

快適なオフィス内無線を実現するスマートアンテナ

Smart Antennas to Realize Comfortable Wireless Communications in Indoor Environment

庄木 裕樹

SHOKI Hiroki

尾林 秀一

OBAYASHI Shuichi

笠見 英男

KASAMI Hideo

スマートアンテナは、無線機の使用環境に応じて最適なアンテナ性能(例えば、ビームパターンの最適成形など)を適応的に実現するアンテナの総称である。その起源は、1960年代から研究開発の始まったアダプティブアンテナであり、その歴史は古いが、干渉波対策などの目的でレーダなど特殊な用途に限られていた。しかし、近年の無線通信に対する需要の増加に伴い、限られた電波資源(周波数帯域)を有効利用するなどの目的のために、民生用の無線通信システムへスマートアンテナを適用するための研究開発が進められている。

東芝では、無線LANなどオフィス内無線システムへの適用を目指したスマートアンテナの研究開発に取り組んでおり、ローカル位相制御方式によるスマートアンテナ制御ICを開発し、試作機により性能を確認した。

Smart antennas have been studied since the 1960s as adaptive antennas having the ability to adaptively optimize antenna performance, such as beam patterns, according to the radio environment. Smart antennas were originally applied to defense uses and radar, and their technology progressed in such special application fields for about 30 years. Recently, however, increasing demand for wireless communication systems, including mobile phones and wireless LANs, has stimulated many wireless engineers to apply smart antennas to such commercial wireless systems. The key objectives here are effective use of limited frequency resources and cost reduction. Toshiba has proposed and developed a novel smart antenna system with intermediate frequency (IF) local signal phased shifters, for application to such commercial wireless systems.

1 まえがき

90年代半ばから携帯電話のユーザー数が爆発的に増え、また、2000年を過ぎてからは無線LANなどオフィス内や家庭などで利用する無線システムが広く一般に浸透してきた。これらの移動通信や無線サービスは、初期段階では、“いつでも、どこでも、誰とでも”がうたい文句であったように、例えば音声通話のように伝送路としては細くてもよいから通信できることに目的があった。しかし、近年は、マルチメディアサービスのブロードバンド化、高速化に伴い、ユーザーの興味は、例えば動画の無線通信など高速で広帯域なサービスに移ってきている。

ここで問題となるのは、“電波資源は有限である”という事実である。現在、携帯電話や無線LAN用などに割り当てられている周波数帯域だけで、今後、ますます増えていく高速伝送ユーザーを収容することは不可能である。事実、無線LANのIEEE802.11b/g(米国電気電子技術者協会規格802.11b/g)が利用できる2.4GHz帯の周波数帯はBluetooth^{TM(注1)}や電子レンジとも共用する周波数帯でもあり、無線ユー

ザーの増加に伴う電波干渉などの理由により、十分な通信品質を確保できない場合もある。もちろん、総務省やITU(International Telecommunication Union)などの行政的な取組みにより、将来的には新規周波数帯が確保でき、帯域は増えていくと考えられるが、直近の問題を解決するためには別の対策を行う必要がある。

そして、スマートアンテナは、技術的なアプローチにより増大するユーザーや通信容量の問題を解決できる、もっとも期待される技術である。

2 スマートアンテナの構成・機能と利用効果

従来の無線システムで一般的に利用されているアンテナが、全方向へ電波の放射を行う無指向性アンテナであるのに対して、スマートアンテナでは、通信を行う所定の端末あるいは基地局のある方向のみにビームを向けたり、干渉波を受けないように干渉波方向にヌル(零点)をつくるなど、ビームパターンの形状を適応的に変化させることができる。この機能は、図1の構成に示すように、複数のアンテナ素子を持ち、これらのアンテナ素子で送受信する信号に適切な重み付け(振幅、位相の設定)を行い、これを合成する(受信系

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の商標。

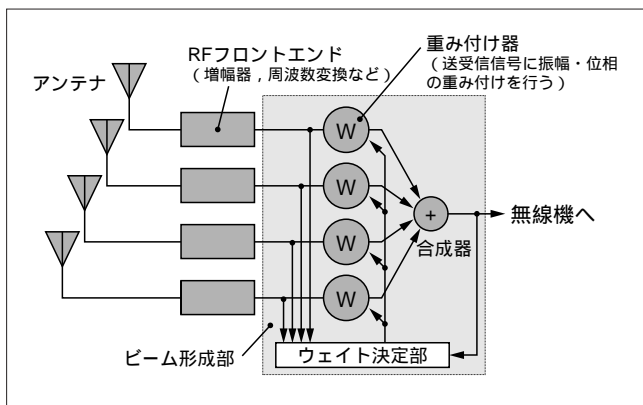


図1. スマートアンテナの構成例(受信系) - 複数のアンテナ素子の送受信信号に振幅・位相の重み付けを行う。

Basic configuration of smart antenna

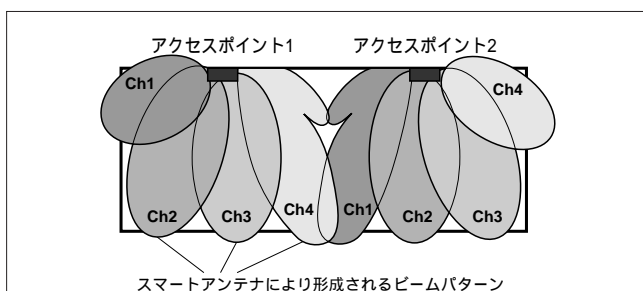


図2. スマートアンテナ利用による効果例(1) - アクセスポイント(基地局)からの電波の照射エリアをコントロールすることによりチャネル利用効率が向上する。

Example of functions and merits of smart antennas (1)

の場合)により実現される。ここで、受信した信号などをモニタして最適な重み付けを決定するアルゴリズムがもっとも重要な技術課題になる。また、ビーム形成部をどのようなハードウェアで実現するかということも重要な課題である。後述するように、東芝では、低コスト化を目指してローカル位相制御方式(AA-LPS: Adaptive Array steered by Local Phase Shifters)を提案し、この方式によるスマートアンテナ制御ICの開発を行った⁽¹⁾⁽²⁾。

スマートアンテナでは、与干渉の低減と干渉波の抑圧ができるため、システム全体の干渉レベルが低減でき、ユーザー収容能力が向上できる⁽³⁾。このほかに、例えば、オフィス内無線において、次に示すような直接的な効果も期待できる。

- (1) ビーム照射エリアを限定し、周波数チャネル(Ch)を繰り返し利用することによる周波数利用効率の向上(図2)
- (2) シャドールン時にはビームの自動切替えにより通信回線を確保(図3)
- (3) 不要干渉波方向にヌルを持つビームパターンを形成することにより、干渉波を抑圧し通信品質を向上(図4)
- (4) 高利得化によるカバーエリア拡大及び低消費電力化(図5)

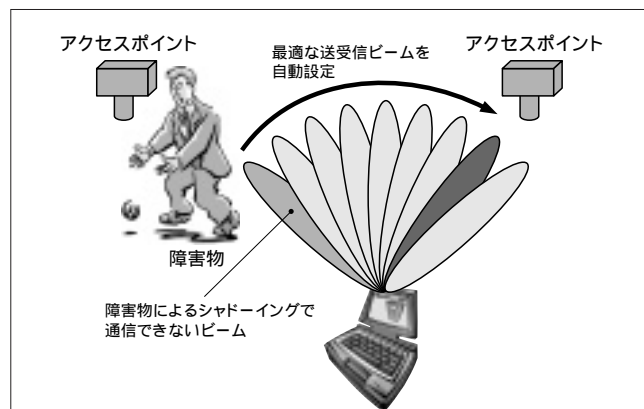


図3. スマートアンテナ利用による効果例(2) - 電波環境に応じて最適なビームを自動設定する。

Example of functions and merits of smart antennas (2)

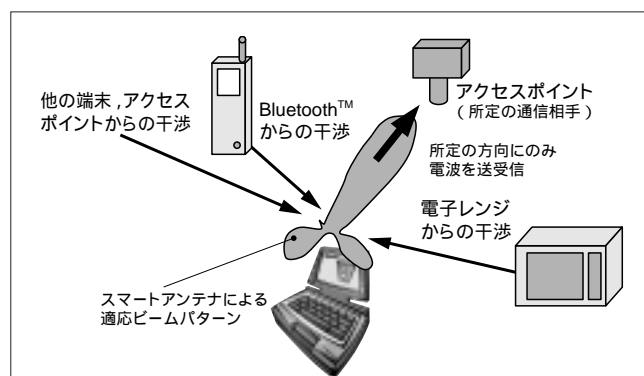


図4. スマートアンテナ利用による効果例(3) - 不要干渉波方向にビームパターンのヌルを形成して干渉波を除去する。

Example of functions and merits of smart antennas (3)

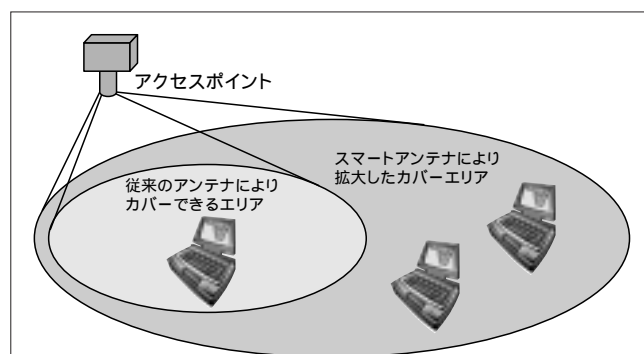


図5. スマートアンテナ利用による効果例(4) - 高利得化によりカバーエリアが拡大する。

Example of functions and merits of smart antennas (4)

3 低コスト化のためのAA-LPS方式スマートアンテナ

以上述べたように、スマートアンテナにより様々な効果が期待できる。しかし、複数のアンテナ素子とそれに接続され

るRF(Radio Frequency)フロントエンドやビーム形成部を低コストに実現できなければ、広く民生用機器に適用することはできない。特に、ビーム形成部の低コスト化は重要となる。

ビーム形成部の構成方法として、以下の方式がある。

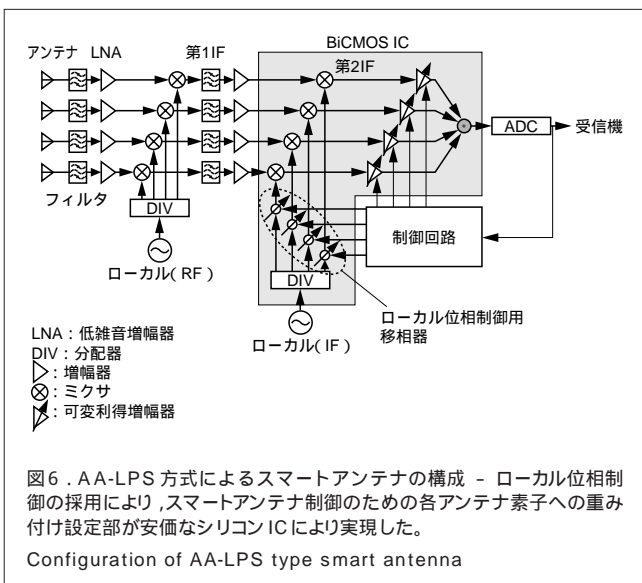
A方式：RF周波数帯 アナログ信号領域でのビーム形成方式(フェーズドアレイアンテナと同じ方式)

B方式：IF(Intermediate Frequency)周波数帯 アナログ信号領域でのビーム形成方式

C方式：ベースバンド帯 デジタル信号領域でのビーム形成方式(DBF：Digital Beam Former)

この中で、A方式は、RF帯で動作する高価な移相器や可変増幅器が必要になり、高速伝送のためには広帯域特性も要求され、民生用としては不相当である。一方、C方式は、DSP(Digital Signal Processor)などの利用により、ビーム形成のためのアルゴリズム実装や変更が容易になり、ソフトウェア無線機との融合も想定した将来のスマートアンテナとしては大変魅力的な方式である。しかし、現状では、数十Mbpsを超える場合には、高速なデジタル信号処理デバイスや高速で高ビットのADC(アナログ/デジタル変換器)が必要になり、コスト的には課題がある。そこで、当社では、低コスト化を目指し、シリコンによるIC化が可能なB方式を採用し、スマートアンテナ制御ICの開発を行った。特に、AA-LPS方式の採用により、高速伝送に対応できることが特長である⁽²⁾。

AA-LPS方式のスマートアンテナ構成を図6に示す。各アンテナ素子からの信号に位相の重み付けを行うために、周波数変換のためにミキサに入力するローカル信号に所定の位相差を設定していることが特徴である。更に、通信する信号帯域に関係なくローカル信号へ位相の設定を行う移相器は、狭帯域で動作すればよい利点もある。



4 スマートアンテナ制御IC

図6の網掛けで示した部分に相当した回路、すなわち、利得調整、移相、周波数変換、信号合成の機能を1チップにまとめた移相回路付きダウンコンバータを、BiCMOS(Bipolar相補型金属酸化膜半導体)プロセスでIC化したものを図7に示す。チップ面積は2.9mm x 2.9mmである。移相回路は5ビットで動作し、特に高い精度が要求される45°、22.5°、11.25°の各移相回路には、図8に示すようなブリッジ型回路を用いている。このため、回路素子の誤差の影響を低減化でき、位相誤差4.1°以下の精度が得られている。このほかの特性評価結果については表1に示すとおりである。

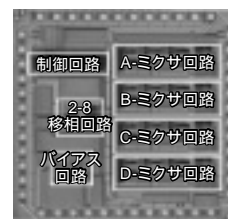


図7 . AA-LPS方式によるスマートアンテナIC - スマートアンテナICをBiCMOSプロセスで2.9mm x 2.9mmのチップサイズで実現した。
AA-LPS type smart antenna IC

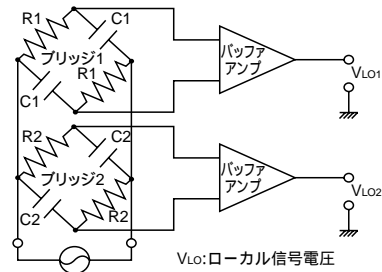


図8 . ブリッジ型回路による移相回路 - 差動入力差動出力のブリッジ型移相回路の組合せにより実現した45度移相回路である。
Phase shifter with bridge circuits

5 オフィス内無線に適用するスマートアンテナの開発

ここでは、屋内環境での使用を想定して当社で開発したスマートアンテナ試作機について述べる。

5.1 干渉除去機能付き無線LAN用スマートアンテナ

無線LAN(IEEE802.11b)は、免許が不要の2.4GHz帯(ISM帯)を利用しているので、同じ周波数帯を利用する電子レンジからの干渉の影響を受ける。電子レンジから漏えいする電波は規制値以下の微弱なものではあるが、干渉要因となり、電子レンジ動作時には通信品質が劣化してしまう

表1. スマートアンテナICの性能

Measured performance of smart antenna IC

項目	測定値
電源電圧	3.3V
消費電流	100mA
IF入力周波数	374MHz
出力周波数	70MHz
ローカル信号入力周波数	304MHz
ローカル信号入力電力	-10 ± 5dBm
最大変換(電圧)利得	9.2 ~ 9.8dB
利得切替え誤差 (ステップ4段階切替え)	< 0.1dB (ステップ利得1.5dBのとき)
最大利得時IIP3	-0.9dBm
最大利得時NF	11.1dB
位相制御誤差	2.5 ~ 4.1°

IIP3: 3次インターセプトポイント NF: 雑音指数

可能性がある。そこで、当社では、電子レンジからの干渉を低減し、スループットを改善することのできる無線LAN基地局用スマートアンテナ試作機を開発した。

電子レンジからの干渉波は交流(AC)電源の周波数に対応して間欠的に発生し、かつスペクトルも2.45GHzを中心に移動していく特徴がある。当社では、干渉波が発生するタイミングを同定してスマートアンテナを動作させる制御アルゴリズムを開発し⁽⁴⁾、試作機に実装した。図9には、伝送速度(スループット)の改善効果の測定例を示し、干渉発生時に約10%に激減していたスループットが、スマートアンテナを動作させることにより約90%まで改善できた。

5.2 ユーザー収容数向上のためのスマートアンテナ

2.4GHz帯無線LANでは、同一エリアで同時に4Chしか使用できない。しかし、スマートアンテナにより、図2に示したような照射エリアを限定することができれば、2倍の周波数利用効率の向上(すなわち8Chを同時使用)が可能にな

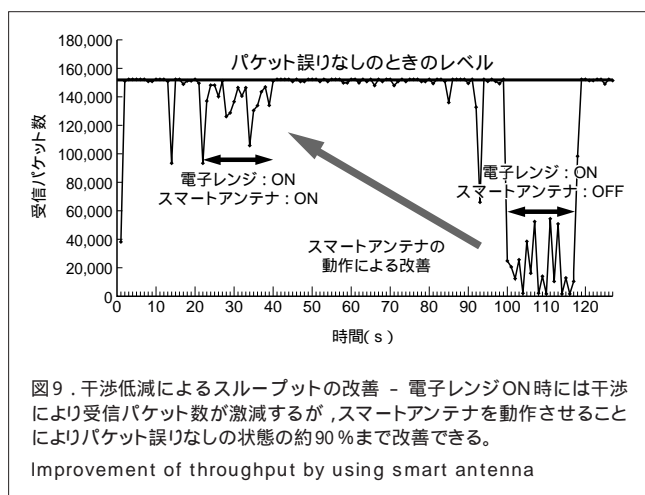


図9. 干渉低減によるスループットの改善 - 電子レンジON時には干渉により受信パケット数が激減するが、スマートアンテナを動作させることによりパケット誤りなしの状態の約90%まで改善できる。

Improvement of throughput by using smart antenna

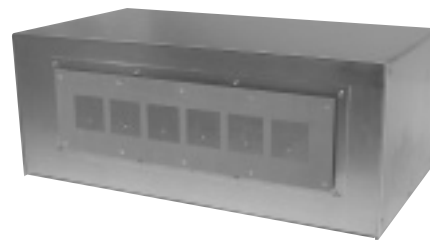


図10. 2.4GHz帯無線LANスマートアンテナ - 6素子の平面アンテナを用いたビーム照射領域を可変させる機能を備える無線LAN用スマートアンテナ試作装置である。

Smart antenna system for 2.4 GHz-band wireless LAN

る。この効果は、図10に示すスマートアンテナ試作機により確認できた。

6 あとがき

スマートアンテナは、その様々な利用効果から、次世代のオフィス無線においてユーザーに快適な通信環境を提供するために有効な技術である。今後は、そのようなユーザーの期待に応えられるような製品を投入できるよう、研究開発を更に加速させたい。

文献

- Obayashi, S., et al. "An adaptive array antenna steered by IF local signal phase shifters for K-band broadband fixed wireless access base station". IEICE Trans. Commun. E84-B, 9, 2001, p.2523 - 2529.
- 黒瀬大介, ほか. "スマートアンテナ用移相回路付きダウンコンバータIC". 電子情報通信学会技術研究報告, CAS2001-87, 2002, p.23 - 28.
- Ito, K., et al. Proc. Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)'01. P 2A. 5, 9, 2001.
- Kasami, H., et al. "A modified DCM algorithm for SDMA receiver in base station of broadband fixed wireless access systems". IEICE Trans. Commun. E84-B, 7, 2001. p.1774 - 1780.



庄木 裕樹 SHOKI Hiroki, D.Eng.

研究開発センター モバイル通信ラボラトリー主任研究員 工博。アンテナ及び関連技術分野の研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。Mobile Communication Lab.



尾林 秀一 OBAYASHI Shuichi

東芝アメリカ研究所 Research Director。無線通信, スマートアンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。Toshiba America Research, Inc.



笠見 英男 KASAMI Hideo

研究開発センター モバイル通信ラボラトリー。無線LANモデム, スマートアンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会 会員。Mobile Communication Lab.