

第 503 回伝送工学研究会

屋内環境における W-CDMA
アダプティブアレーアンテナの実験的評価

大家 耕平[†] 袁 巧微^{††} 陳 強[†] 澤谷 邦男[†]

[†]東北大学大学院工学研究科

^{††}東京農工大学

平成 19 年 9 月 25 日

屋内環境における W-CDMA アダプティブアレーアンテナの実験的評価

大家 耕平[†]

袁 巧微^{††}

陳 強[†]

澤谷 邦男[†]

Kouhei Ohya

Qiaowei Yuan

Qiang Chen

Kunio Sawaya

[†]東北大学大学院工学研究科

^{††}東京農工大学

[†]Graduate School of Engineering, Tohoku University

^{††}Tokyo University of Agriculture And Technology

1. はじめに

近年、移動体通信への需要は急速な勢いで伸びてきており、音声だけの利用にとどまらず電子メールや画像、動画といったものを利用する携帯無線端末のマルチメディア化が進められている。それに伴い扱う情報量が加速度的に増加し、更なる移動体通信の高速化、周波数利用効率の向上が求められている。

移動体通信において、電波伝搬路は周囲の建物などの影響により、見通しになることはほとんどなく、反射、解説、散乱により多重伝搬路となるため、多重波が互いに干渉してマルチパスフェージングが生じる。さらに、各多重波に伝搬遅延時間差があるため、高速信号伝送時には周波数選択性フェージングとなり、伝送品質が大きく劣化する。また、W-CDMA (Wideband code division multiple Access) 方式を用いたセルラー通信においては、全てのセルで同一の周波数帯域を利用するが、セルの半径は数百 m 程度のマイクロセルの利用が増えている。そのため、隣接セルから大きな干渉を受けてしまう。

このような問題を改善できる有効な技術の一つとして、アダプティブアレーアンテナがある。アダプティブアレーアンテナは、複数のアンテナ素子で受信した信号に適切な重み付けをすることにより、干渉波を除去し所望の信号のみを取り出すことができる技術である。しかし、複数のアンテナを用いるため、小型化が進んでいる携帯端末に搭載するためにはアレー素子間隔を小さくする必要がある。アレー素子間隔が小さくなると素子間相互結合の増加や、放射パターンの変化などの問題が発生するが、素子間隔についての検討は十分になされていない。

本報告では、4 素子モノポールアレーアンテナを用い、マルチパス環境下で、アレー素子間距離がアダプティブアレーアンテナの性能に与える影響を実験的に評価する。

2. アダプティブアレーアンテナ

2.1. アダプティブアレーアンテナの原理

アダプティブアレーアンテナは、各アンテナ素子からの入力信号に適切な重みを付けて合成し、アレーアンテナの指向

性を最適にするシステムである。

図 1 に M 素子アダプティブアレーアンテナの一般系の構成図を示す。

各素子からの入力信号 $x(n)$ に重み $w(n)$ を乗算した後、これらを合成し出力とする。得られた出力を用いて重みの計算を行い、逐次的に更新することで適応制御を行う。重み $w(n)$ は各アンテナ入力振幅と位相を調整するものである。

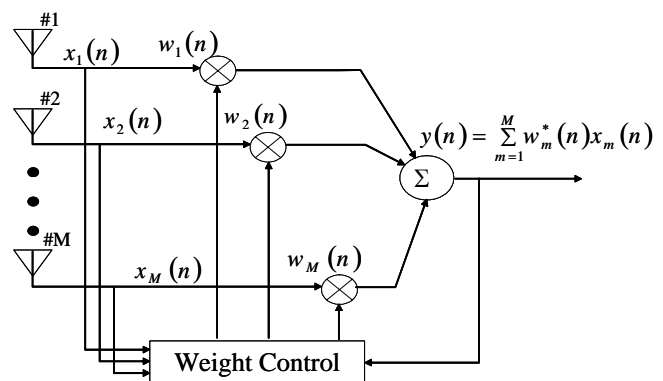


図 1. M 素子アダプティブアレーの構成図

2.2. アダプティブアレーアンテナ受信機の概要

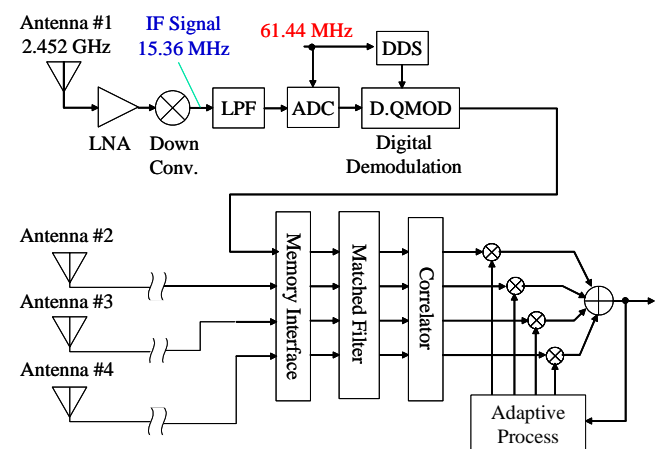


図 2. アダプティブアレーアンテナ受信機のシステム構成

図2に W-CDMA アダプティブアレーアンテナ受信機のシステム構成, 表1に受信機の諸元を示す. 受信機は 4ch の RF 入力ポートを持ち, RF 信号は 2.452 GHz となっている. 入力された RF 信号は, LNA で増幅された後ミキサによって 15.36 MHz の IF 信号に変調される. IF 信号は, 61.44 MHz の サンプリングレートで A/D 変換が行われた後, デジタル復調が行われる. アダプティブ処理は逆拡散後のベースバンド信号で行われる.

RF frequency	2.452 GHz
Band Width	5 MHz
IF frequency	15.36 MHz
Input Sensitivity	>-80 dBm
ADC	14 bit 61.44 MHz
Data format	W-CDMA Downlink DPCH
Adaptive Algorithm	N-LMS (Step size =1)

表 1. 受信機の諸元

2.3. W-CDMA 信号のフォーマット

W-CDMA 信号の下りリンクにおいて, データ通信に使用されるフォーマットは DPCH (Dedicated Physical Channel) である. 図3に拡散率が 256 の場合の DPCH のフレーム構造を示す. 1 フレームは 10 ms で 15 スロットからなる. 各スロットの Data1, Data2 を BER 計算に用い, Pilot 信号を同期捕捉とアダプティブ処理に使用する. TPC と TFCI は使用しない.

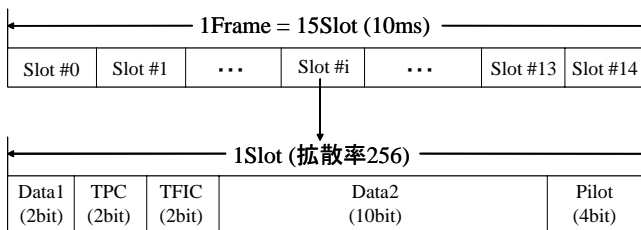


図 3. down link DPCH のフレーム構造

2.4. アダプティブアルゴリズム—N-LMS

W-CDMA アダプティブアレーアンテナ受信機は様々なアダプティブアルゴリズムを適用できるが, 本報告では Normalized Least Mean Square (N-LMS) アルゴリズムを用いて各実験を行った. N-LMS アルゴリズムは, 参照信号とアレー出力信号の平均自乗誤差を最小にするよう再急降下法によって重みを決定するアルゴリズムである. 計算量が少な

く, メモリサイズも小さいという特徴がある. 重みの更新式は次式で与えられる.

$$w_m(n+1) = w_m(n) + \mu e^*(n) x_m(n) / \sum_{m=1}^M |x_m(n)|^2 \quad (1)$$

ここで, $w_m(n)$ は, m 番目のアンテナ素子の重みである. $x_m(n)$ は, 素子 m におけるアンテナ素子への入力信号である. μ はステップサイズであり, 0 から 1 の値をとる. 今回の測定では 0.1 とした. また, $e(n)$ は参照信号である $ref(n)$ とアレー出力信号 $y(n)$ との差であらわされる誤差信号であり, 次式で与えられる.

$$e(n) = ref(n) - y(n) = ref(n) - \sum_{m=1}^M w_m^*(n) x_m(n) \quad (2)$$

N-LMS アルゴリズムには参照信号が必要となるが, DPCH には既知であるパイロット信号が含まれているため, これを参照信号として用いる.

3. 実験諸元

3.1. 受信アンテナの構造

図4に, 受信アンテナとして用いる 4 素子モノポールアレーアンテナの構造を示す. 1 m × 1 m の波長に対して十分大きい Ground Plane の中央に, 4 素子の 4 分の 1 波長モノポールアンテナが配置されている. この受信アンテナは, アレー素子間隔を 0.1λ , 0.25λ , 0.5λ , 0.75λ と変化させることができる. ただし, λ は搬送波波長である.

また, 図5に素子間隔が 0.25λ , 0.75λ の場合の水平面の動作利得パターンを示す. 素子間相互結合は, アレー素子間隔が小さくなるほど増加し, パターンを変形させる. 素子間隔が 0.25λ の場合は 0.75λ の場合と比べて利得が低下しパターンも変形しているのがわかる.

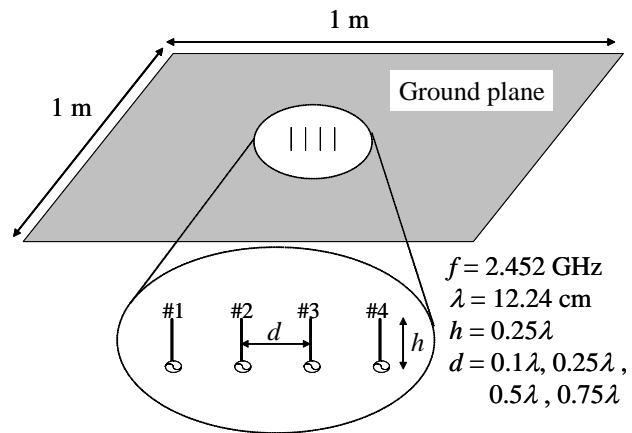


図 4. モノポールアレーアンテナの構造

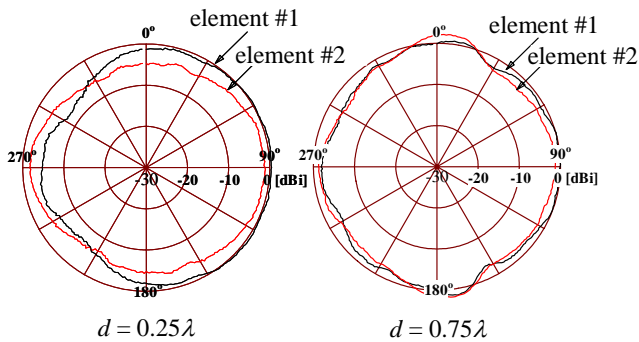


図 5. 動作利得パターン (水平面)

3.2. 測定システム

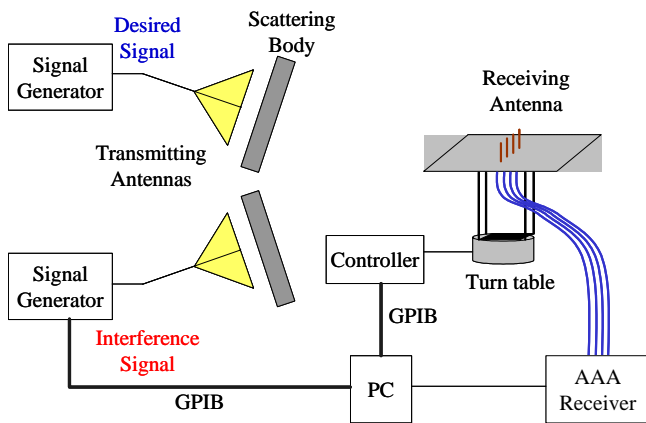


図 6. BER 測定系

屋内マルチパス環境下での BER 測定系を図 6 に示す。2本の送信アンテナとしてパッチアンテナを用い、一波を所望波、もう一波を干渉波とした。所望波、干渉波はともに中心周波数は2.452 GHz、帯域幅は5 MHzのW-CDMA信号であり、詳細は表 2 に示す。干渉波を出力するSG (Signal Generator) は、GPIB ケーブルでPCと接続されており、PCで送信電力を制御することができる。所望波の送信電力は一定とし、干渉波の送信電力を変化させることで送信 SIR (Signal to Interference Ratio) を変えて測定を行う。LOS (Line-Of-Sight) 環境の場合には図の散乱体は取り除かれ、NLOS (Non-Line-Of-Sight) 環境の場合には送信アンテナの前方に散乱体を配置し、直接波が見えない環境を作る。受信アンテナは回転台の上に置かれており、回転台のコントローラーも GPIB ケーブルでPCと接続されているため、PCで制御可能である。また、受信アンテナは有線でアダプティブアレーアンテナ受信機と接続されている。アダプティブアレーアンテナ受信機に送られた信号は、N-LMS アルゴリズムによってアダプティブ制御され、受信機内の FPGA (Field

Programmable Gate Array) において BER (Bit Error Rate) を計算し、PCに保存される。

	Desired Wave	Interference Wave
Career frequency	2.452 GHz	2.452 GHz
Band Width	5 MHz	5 MHz
Data format	W-CDMA downlink DPCH	W-CDMA downlink DPCH
Data	PN9	Random
Spread factor	256	128
Symbol rate	15 ksps	30 ksps
Chip rate	3.84 Mcps	3.84 Mcps
Spread code	0	8

表 2. 送信信号の諸元

3.3. 測定環境

測定は図 7 に示すように、80 m²程度の広さの教室で行った。教室には、机やイスがランダムに配置されており、壁、床、机などで電波が反射するためマルチパス環境となる。送信アンテナの位置は固定とし、受信アンテナは教室内で移動させ、計 9ヶ所で BER 測定を行う。各々の場所で受信アンテナを 30 度ずつ 360 度回転させ、合計 108 パターンの BER 特性を得た。1つのパターンの BER 特性の測定には、10 万 bit のデータを用いている。

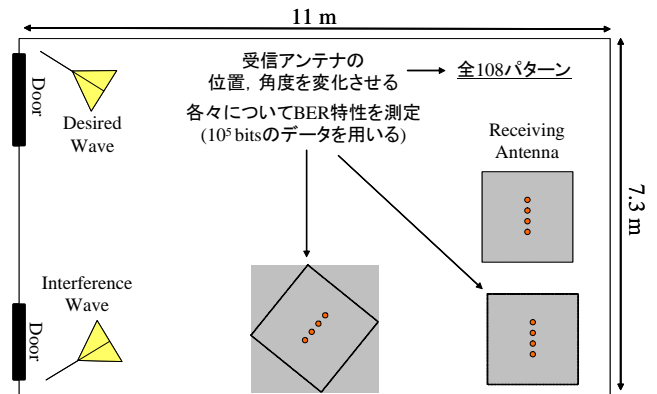


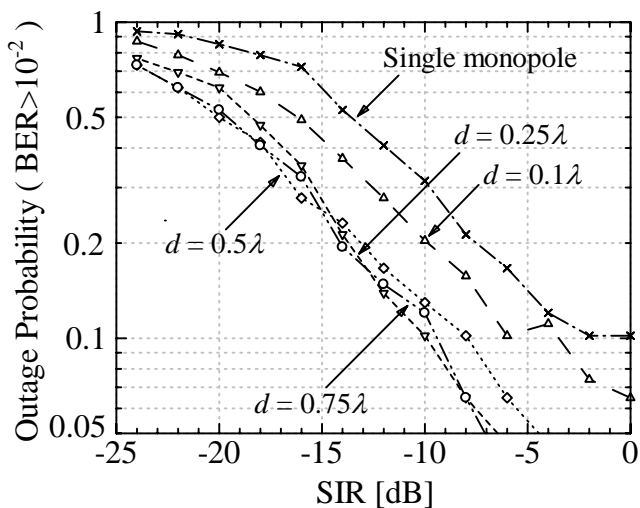
図 7. BER 測定環境

4. BER 測定結果

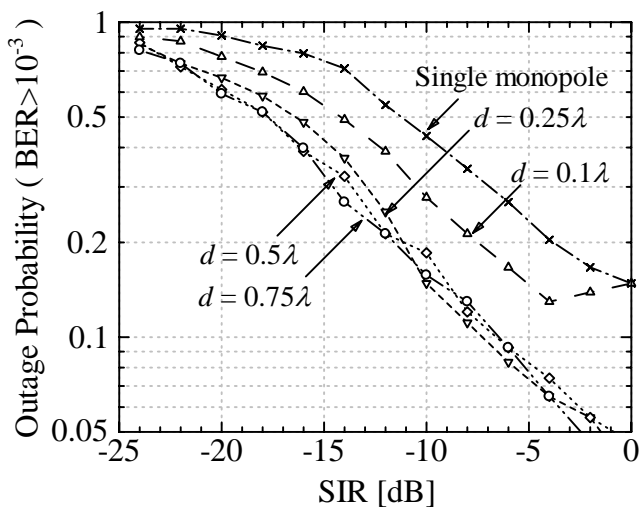
4.1. LOS 環境

BER の測定結果は各々の位置や角度についてではなく、全体的に考察しなければならない。そこで測定した全ての位置、角度に対して BER 特性がある値以上となる確率を Outage Probability と定義する。Outage Probability が大きいほど誤り率が大きいといえる。

図8に、SIRに対する(a)BERが 10^{-2} 以上となる確率、(b)BERが 10^{-3} 以上となる確率を示す。ただし、素子間隔 d を 0.1λ 、 0.25λ 、 0.5λ 、 0.75λ と変化させた。また、モノポールアンテナ単素子で測定した結果も併せて示す。(a)の場合、(b)の場合ともにどの素子間隔も、モノポールアンテナ単素子に比べると誤り率が改善しているのがわかる。しかし、素子間隔 $d = 0.25\lambda$ 以上となるとあまり変化はみられない。これは、 $d = 0.25\lambda$ 以上となればアンテナの開口も十分大きく、干渉波を抑圧できているためと考えられる。 $d = 0.1\lambda$ の場合には、素子間相互結合の影響が強いため利得が大きく低下し、また空間相関も大きいいため干渉波を抑圧しきれいていないと考えられる。



(a) BER $> 10^{-2}$

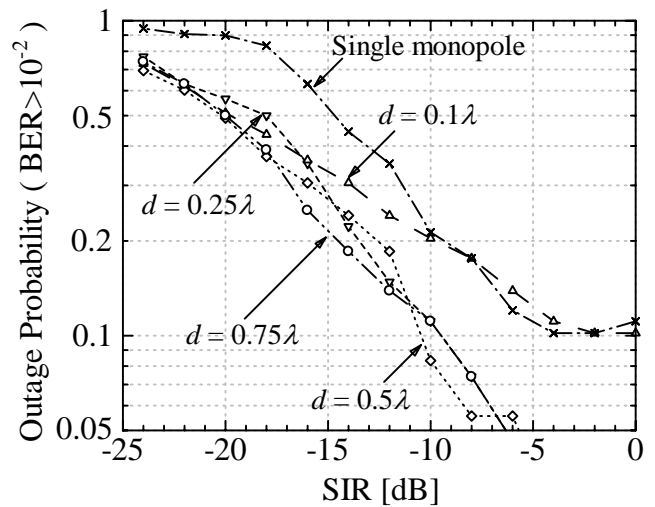


(b) BER $> 10^{-3}$

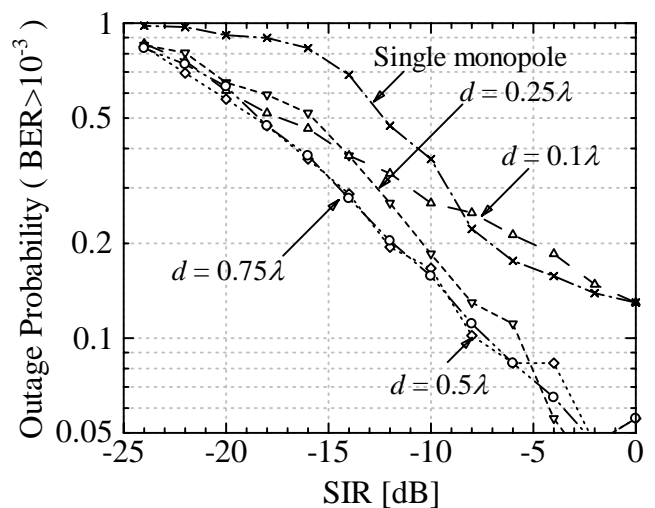
図8. Outage Probability (LOS 環境)

4.2. NLOS 環境

NLOS 環境においても同様に、図9に Outage Probability を示す。(a) BER $> 10^{-2}$ の場合には LOS 環境と同様に、素子間隔が 0.25λ 以上となれば大きな違いは見られないが、(b) BER $> 10^{-3}$ の場合には、素子間隔 $d = 0.25\lambda$ と $d = 0.5\lambda$ 以上との間に差が見られる。これは、LOS 環境の場合は直接波が支配的になるが、NLOS 環境の場合には直接波が見えず LOS 環境に比べ多くのパスが到来するため、より大きなアンテナ開口を必要とすると考えられる。



(a) BER $> 10^{-2}$



(b) BER $> 10^{-3}$

図9. Outage Probability (NLOS 環境)

5. まとめ

アレー素子間距離がアダプティブアレーアンテナの性能に与える影響を評価するため、W-CDMA 信号を用いマルチパス環境下で実験を行った。

LOS 環境の場合には、素子間隔 d が 0.25λ 以上となれば干渉波を十分抑圧でき、NLOS 環境の場合には、LOS 環境に比べ大きな素子間隔が必要となることを示した。

参考文献

- [1] F.Adachi, M.Sawahashi,and H.Suda, “Wideband DS-CDMA for next-generation mobile communications systems,” *IEEE Commun. Mag.*,pp.56-69, Sept. 1998.
- [2] 菊間 信良,著 ”アレーアンテナによる適応信号処理”,科学技術出版,1998.
- [3] 菊間 信良, 著 “アダプティブアンテナ技術”, オーム社, 2003.
- [4] 鈴木佑介, 工藤栄亮, 安達文幸, “適応アンテナアレーの重み更新に用いる参照信号がビームパターン形成に与える影響,” 信学会無線通信システム研究会 RCS2002-146, pp.53-38, Aug.2002.
- [5] 袁巧微, 陳強, 澤谷邦男, 工藤栄亮, 安達文幸, “4 素子アダプティブアレーアンテナを用いた W-CDMA 受信装置,” 信学技報, A-P 2005-99, pp.89-94, (2005-10)
- [6] Koichi Ogawa, Atsushi Yamamoto, Jun-ichi Takeda, “ Multipath Performance of Handset Adaptive Array Antennas in the Vicinity of a Human Operator ” *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, VOL.53, NO.8, August 2005
- [7] Qiaowei Yuan, Qiang Chen, Kunio Sawaya, “Performance of Adaptive Array Antenna with Arbitrary Geometry in the Presence of Mutual Coupling,” *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, VOL.54 ,Issue 7, July 2006 Page(s):1991 - 1996