

無線 LAN 高速化のための新技術

— CFO-SS 方式 —

篠永 英之 石川 博康

(株) KDD 研究所無線通信 G

●無線 LAN への期待

1990年代に入り、業務や研究開発の効率化、生産性向上のため、パーソナルコンピュータ、プリンタなどのOA機器が広く導入された。これに伴い、各種OA機器を接続するEthernetなどの有線LANの普及が進んでいる。LAN構築に際しては床・壁・天井などにケーブルを張り巡らせる必要があり、OA機器の追加やオフィスのレイアウト変更には工事を必要とするだけでなく、業務効率の低下を招く。また、工作機械が立ち並ぶ工場内、外観を損なえない歴史建築物のような場所ではLAN構築が難しい状況にある。上記の有線LANの課題を解決する一手段として、無線により各種OA機器を接続する無線LANへの期待が高まっている。

●2.4GHz帯ISMバンドを用いた無線LANでどんなもの？

無線LANの技術規格に関する郵政省令が平成4年12月公布・施行され、ISM (Industrial, Scientific and Medical: 産業科学医療) バンドと呼ばれる2.4GHz帯の周波数の一部が無線LANに開放された。ISMバンドはレーザーメスや電子レンジなどの産業科学医療用機器がすでに利用している。このような既存システムからの干渉の影響を極力抑えるため、無線LANにはスペクトル拡散(SS: Spread Spectrum)方式^{☆1}を採用することが義務

づけられた。無線LANに割り当てられた周波数は2,471~2,497MHzの26MHzで、SS方式により信号帯域幅を10倍以上に拡大しなければならない。その結果、これまでの無線LANの最高速度は有線の2分の1に相当する5Mbit/sであった。通信距離はオフィス内などの閉じられた空間では30~50m、屋外では1~2kmで、アクセス制御方式はEthernetと同じくCSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式が一般に採用されている。CSMA方式では全端末が1通信チャネルを共有し、共有チャネルが使用中かどうかを各端末が判断し、空き状態時に無線信号を送信することで互いの信号の衝突を回避する。

ISMバンドを用いる無線LANはコードレス電話と同様に特定小電力無線システムに分類され、電波免許を要しない。また、電波が人体へ影響を与えないよう、無指向アンテナを用いる場合、アンテナ端子への入力電波の強度が10mW/MHz以下に制限されている。指向性のよい高利得アンテナを用いる場合には、無指向アンテナとの利得差に応じてアンテナへの入力電波強度を低減することが義務づけられている。このように無線LANの実用化に際しては人体への影響が重要課題として検討、配慮されている。

■無線LANのメリット、デメリットはなに？

無線LANには次のようなメリットがある。

- 1) オフィス等のレイアウト変更時にネットワーク変更が容易で、工事コストを抑えることができる。

^{☆1} スペクトル拡散 (Spread Spectrum) 方式: もともと米軍で秘匿性に優れた無線通信技術として研究開発された方式で、種々の方式がある。ここでは直接拡散方式と呼ばれる方式について説明する。直接拡散方式では、PN (Pseudo Noise) 符号と呼ばれる特別な符号を用いて情報を拡散する。たとえば、1,0,1,1,0,1,1,1,0,0,0といった11ビットからなるPN符号で情報を拡散する場合、情報が1のときはPN符号をそのまま、0のときはPN符号の0と1を逆転させて伝送する。その結果、情報1ビットに対して11ビットの信号が送信されることとなり、情報速度が一定の場合、出力系列は情報速度の11倍の速度に高速化される。直接拡散方式ではこのようにして高速化されたベースバンド信号を位相変調等、通常の無線システムで採用される方式で変調し、伝送する。送信信号が高速化されるため、無線信号のスペクトルも広がり、その分、電力密度は低くなる。受信側では受信信号波とPN符号との相関をとるなどの処理をして、PN符号の影響を除去する。PN符号は受信側で相関が検出しやすいように特殊設計された符号で、相関特性が優れている特性を利用して、干渉等の妨害に強いシステムを実現することが可能となる。本稿で紹介したCFO-SS方式では11ビットのBarker符号と呼ばれるPN符号が採用されているが、一般には100~1000ビットと長いPN符号が採用されることが多い。

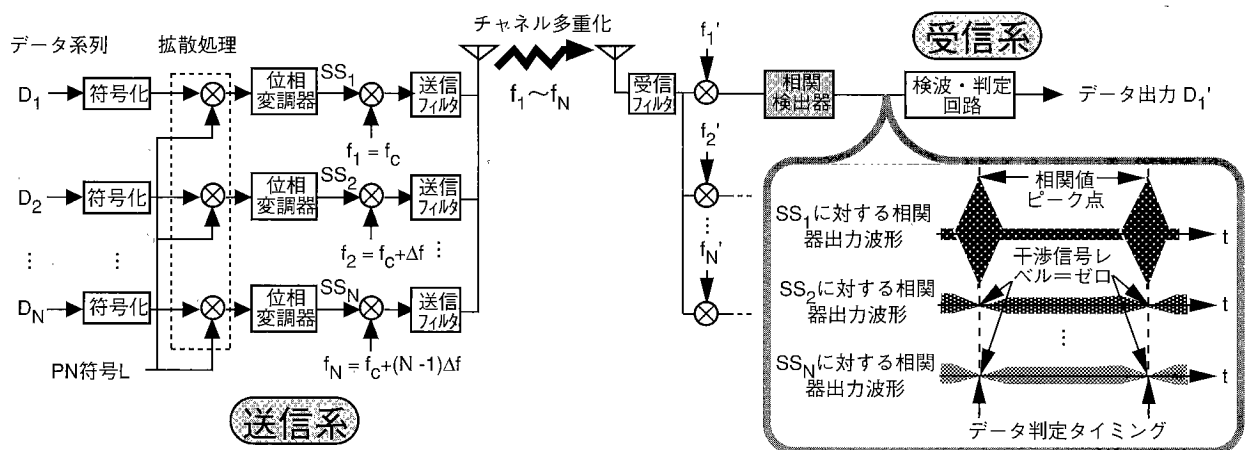


図-1 CFO-SS方式の原理

- 2) 既存ネットワーク構成を変更することなく、OA機器が容易に追加できる。
- 3) LANを新たに構築しようとする場合、特にこれまでLANの構築が難しいとされる場所、さらには一時的にLANを構築する場合、容易、かつ、低コストにLANを構築できる。
- 4) ビル間等でLANが容易に接続でき、専用線に比べ通信コストが安い。
- 5) 携帯パソコンを用いて自由にネットワークにアクセスできる。

しかし、上記のメリットがあるにもかかわらず、無線LANは広く普及するには至っていない。その理由としては、1) 速度2~5Mbit/sの1通信チャンネルを全ユーザで共有するため、ユーザ数や通信量が増加すると、ユーザ当たりのスループットが低減する、2) 無線LANの価格がOA周辺機器としては高価であるなどが考えられる。端末価格は需要が拡大すれば自ずと下がるが、現状では2~5Mbit/sという速度がネックとなり、需要が拡大せず価格も下がらないといった悪循環に陥っているものと考えられる。このような課題を解決するため、ISMバンド無線LANの高速化に関する検討が米国、日本において進められている。

●無線LANの高速化技術・・・ CFO-SS方式とは？

これまでに検討された高速化技術には、複数のPN符号を用いてベースバンド信号を並列的に多重化する方法、同一のPN符号を用いて作成された複数のSS信号を並列的に多重化する方法がある。前者は米国を中心に検討されている方式で、電波の多重反射（マルチパス）の影響を受けやすく、マルチパスの影響を軽減するために複雑な構成の等化器と呼ばれる信号補償回路が必須となる。一方、後者は日本において考案された方式で、搬送波周

波数オフセットスペクトル拡散（CFO-SS: Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum）方式と呼ばれる。CFO-SS方式はマルチパスの影響を比較的受けにくく、等化器を必要としないため、回路構成が簡単という特徴を有している。この優れた特徴を有したCFO-SS方式についての理解を図るため、以下ではCFO-SS方式の原理、無線LANへの適用について解説する。

■CFO-SS方式の原理

図-1にCFO-SS方式の原理を示す。送信側では情報系列を複数のデータ系列 $D_1 \sim D_N$ に並列化し、通常の無線方式で用いられる符号化を施す。次に、同一のPN符号Lを用いてベースバンド帯でスペクトル拡散する。この時点で、データ系列速度はPN符号Lのビット数倍、高速化される。その後、位相変調が施され、複数のスペクトル拡散信号波 $SS_1 \sim SS_N$ が生成される。最後に、 $SS_1 \sim SS_N$ は無線周波数 $f_1 \sim f_N$ に周波数変換され、送信フィルタにより帯域外の不要信号成分が除去され、アンテナより送信される。なお、CFO-SS方式では、1) すべての $D_1 \sim D_N$ 系列、PN符号Lが時間的に同期していること、2) 無線周波数 $f_1 \sim f_N$ の差は $D_1 \sim D_N$ 系列の速度で規定される周波数 Δf （たとえば、 $D_1 \sim D_N$ 系列の速度が1Mbit/sの場合、 $\Delta f = 1\text{MHz}$ ）の整数倍であることを満足する必要がある。4相位相変調が採用される場合はデータ系列の速度をK Mbit/sとすると Δf は $K/2 \text{MHz}$ となる。

受信側では、受信した信号波を受信フィルタを通過させ不要帯域の信号を除去した後、中間周波数と呼ばれる数10MHz帯へ周波数変換し、データ系列ごとにPN符号Lとの相関を求める。図-1はSAW（Surface Acoustic Wave：弾性表面波）フィルタを用いて小型に実現された相関器を用いる例である。周波数変換器は $f_1 \sim f_N$ の無線周波数で送信された $SS_1 \sim SS_N$ をSAWフィルタの動作周波数に周波数を変換する。そのため、受信フィルタの後にはN個の周波数変換器が並べられ、周波数変換に用い

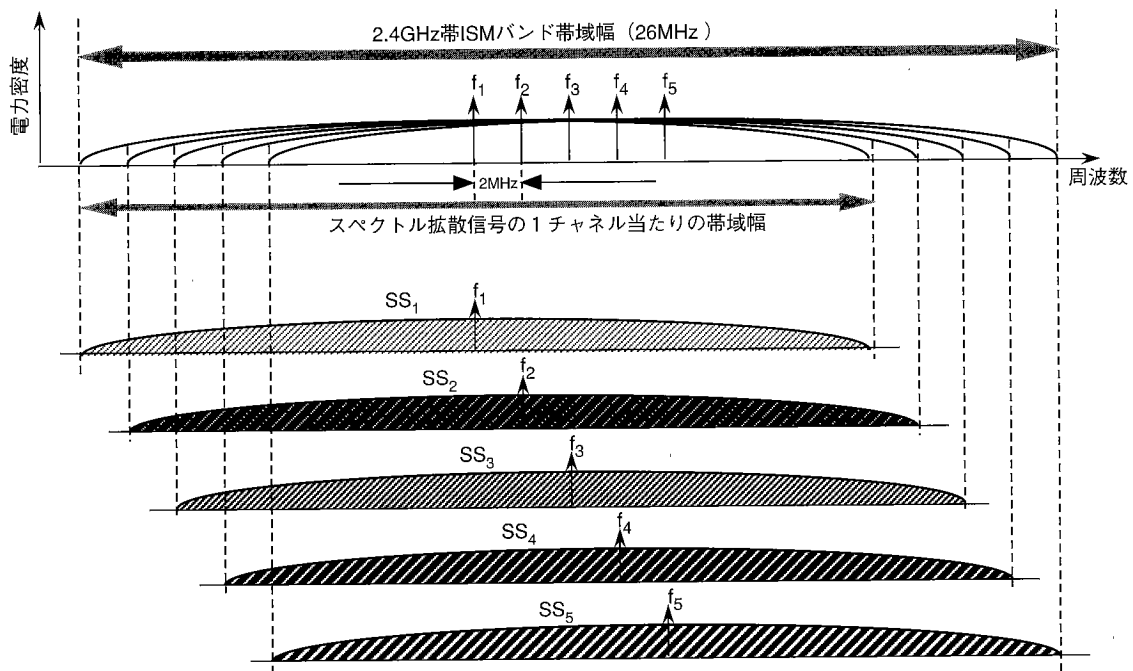


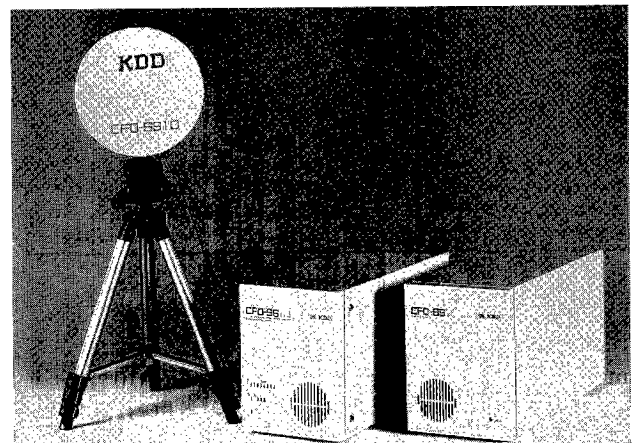
図-2 CFO-SS方式によるスペクトル拡散信号波の多重化

るローカル周波数 $f_1' \sim f_N'$ は Δf の整数倍異なる。図-1には SS_1 に対する相関検出器の出力波形が示されている。相関値のピーク点から情報が取り出されるが、この時点において他の信号波成分はゼロとなる。これは、CFO-SS方式において他の同期SS信号が干渉とならないことを意味している。その後、相関検出波形が検波・判定回路に入力し、受信データ系列 $D_1' \sim D_N'$ が作成され、最終的には直列系列に変換され、受信データとして出力される。

以上のように、CFO-SS方式は同一PN符号により作成された複数の同期スペクトル拡散信号を互いに干渉しない状態で多重化する技術で、限られた通信帯域においてスペクトル拡散システムの高速度を可能とするものである。

■ CFO-SS方式の無線LANへの適用

CFO-SS方式を適用して4相位相変調された複数のSS信号を多重化する場合、電波の多重反射（マルチパス）の影響を最も低減する無線周波数配置は Δf の2倍の値を用いる場合であることが発見された。これをISMバンド無線LANに適用すると、26MHzの帯域内で2Mbit/sのSS信号波を2MHz間隔で5波多重し、10Mbit/sシステムを実現することが可能となる。図-2にその様子を示す。4相位相変調された各2Mbit/s SS信号波の帯域幅は17MHzで、合計5波のSS信号 $SS_1 \sim SS_5$ をISMバンド26MHz内に収容することができる。CFO-SS方式では図-2に示すように複数のSS信号波は周波数領域で互いに重なった状態で送信されるが、受信側では完全に分離して情報を取り出すことが可能である。CFO-SS方式を適用した場合においても10Mbit/sの1通信チャンネルを全端末で共有使用するため、アクセス制御方式はCSMA方式を採用



指向性アンテナ 無線ユニット LAN間接続用インタフェースユニット

図-3 CFO-SS10の外観

する。

● LAN間接続用ポイントポイント無線システムCFO-SS10の開発

■ CFO-SS10の概要

CFO-SS方式を適用した最初の無線システムとして、10Mbit/s LAN間接続用ポイントポイント無線システムCFO-SS10が開発されている。図-3にCFO-SS10の外観写真（左から指向性アンテナ、無線ユニット、LAN間接続用インタフェースユニット）を、また、表-1に主要諸元を示す。CFO-SS10の速度10Mbit/sは平成10年9月現在、国内最高速度である。フィールド実験では距離1.5

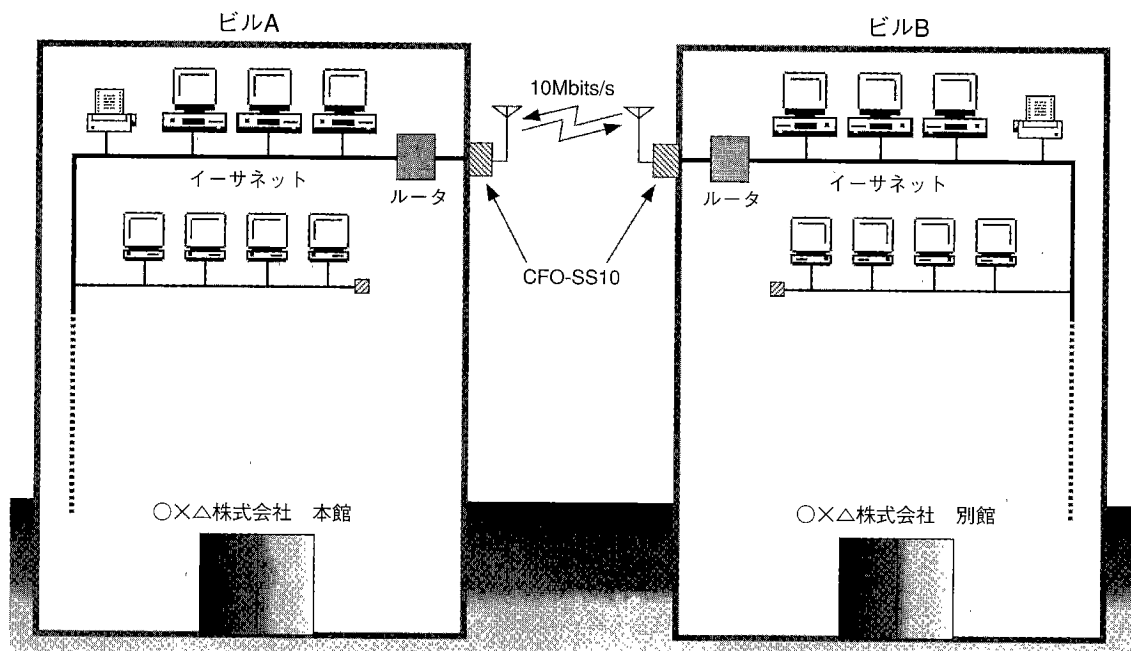


図-4 CFO-SS10を用いたビル間のLAN間接続例

- 周波数：2.4GHz帯ISMバンド (2,471~2,497 MHz)
- 変調方式：搬送波周波数オフセットスペクトル拡散 (CFO-SS) 方式
- PN符号：Barker 11 ビット符号
- 空中線電力：2mW/MHz以下
- アンテナ利得：約8.14 dBi
- アンテナビーム幅：±23度
- RCR STD33-Aに準拠 (技術適合検査に合格済)
- 速度：10 Mbit/s
- 最大通信距離：1.5 km (通信環境に依存)
- LANインターフェース：Ethernet10 Base-T (IEEE802.3準拠)
- アクセス制御方式：CSMA

表-1 CFO-SS10の主要諸元

kmの2地点間において無線LANの所要BER (10⁻⁵) を達成した。さらに高利得な指向性アンテナを用いれば通信距離を伸ばすことができる。図-4にCFO-SS10を用いた2つのビルA, B間のLAN間接続例を示す。このように、道路や川といったケーブル敷設が難しい2地点間のLAN間接続をCFO-SS10は容易かつ経済的に行うことができるため、順次、導入が始まっている。

●無線LANの今後はどうなるの？

■2.4GHz帯無線LAN周波数の拡張

最初に述べたように、現在日本では2.4GHz帯無線LANに使用できる帯域幅は26MHzに制限されている。一方、欧米では原則2,400.0~2,483.5MHzの83.5MHzが無線LANに割り当てられている。その結果、無線LAN用に最大3チャンネルが確保され、無線LAN利用が輻輳する場所では互いに使用チャンネルを変えることによりスループットの低下を防いでいる。そのような状況を受けて、日本においても無線LAN周波数の拡張に関する検討が郵政省・電気通信技術審議会において進められている。本帯

域では、無線LANのほかにアマチュア無線や移動体識別が運用されており、これらのシステムと無線LANが共存する必要がある。技術検討は精力的に進められており、まもなく技術的共用条件が明確化される見込みである。その結果、無線LAN周波数が拡張されれば、利用可能な通信チャンネル数が増し、さらに利便性が高まることが期待される。

■無線LANの将来

以上述べたように、2.4GHz帯無線LANには有線LANにない数々の利点があるにもかかわらず、速度が2~5 Mbit/sと中速であったこと、通信チャンネルが1チャンネルしか確保できなかったこと、価格が高かったことを理由に広範な普及には至っていない。今後、CFO-SS方式等の高速化技術が普及し、かつ、無線LAN周波数が拡張されれば、無線LANの使い勝手が格段に改善されることは間違いない。その結果、無線LAN需要が伸び、低価格化が進み、さらなる需要が喚起されよう。また、無線LANは有線LANの代替えとの位置付けだけではなく、有線LANの構築が困難な場所、環境において迅速にLAN構築を可能とするため、有線LAN以上のマーケットが期待できるといっても過言ではない。今後の無線LANの技術発展を期待するとともに、無線LANマーケットの動向に注目したい。

参考文献

- 1) Ishikawa, H., Shinonaga, H. and Kobayashi, H.: Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum (CFO-SS) Method for Wireless LAN System Using 2.4 GHz ISM Band, IEICE Trans. Fundamentals. Vol. E80-A, No.12 (Dec. 1997).

(平成10年12月7日受付)