通信規格であり、無線でのブロードバンドアクセスを実現するものである。以下、フレーム構成およびアクセス方式について説明する。

**2-1 Mobile WiMAX フレーム構成** Mobile WiMAXは図1に示すようにTDD<sup>\*6</sup>であり、1フレームは

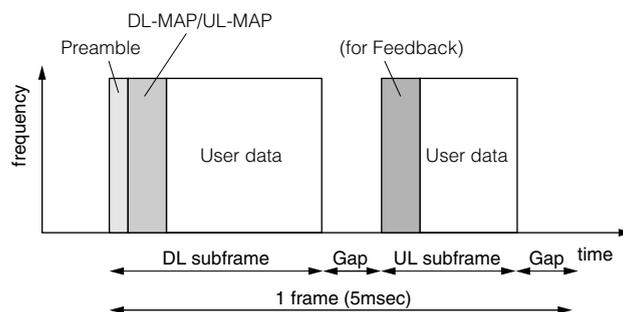


図1 Mobile WiMAX フレームフォーマット

DL (DownLink) サブフレーム、UL (UpLink) サブフレーム、およびサブフレーム間のギャップから構成される。DLサブフレームは、端末がフレームタイミングを検出するためのプリアンブル<sup>\*7</sup>、ユーザデータのリソース配置情報を格納するDL-MAP/UL-MAP、およびユーザデータから構成される。ULサブフレームは、フィードバック用の領域とユーザデータから構成される。

**2-2 OFDMA** Mobile WiMAXのアクセス方式として、下り回線/上り回線ともにOFDMA<sup>\*8</sup>が採用されている。OFDMAでは複数のユーザが通信帯域を共有して、OFDM<sup>\*9</sup>により同時にアクセスを行う。ここで、WiMAXの上り回線におけるOFDMA送信機(端末)と受信機(基地局)の構成および動作について、簡単に説明する。

図2に送信機の構成を示す。端末は以下の動作を行う：  
 (1) DLサブフレームに含まれるUL-MAP情報から自身に割り当てられている周波数リソースをチェックし、割り当てられたサブキャリアに対して送信データ $S_u(m,k)$ をマッピング (2) IFFTにより周波数領域信号 $S_u(m,k)$ を時間領域信号 $s_u(m,n)$ に変換 (3) マルチパス耐性を改善するためのCP<sup>\*10</sup>を挿入 (4) DA変換や周波数変換などの処理を行って信号をアンテナから送信する。なお、 $m$ はOFDMシンボルインデックス、 $k$ はサブキャリアインデックスである。また $n$ はサンプルインデックスであり、 $0 \sim N-1$ の値をとる ( $N$ はIFFTサイズ)。

図3に受信機の構成を示す。なおここでは、各端末からの信号の先頭のタイミング、すなわち基地局におけるULサブフレームの1シンボル目の受信タイミングは一致しているものとする。基地局は以下の処理を行う：  
 (1) 受信信号に対する周波数変換およびAD変換 (2) CPを除去 (3) FFTにより時間領域信号 $s'(m,n)$ を周波数領域信号 $S'(m,k)$ に変換 (4) チャネル特性推定および復調後、リソース割り当て情報に応じて、端末ごとのデータ $S_l(m,k) \sim S_U'(m,k)$  ( $U$ は端末数)に分割する。

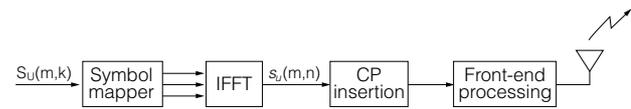


図2 OFDMA送信機(端末)の構成

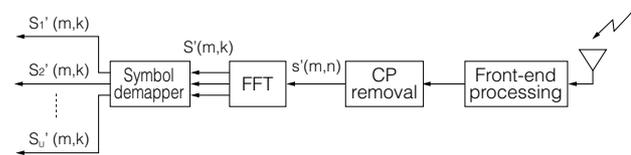


図3 OFDMA受信機(基地局)の構成

2-3 Mobile WiMAXの課題 Mobile WiMAXでは、周波数利用効率<sup>\*11</sup>を改善するために、セル間で同じ周波数を繰り返して使用することが検討されている。そのため、他セルからの干渉による受信品質の劣化が考えられる。

図4は、上り回線において、セルBの基地局と通信する端末MS-B2からの信号がセルAの基地局でも受信されることにより干渉が発生している様子を表している。セルAの基地局にとっては、MS-B2からの信号は干渉波となるため、MS-A1の上り回線信号に対する受信品質は劣化し、特にセルエッジ付近ではMS-B2との受信レベル差が小さくなるため大幅に劣化する。このような干渉波を除去する方法として、複数のアンテナで受信した信号の位相と振幅を適応的に調整することにより、干渉波を空間的に除去することが可能なアダプティブアレーが効果的である。次章では、アダプティブアレーの概要について簡単に説明する。

に調整することにより、干渉波を空間的に除去することが可能なアダプティブアレーが効果的である。次章では、アダプティブアレーの概要について簡単に説明する。

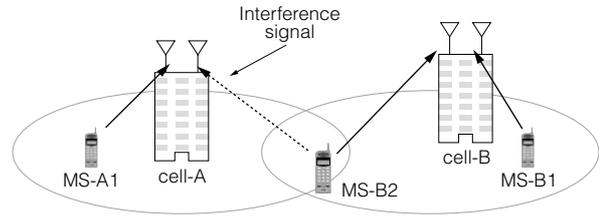


図4 他セルからの干渉

### 3. アダプティブアレー

当社では、FFTの後にウェイトを積算して合成する post-FFTタイプのアダプティブアレーについて検討した。図5にアダプティブアレーの一般的な構成を示す。

$L$ 素子で構成されるアレーアンテナの各アンテナで受信された信号 $X(m,n)$  ( $m$ はOFDMシンボルインデックス、 $n$ はOFDMシンボルのサンプルインデックス)は、FFTにより周波数領域信号 $X_l(m,k)$  ( $k$ はサブキャリアインデックス)に変換される。その後、各サブキャリアにおける信号に対して、ウェイト $W_l(k)$ を乗算して合成することにより、合成出力信号 $Y(m,k)$ を得る。

次に、アダプティブアレーのウェイト計算方法について説明する。ここでは、アダプティブアレーの中でもよく使われているZF<sup>\*12</sup>およびMMSE<sup>\*13</sup>アダプティブアレーについて説明する。

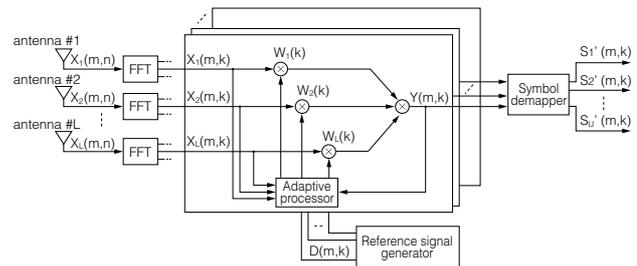


図5 アダプティブアレー

3-1 ZF ZFは、受信側においてチャネル特性を強制的にフラットにする方式である。その方法として、参照信号<sup>\*14</sup>がマッピングされているパイロットサブキャリア $k_p$ における受信信号からチャネル特性 $H_l(m,k_p)$ を推定し、その推定値からチャネルベクトルを構成する。

$$H(m, k_p) = [H_1(m, k_p) \ H_2(m, k_p) \ \cdots \ H_L(m, k_p)]^T \cdots \cdots (1)$$

ここで、‘ $T$ ’は転置を表す。ZF ウェイト  $W_{ZF}(m, k_p)$  は、 $H(m, k_p)$  の一般化逆行列により求められる。

$$W_{ZF}^T(m, k_p) = (H^H(m, k_p) H(m, k_p))^{-1} H^H(m, k_p) \cdots \cdots (2)$$

ここで、‘ $H$ ’は複素共役転置を表す。

データサブキャリアにおけるZFウェイトは、通常、パイロットサブキャリアにおけるZFウェイトから補間により求める。

**3-2 MMSEアダプティブアレー** MMSEアダプティブアレーは、受信側で既知の参照信号  $D(m, k)$  と合成出力信号との差(誤差信号)が最小となるように動作する方式である。サブキャリア  $k$  における受信信号ベクトル  $X(m, k)$  とウェイトベクトル  $W(k)$  をそれぞれ

$$X(m, k) = [X_1(m, k) \ X_2(m, k) \ \cdots \ X_L(m, k)]^T \cdots \cdots (3)$$

$$W(k) = [W_1(k) \ W_2(k) \ \cdots \ W_L(k)]^T \cdots \cdots (4)$$

とする。合成出力信号は

$$Y(m, k) = \sum_{i=1}^L W_i^*(k) X_i(m, k) = W^H(k) X(m, k) \cdots \cdots (5)$$

で求められる。ここで、‘ $*$ ’は複素共役を表す。これより、誤差信号  $Err(m, k)$  は

$$Err(m, k) = D(m, k) - Y(m, k) = D(m, k) - W^H(k) X(m, k) \cdots (6)$$

と表される。平均二乗誤差は

$$\begin{aligned} E[|Err(m, k)|^2] &= E[|D(m, k) - W^H(k) X(m, k)|^2] \\ &= E[|D(m, k)|^2] - W^T(k) r_{XD}^*(k) - W^H(k) r_{XD}(k) \\ &\quad + W^H(k) R_{XX}(k) W(k) \cdots \cdots (7) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $E[\cdot]$ は期待値(アンサンブル平均)演算を表す。また  $R_{XX}(k)$ は受信信号の相関行列、 $r_{XD}(k)$ は受信信号と参照信号との相関ベクトルであり、それぞれ

$$R_{XX}(k) = E[X(m, k) X^H(m, k)] \cdots \cdots (8)$$

$$r_{XD}(k) = E[X(m, k) D^*(m, k)] \cdots \cdots (9)$$

で定義される。平均二乗誤差を最小にする最適なウェイト  $W_{opt}(k)$  は、式(7)の  $W(k)$  に関する勾配をゼロとすることにより

$$W_{opt}(k) = R_{XX}^{-1}(k) r_{XD}(k) \cdots \cdots (10)$$

となる。これはウィーナー解(Wiener solution)と呼ばれる。ウェイト計算方法としては、1シンボルごとにウェイトを

更新する逐次解法(例えばLMS<sup>\*15</sup>、RLS<sup>\*16</sup>など)と、複数のパイロットサブキャリアにおける受信信号から相関行列と相関ベクトルをそれぞれ式(8)と式(9)により計算し、式(10)にしたがってウェイトを直接計算する直接解法(例えばSMI<sup>\*17</sup>)の2つに大別される。

**3-3 各方式の比較** 表1に各方式の比較結果を示す。ZFは即時にウェイトを計算することが可能であり、かつ実装が容易であることから一般によく使われている。しかし、ZFは干渉波の影響を考慮しない方式であることから、干渉波が存在する場合はチャンネル推定値の精度が劣化し、それゆえウェイトの精度も大幅に劣化する。すなわち、干渉波を除去する機能を有しない。そこで当社は、干渉波除去能力を有するMMSEアダプティブアレーのMobile WiMAX上り回線への適用について検討した。

表1 各方式の比較

	ZF	MMSE		
		LMS	RLS	SMI
収束速度	○	×	△	△
干渉波除去能力	×	○		
実装難易度/ ハードウェア規模	○	×		

#### 4. Mobile WiMAX上り回線用アダプティブアレーの開発

ここでは、Mobile WiMAX上り回線にMMSEアダプティブアレーを適用する場合の課題と、その課題を解決するために当社が開発したアルゴリズムについて説明する。

**4-1 課題と当社アルゴリズムの概要** Mobile WiMAXのULサブフレーム構成を図6に示す。さらに、図6のULサブフレームの一部(丸で囲まれている部分)を拡大したものを図7に示す。各端末から送信されるデータは、4つのパイロットサブキャリアと8つのデータサブキャリアからなるタイルに格納され、通信帯域内で分散して配置される。

このようなフレーム構成では、下記の問題が発生するため、3章に記述した従来のMMSEアダプティブアレーをそのまま適用することができない。

- (1) ULサブフレームは12~18シンボル程度しかない。そのため、例えば図7のサブキャリア1(またはサブキャリア4)に着目すると、端末1(MS1)および端末2(MS2)のパイロットサブキャリアはそれぞれ4つ、2つしかない。そのため、ウェイトが収束するためには多くのサブフレームが必要であり、収束速度は大きく劣化する。
- (2) 移動に伴うドップラーシフト<sup>\*18</sup>やマルチパスフェージング<sup>\*19</sup>により、チャンネル特性は瞬時に変化する。さら

に、他の基地局と通信をする端末が突然現れたり、他の基地局と通信中である端末が突然通信を終了したりすることによって、干渉波の到来状況も瞬時に変化する。これらの要因によって、ウェイトは収束しない可能性があり、最悪の場合、ウェイトが発散する。

- (3) 図7のサブキャリア1～4に着目すると、サブキャリア2およびサブキャリア3はパイロットサブキャリアを含まないためウェイト計算ができない。そのため、通常はサブキャリア1とサブキャリア4で計算したウェイトから補間により計算される。このとき、ウェイト計算が完了するまではデータサブキャリアのウェイト積算および合成ができないため、データサブキャリアをメモリに蓄えておく必要がある。ウェイト収束には多くのサブフレームが必要であるため、メモリ増大に伴ってハードウェア規模が大きくなり、大型化およびコスト高を招く。また実装が複雑になるとともに、処理遅延に伴うスループット低下の可能性もある。

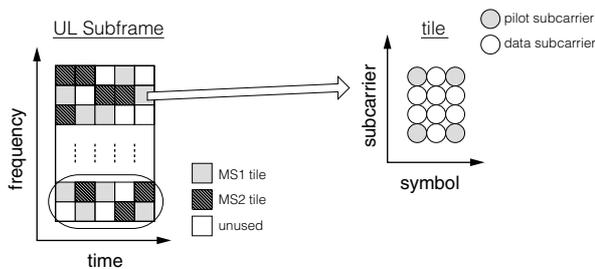


図6 WiMAXのULサブフレームおよびタイル

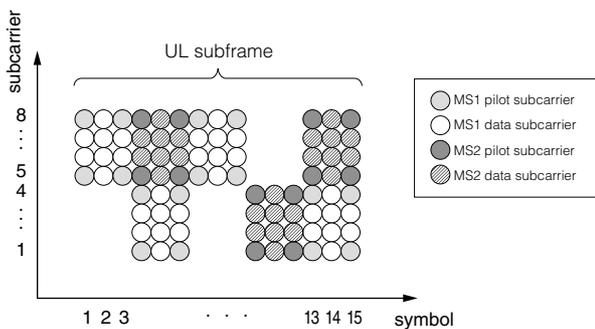


図7 ULサブフレームの一部

この問題を解決するためには、ウェイトが高速に収束するアルゴリズムの開発が必要である。そこで当社は、上記の問題を解決する新しいアダプティブアレーを開発した。当社方式は、タイル単位でウェイトを計算することから高速なウェイト収束およびハードウェアの小型化を実現し、また干渉波を除去する機能も有する。以下、アダプティブ

アレーを正確に動作させるために併せて開発したタイミングオフセット<sup>※20</sup>／周波数オフセット<sup>※21</sup>補正処理と、開発したアダプティブアレーの詳細について説明する。

**4-2 オフセット補正方法の開発** 端末から送信される信号の搬送波周波数がずれている場合、ずれの影響により受信信号の位相が回転する。この位相回転は時間方向に現れる。また、端末からの信号を基地局で受信する際のタイミングが予め決められたタイミングからずれている場合においても、受信信号の位相が回転する。この場合の位相回転は周波数方向に現れる。アダプティブアレーを正確に動作させるには、ウェイト計算および合成の前に、これらのオフセットを予め補正しておく必要がある。本節では、当社が開発したオフセット推定方法および補正方法について説明する。

端末から送信されるデータは、タイルが周波数方向に6個並んだスロット（24サブキャリア×3シンボル）と呼ばれる単位で構成され、端末から送信される際に通信帯域に分散される。そのためマルチパス環境においては、基地局で受信された各タイルはそれぞれ異なるチャネル特性を有している可能性が高い。しかしながら、タイルを構成する4サブキャリア×3シンボルの領域内においては、チャネル特性はほとんど変わらないと考えられる。そのため周波数方向およびシンボル方向の位相回転は、それぞれタイミングオフセット、搬送波周波数オフセットの影響による要素が大きい。そこで当社方式では、分散された6つのタイルについて、パイロットサブキャリアにおける受信信号からオフセットによる位相回転量を計算し、その結果の平均値を位相回転量の推定値とする。図8のように、タイルにおけるパイロットサブキャリアA～Dの受信信号を定義した場合、タイミングオフセットによる位相回転量の推定値および搬送波周波数オフセットによる位相回転量はそれぞれ式(11)(12)で計算される。

$$\hat{\phi}_T = \arg \left\{ \sum_{i=1}^6 [X^{(i)}(m, k) X^{(i)*}(m, k+3) + X^{(i)}(m+2, k) X^{(i)*}(m+2, k+3)] \right\} \dots (11)$$

$$\hat{\phi}_F = \arg \left\{ \sum_{i=1}^6 [X^{(i)}(m, k) X^{(i)*}(m+2, k) + X^{(i)}(m, k+3) X^{(i)*}(m+2, k+3)] \right\} \dots (12)$$

これらの推定値を利用して、6つのタイルの各サブキャリアにおける受信信号を補正することにより、オフセットの影響を除去する。アダプティブアレーにはオフセットが補正された信号を使用する。

**4-3 アダプティブアレーの開発** 通常、ウェイトの収束に必要な参照信号に異なる周波数の参照信号を使うと、その精度は劣化する。しかし、タイル内におけるチャネル特性はほとんど変わらないものと考えられるため、当社のアルゴリズムでは、タイル単位でSMIによりウェイトを計算する。

図8において、パイロットサブキャリアA～Dにおける受信信号ベクトル（4-2節のオフセット補正処理が施されたもの）をそれぞれ  $X_A = X(m, k)$ 、 $X_B = X(m, k + 3)$ 、 $X_C = X(m + 2, k)$ 、 $X_D = X(m + 2, k + 3)$  パイロットサブキャリアA～Dにおける参照信号をそれぞれ  $D_A = D(m, k)$ 、 $D_B = D(m, k + 3)$ 、 $D_C = D(m + 2, k)$ 、 $D_D = D(m + 2, k + 3)$  とする。3-2節にしたがって、タイルにおける相関行列  $R_{XX\_tile}$  および相関ベクトル  $r_{XD\_tile}$  を式(13)(14)で計算し、最適ウェイト  $W_{tile}$  を式(15)で計算する。

$$R_{XX\_tile} = \frac{1}{4} (X_A X_A^H + X_B X_B^H + X_C X_C^H + X_D X_D^H) \dots\dots\dots (13)$$

$$r_{XD\_tile} = \frac{1}{4} (X_A D_A^* + X_B D_B^* + X_C D_C^* + X_D D_D^*) \dots\dots\dots (14)$$

$$W_{tile} = R_{XX\_tile}^{-1} r_{XD\_tile} \dots\dots\dots (15)$$

データサブキャリア1～8の合成出力信号は、式(15)のウェイトを使って計算する。

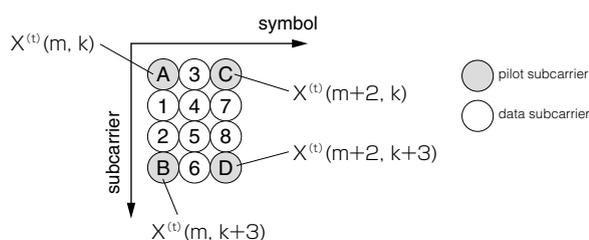


図8 タイル

## 5. 計算機シミュレーション

当社が開発したオフセット補正方法およびアダプティブアレーの効果を確認するために、数値シミュレーションを行った。主なシミュレーション諸元を表2に示す。通信を行う端末（所望端末）は自セルに1台、干渉源となる端末（干渉端末）は他セルに1台とし、端末の位置（基地局アンテナから見た方向）は1スロットごとにランダムに設定した。また表2の端末移動速度やオフセット値も1スロットごとにランダムに設定した。

図9は、合成出力信号のCINR<sup>\*25</sup>特性の累積分布関数を示す。横軸は合成出力信号のCINR、縦軸はそのCINR以下となる確率の累積値である。これより、当社方式がZFと比較して優れていることを確認した。CIRが小さくなるにつれてZFとの差が大きくなっていることから、特に強い干渉波が到来する場合に当社方式が有利であると言える。

また本稿では割愛するが、オフセット補正を行わない場合のシミュレーションでは、CINR特性が大幅に劣化した

ことから、当社のオフセット補正方式が有効であることを確認した。

表2 シミュレーション諸元

基地局アンテナ素子数	2
基地局アンテナ素子間隔	4 波長
変調方式	QPSK (*22)
端末移動速度	最大120km/h
電波伝搬モデル	Spatial Channel Model (Urban Macro)
周波数オフセット	最大100Hzの一律分布
タイミングオフセット	平均0、標準偏差10サンプルの正規分布
CNR (*23)	30dB
CIR (*24)	0dB, 10dB, 20dB
評価スロット数（タイル数）	10,000 (60,000)

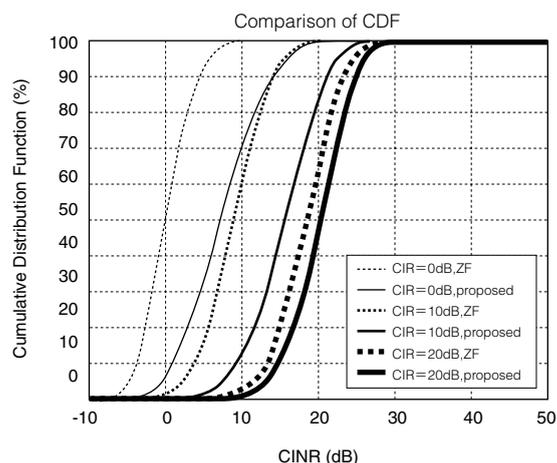


図9 CINR 特性の累積分布関数の比較

## 6. 試作機による実験

前章でのシミュレーションに加え、当社方式を試作基地局のDSPに実装して検証を行った。図10に実験系を示す。基地局と所望端末および干渉端末をRFケーブルで接続し、各端末から送信される信号を振幅減衰器で調整して、基地局において所定のCIRとなるように設定した。

図11と図12はそれぞれ、CIR = 0dB、10dBの場合の受信コンスタレーションである。なお変調方式は16QAM<sup>\*26</sup>である。いずれの場合においても、ZFと比較して当社方式が優れていることが確認できた。また図13は広範囲のCIRにわたって測定した結果である。△印は1素子受信、□印はZF、○印は当社方式である。図13より、CIRが小

さい範囲において、ZFと比較して最大7dBのCINRゲインが得られていることが分かる。以上より、当社が開発したアルゴリズムが干渉波環境に有効であることを実証した。

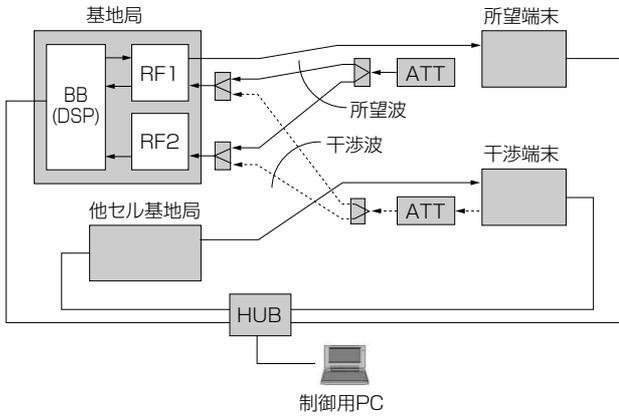


図 10 実験系

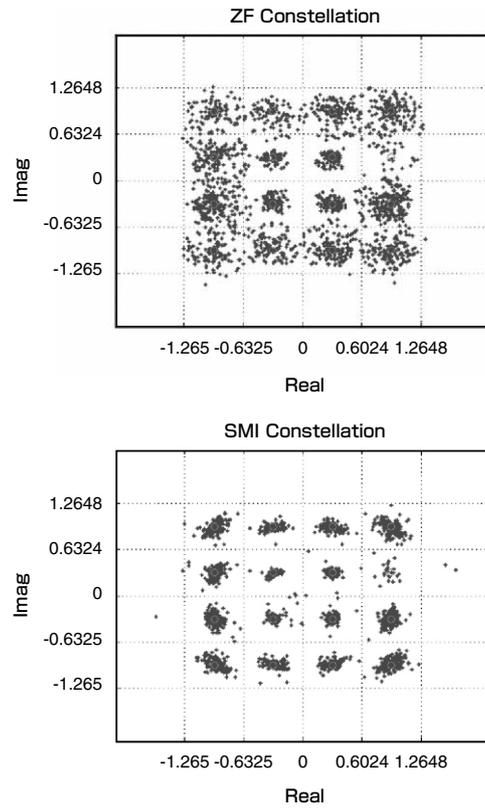


図 12 CIR = 10dBでの受信コンスタレーション(上: ZF, 下: 当社方式)

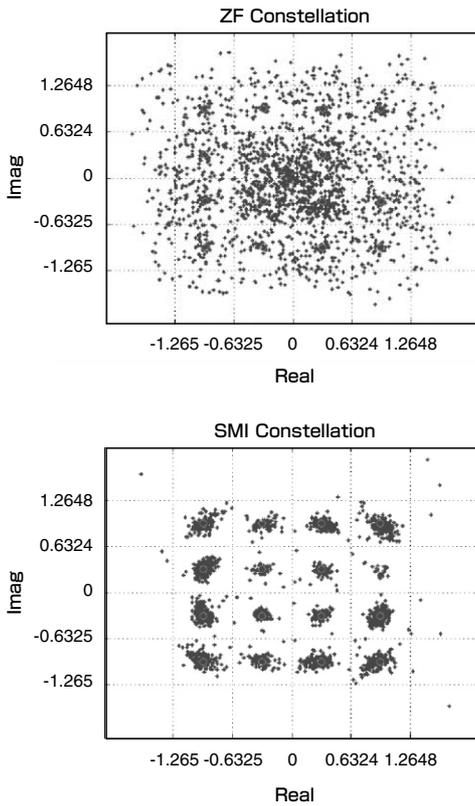


図 11 CIR = 0dBでの受信コンスタレーション(上: ZF, 下: 当社方式)

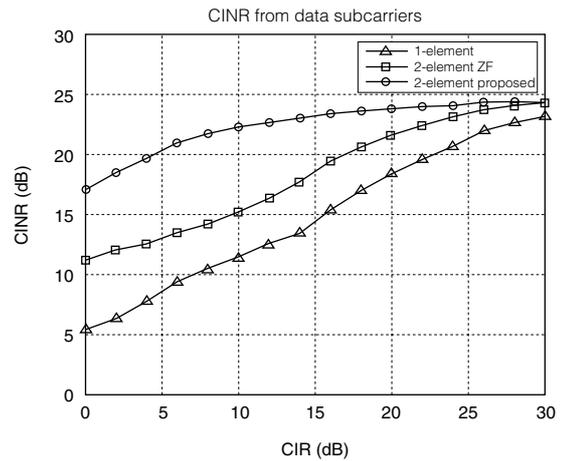


図 13 CIRに対するCINR特性の比較

## 7. 結 言

OFDMA をアクセス方式とする Mobile WiMAX の上り回線において、干渉波が存在する場合でも高速にウェイトを収束することが可能なアダプティブアレーを開発し、シミュレーションおよび試作基地局を使った実証実験により、従来法と比較して受信特性が大幅に改善されることを確認した。当社方式は Mobile WiMAX の上り回線に限らず、OFDMA をアクセス方式とする通信システムであれば適用可能であると考えられる。

今後は屋外実験による干渉波除去特性を評価する予定である。

### 用語集

#### ※1 Mobile WiMAX

： Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access  
2005年12月にIEEE（米国電気電子学会）で承認された無線通信標準規格。

（WiMAX、Mobile WiMAXは、米国 WiMAX Forum の米国及びその他の国における商標または商標登録です。）

#### ※2 MAN：Metropolitan Area Network

都市規模（半径数km）のエリアをカバーするネットワーク。

#### ※3 セル：Cell

1台の無線基地局がカバーする区域。

#### ※4 同一チャネル干渉：Co-Channel Interference

ある周波数を離れたエリアで再利用した場合に、その電波が自局で受信されてしまい、自局内の電波と干渉すること。

#### ※5 アダプティブアレー：Adaptive Array

複数のアンテナで受信した信号の振幅と位相を適応的に制御して、干渉波を除去する技術。Smart Antenna、Adaptive Antenna と呼ばれることもある。

#### ※6 TDD：Time Division Duplex

時分割複信。上り回線と下り回線で同じ通信帯域を使用し、両回線を時間的に分離する方式。

#### ※7 プリアンブル：Preamble

一般的にフレームの先頭に付加される既知の信号であり、通信相手はこの信号を検出してタイミング同期を確立する。

#### ※8 OFDMA：Orthogonal Frequency Division Multiple Access

直交周波数分割多重アクセス。OFDM との技術的差異はない。複数ユーザが通信帯域を共有する。

※9 OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
直交周波数分割多重。複数の搬送波を使用するマルチキャリア方式の一つで、隣り合う搬送波を直交するように配置することで周波数利用効率を高めた方式。

#### ※10 CP：Cyclic Prefix

遅延波環境においても精度よく復調するために、シンボルを送信する際にシンボルの末尾部をシンボルの先頭に付加する際の、付加された部分。

#### ※11 周波数利用効率：Spectrum Efficiency

単位時間・単位周波数あたりに送信されるビット数。大きいほど周波数を効率的に利用していることになる。

#### ※12 ZF：Zero-Forcing

アレーアンテナの一手法。強制的にチャネル特性をフラットにするようなウェイトを計算して合成する。アンテナビームを指向する機能を有するが、干渉波を除去する機能を有しない。

#### ※13 MMSE：Minimum Mean Square Error

最小平均二乗誤差。合成出力信号と参照信号との誤差が最小となるように、アダプティブアレーのウェイトを制御する規範。

#### ※14 参照信号：Reference Signal

データを正確に復調するために、送信時に挿入される信号。この信号は受信側で既知の信号である。

#### ※15 LMS：Least Mean Square

最急降下法に基づいてウェイトを計算する手法。

#### ※16 RLS：Recursive Least Squares

再帰的最小二乗法。重みつき誤差の二乗和を最小化する手法であり、LMS より収束が早い。

#### ※17 SMI：Sample Matrix Inversion

受信信号から相関行列と相関ベクトルを計算し、MMSE に基づく最適ウェイトの理論式に直接代入してウェイトの最適値を求める手法。

#### ※18 ドップラーシフト：Doppler Shift

端末が移動することによるドップラー効果で、周波数が変動すること。

#### ※19 マルチパスフェージング：Multipath Fading

電波の反射等により様々な経路（マルチパス）を通過して受信されることにより、チャネル特性が周波数により変動すること。

※20 タイミングオフセット：Timing Offset

端末から送信する信号のタイミングずれやチャネル特性等の要因により、基地局で受信される信号の受信タイミングがずれる。そのずれ量を指す。

※21 周波数オフセット：Frequency Offset

基地局-端末間の搬送波周波数のずれ量。

※22 QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

1シンボルで2ビットの情報を送ることが可能な変調方式。

※23 CNR：Carrier-to-Noise Ratio

搬送波電力対雑音電力比。

※24 CIR：Carrier-to-Interference Ratio

搬送波電力対干渉波電力比。

※25 CINR：Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio

搬送波電力と（干渉波電力+雑音電力）との比。

※26 16QAM：16 Quadrature Amplitude Modulation

1シンボルで4ビットの情報を送ることが可能な変調方式。

参 考 文 献

- (1) IEEE Std 802.16e-2005  
(2) 菊間信良、「アレーアンテナによる適応信号処理」、科学技術出版（1999）  
(10) 3GPP TS25.996 V6.1.0 (2003-09), "Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 6)"

執 筆 者

平川 満\*：情報通信研究所 伝送システム研究部  
主査  
無線通信におけるアンテナ信号処理技術  
の研究開発に従事



山本 剛史：情報通信研究所 伝送システム研究部  
岡田 洋侍：情報通信研究所 伝送システム研究部 グループ長  
杉本 充生：情報通信研究所 伝送システム研究部 主幹

\*主執筆者