

## 解説



## 無線 LAN

## 2. 高速無線通信の技術†

中川 正雄††

## 1. はじめに

今から30年以上も前と思われるが、ある電話会社で社員が移動通信をやってみたくて提案したら、上司が「君、車に乗っている人が電話をしたくなったら、車を止めて公衆電話をかければいいんだ」と反論された。また、コードレス電話が米国で普及し始めたときに「我が社でもコードレス電話をつくりましょう」と家電メーカーの社員が提案したら、上司が「日本の家と米国の家の広さを考えろ、4帖半の部屋でコードレスもあるものか」と反対されたと言う。

いずれも今では笑い話であり、上司の判断は間違っていたわけであるが、かように、情報化社会の行く末は予測しにくい。情報化社会の需要は多くの人に「何をそこまで」と奇異な感じを与えるがゆえに見誤ることが多い。エネルギーや物質を主体にするものよりも隠された便利さや繊細な人間の感情、さらに芸術や人間の生き方といった哲学的なものに依存することがあるからである。一度使えばすぐに分かるが、使うまでは分からないのが実状である。

無線 LAN の需要も、実のところ、使ってみてはっきりするのであろうが、以上のような前例のおかげで、予測を間違えることはないであろう。計算機端末が小型になり、パーソナル化し複数の端末をケーブルで結ぶことで、それらの機能を増大させるにいたったが、ケーブルの存在も煩わしくなり、これを電波に置き換えるところまできている。ケーブルを捨てて電波を使うメリットは次のようであろう。

- (1) ケーブルの工事が不要になる。
- (2) 美観的に好ましい。

- (3) 端末の可動性、移動性が確保される。

- (4) 利用者の自己本位性を満足させる。

無線 LAN の特性に対する要望は、

- (A) 有線 LAN と同じような信頼度

- (B) 有線 LAN と同じような高速性

となるであろう。現在のところこの二つの要望を満足させるために多くの研究がなされていると言っても過言ではない。ここでは以上の要望の中で、特に高速化の要望のための研究動向について解説する。

## 2. 無線 LAN に利用できる周波数

無線 LAN が最近になり、脚光をあびるようになったのは、需要の増大とともに、利用できる電波の周波数が一般の消費者に与えられたことにもよっている。ここでは、国内で利用できる周波数を紹介する。

## 2.1 小電力無線設備

最大出力 10 mW の無線設備であり、製造者免許を必要とするが、使用者の免許を要しない。しかし、32 kbps 以下の伝送速度であるので、高速伝送に利用できないし、また、用途も限定されているが、参考のために、表-1 に示す<sup>1)</sup>。

表-1 小電力無線設備

用途	周波数帯	波数
遠隔操作	400 MHz	56
ページング	400 MHz	5
移動体識別	2.4 GHz	3
ワイアレスマイク	800 MHz	140
医用テレメタリング	400 MHz	800
データ伝送	400 MHz 1200 MHz	18 40
セキュリティ用	400 MHz 426 MHz	21 24

† High Speed Wireless Communication by Masao NAKAGAWA (Faculty of Science and Technology, Keio Univ.).

†† 慶應義塾大学理工学部

表-2 日本における ISM バンドの利用

周波数帯	2471—2497 MHz
伝送速度	数百 kbps から数 Mbps
変調方式	スペクトル拡散変調 (直接拡散, 周波数ホッピングおよびそれらの複合変調)
送信出力	10 mW/MHz 以下
使用者免許	不要

## 2.2 ISM バンド

ISM バンドとは Industrial Scientific Medical Band の略であり, 日本では 1993 年から利用可能になった. 日本における認可条件は表-2 に示される.

ISM バンドは従来から高周波加熱 (電子レンジなど) の周波数でもあり, そのために無線 LAN の変調方式に干渉に強いスペクトル拡散変調が採用されている. 日本における ISM バンドは上記の 2.4 GHz 帯のみであるが, 米国ではこの 2.4 GHz バンドとしては 2400—2483.5 MHz が利用され, これ以外に 900 MHz 帯 (902—928 MHz) と 5.7 GHz 帯 (5725—5850 MHz) も利用される. 900 MHz 帯はかつて高周波加熱に利用されていた帯域である. 2.4 GHz, 5.7 GHz 帯を無線 LAN 以外に高周波加熱とアマチュア無線が共用している. 日本における ISM バンドは 2.4 GHz において 26 MHz 帯域と米国のそれよりも狭いために, 需要が増えるとバンドが満杯になり, 新たなバンドの開放を考える必要がある. 今のところ伝送できる速度は数 Mbps 程度までと考えられ, 無線 LAN としては中速無線 LAN と言われる.

図-1 はモトローラ社が提案する 2 種類の無線モデムのモックである. 右のは一方向 WAN 用であり, 使用周波数は 280 MHz/900 MHz, 伝送

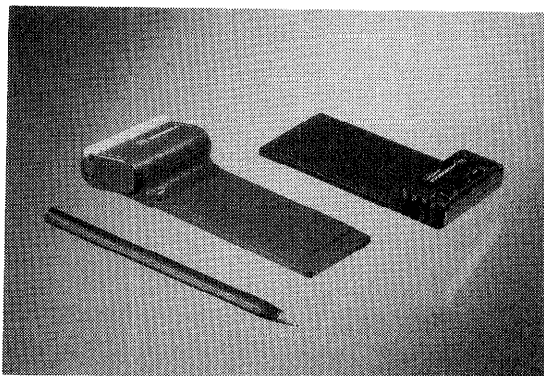


図-1 無線モデム (日本モトローラ社提供)

表-3 19 GHz 高速無線 LAN

周波数帯	18—20 GHz にかけて
伝送速度	10 Mbps 以上
変調方式	QAM, 4FSK, QPSK による時分割複信 (TDD)
送信出力	300 mW 以下
免許	必要 (構内無線局)

速度は 2.4 kbps 以下. 左は双方向 WAN と LAN 用であり, LAN 用には使用周波数は 2.4 GHz の ISM バンドで 1 Mbps の伝送速度となっている. いずれのモデムもパソコンなどに差し込んで利用できる.

## 2.3 サブミリ波利用の高速無線 LAN

ISM バンドの認可と同時に 19 GHz を利用した高速無線 LAN も利用できるようになった. 表-3 にその認可条件が示される.

以上日本における無線 LAN に今すぐに利用できる周波数を検討した. 低速であれば, 比較的低い周波数を用いた小電力無線が利用できるが, 中速以上は ISM バンドやサブミリ波の利用を考える必要がある.

## 2.4 ミリ波利用<sup>2)</sup>

無線 LAN が高速になればなるほど高い周波数を利用することになるが, 光の利用と同時にミリ波利用も検討されるであろう. ミリ波では屋外においての降雨減衰が問題になるが, 無線 LAN では屋内利用が多く, この問題は少ない. 主に 60 GHz あたりが用いられると思うが, サブミリ波で 10 Mbps 程度の伝送がなされるので, ここでは FDDI (Fiber Distributed Digital Interface) 相当の 100 Mbps が要求されるかもしれない. このくらいに高速になると伝播のときに生じるマルチパス対策がきわめて重要になる.

## 2.5 光の領域

赤外線を利用した方式が一般に利用される. レーザビームを用いての見通し内通信であれば, 100 Mbps の伝送も夢ではない. また, 天井に鏡を置いて下から反射させる方式でも高速伝送が可能である. しかし, 図-2 のように鏡を利用せずに普通の天井を利用すると, 乱反射のため 1 Mbps 程度の伝送速度が伝送可能である<sup>3)</sup>. もちろん天井の材質に大きく依存する. また, ビームを用いずに, 光をできるだけ拡散する方式もあるが, 伝送速度は 1 Mbps 以下にとどまる.

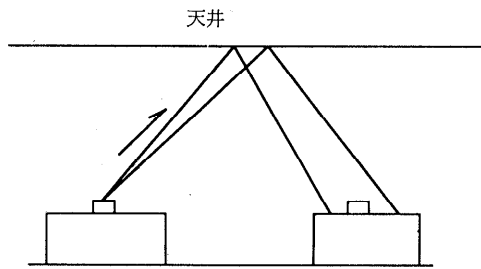


図-2 天井の反射を利用した光反射伝送システム

光利用の利点は鋭いビームや高い周波数のために高速伝送が可能で、しかも電波法に関係しないことである。しかしいったん伝送路に障害物があったり、ビームが受光端からずれると大きく特性が劣化してしまう。また、背景光といって、雑音としての光も多い。

### 3. 空間伝播における問題点

図-3 のように無線 LAN では、伝送すべきデータは必要な高周波搬送波で変調され空間に電波として輻射され、電波は複数のパスを経て受信部へ到着する。受信部では信号を復調し、送られたデータを復元する。

以上の流れの中で無線 LAN を高速にするときの問題点はなんと言っても、信号の空間伝播に起因している。空間伝播での問題点は主に二つある。一つは干渉信号、もう一つはマルチパスフェーディングである。

#### 3.1 干渉信号

〈高周波加熱装置からの干渉信号〉

2.2 で示したように ISM バンドでは高周波加熱用の信号がシールドされた加熱容器から漏れることも考えられ、そのために干渉に強いスペクトル拡散変調だけが無線 LAN に利用されている。家庭の電子レンジでも出力 500 W であり、シールドによって 40dB 減衰したとしても 50mW が空間に輻射される。そのスペクトルは一本の線スペクトルではなく、発信源と電源を安価にするために、数 10 MHz の帯域幅をもっている。

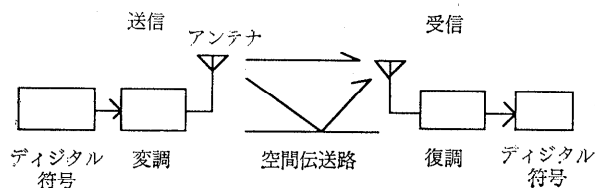
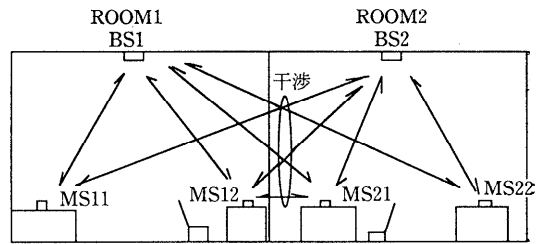


図-3 無線 LAN における送受信間の信号の流れ



BS=Base Station, MS=Mobile Station

図-4 隣接したエリアどうしの干渉

〈隣接無線装置からの干渉信号〉

無線 LAN や無線装置が普及すると、図-4 のように隣接した場所でも同じ周波数を利用する無線 LAN や装置が利用されるようになる。こうした場合に信号が互いのエリアに届けば干渉になる。プロトコルが似ていれば、互いに干渉を回避できるが、これが大きく異なれば干渉の回避がむずかしい。たとえば互いに CSMA (Carrier Sense Multiple Access) のパケット伝送であれば、秩序だった利用がなされる。しかし、一方が CSMA でも他方はいったん電波を出すと長時間出しっぱなしの方式ではうまくいかない。また両者同じプロトコルでもパケットの時間長が大きく異なれば同様である。

〈周波数の共用による干渉〉

周波数は年々不足の方向にある。不足したものをミリ波や光の領域に求めるのも一つの方法であるが、図-5 のような既存の回線と周波数の共用も今後考えられる。この図では既存のシステムは固定マイクロ中継回線であり、新設は室内の無線 LAN である。当然無線 LAN のほうの送信電力を極力抑えて既存の回線の保護をしなければならない。このため、新設回線は場合によっては既存回線の干渉を強く受ける。

#### 3.2 干渉信号対策

ここでは三つの方法を示す。

〈ビームアンテナによる方法〉

受信点からみると、多くの場合、希望信号と干渉信号は異なる方向から到来する。受信アンテナが鋭い指向性をもてば、干渉信号から希望信号を分離できる。

〈スペクトル拡散方式〉

送るべき情報のもつ帯域よりも伝送路では拡散符号によって帯域を広くする方式。10 倍程度から数 1000 倍の拡散率まである。受信

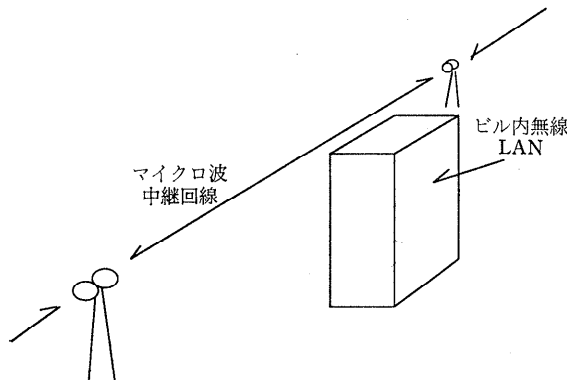


図-5 周波数共用

機では拡散した信号を元の情報帯域の信号にする逆拡散過程があるが、同一の周波数成分をもつような干渉信号でも、スペクトル拡散信号と相関が低ければ、希望信号にわずかな影響しか与えない<sup>4),5)</sup>。

〈キャンセラ〉

スペクトル拡散変調やアンテナ利用以外では同一周波数の干渉除去が困難である。特に干渉波のほうが受信電力が大きいとなおさらである。こうした場合にハードリミタの非線形効果を用いたキャンセラにより小さな信号を検出できる場合がある<sup>6)</sup>。

また識別回路の非線形性を利用して干渉波を抑圧し 16 値 QAM の受信性能を向上させている例もある<sup>3)</sup>。この場合は希望信号の受信電力のほうが大きい。

スペクトル拡散通信では干渉信号に強いことを利用して異なるパターンの拡散符号を複数重畳させ、同一周波数であり、かつ同時にアクセスのできる CDMA (Code Division Multiple Access) が可能である。しかし、ある拡散符号が飛び抜けて大きな電力をもてば、他の符号は受信不可能になる。これを遠近問題と呼ぶが、パケット通信において、これを解決したキャンセラが考察されている<sup>7)</sup>。

### 3.3 フェージング

送信された電波は空間を伝播するさいに、図-6 のように複数のパスが生じ、受信端でそれらが干渉し、信号を弱める場合がある。図-7 は、ある大学の研究室で表-4 に沿って伝播実験した結果で

ある<sup>8)</sup>。ステップ状の結果は誤り率であり、連続するのは受信強度である。送信機は部屋の中心のロッカーの上に置き、回りに机やロッカーがある典型的な大学の狭い研究室を想像していただきたい。受信強度は場所によって 20 dB 程度変化し、それにつれて誤り率は  $10^{-1}$  程度から  $10^{-6}$  以下と大きく変化している。

以上の実測でマルチパスがいかにフェージングを生じさせているかを確認した。このフェージングには主に低速伝送において生じやすい一様フェージングと、高速時に生じやすい選択性フェージングがある。実験の例は低速伝送において生じやすい一様フェージングである。

伝播するパスが複数あると、周波数によっては強めあったり、弱めあったりして周波数特性は図-8 のようになる。谷間の部分に信号の周波数スペクトルがくると信号強度は落ち込み、データ誤

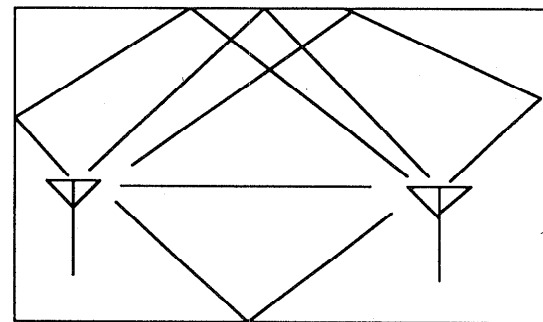


図-6 マルチパス伝送路

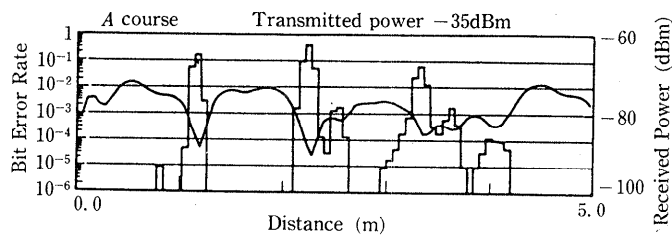


図-7 室内実験結果

表-4 室内実験諸元

周波数	442.5 MHz
伝送速度	1.024 kbps
送信電力	-25 dBm ~ -40 dBm (適宜変更)
送信信号	BPSK-RZ, BPSK
送信アンテナ	$\lambda/4$ モノポールアンテナ
受信アンテナ	グラウンドプレーン

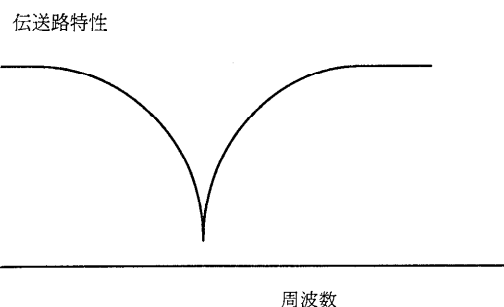


図-8 マルチパスの周波数特性

りが増える。信号の周波数スペクトルがこの谷間にすっぽり入るような場合を一様フェージングと呼ぶ。また谷間に入れきれない場合を周波数選択性フェージングと呼ぶ。より正確に言うと、複数のパスによって生じる遅延広がりを表す量  $\tau_{rms}$  に対して、同じフェージングを受ける帯域幅をコヒーレンス帯域幅  $B_c$  と呼び、 $B_c = 1/(2\pi\tau_{rms})$  で求まる。この幅よりも信号帯域が狭ければ一様フェージング。広ければ選択性フェージングとなる。図-8の谷間の中心周波数は移動体が動くと同時に変化する。谷間の幅、すなわち  $B_s$  は複数のパスの遅延量の広がり小さいほど広くなり、大きいほど狭くなる。遅延広がり一般に室内では数 10 ns から数 100 ns、屋外の数 km の半径のセルでは数  $\mu s$  から数 10  $\mu s$  である。

遅延広がりが大きいとデジタル信号をたとえば 1, 0 と順番に送っても 1 が後の 0 に影響を与え、受信側で 0 の判断を誤ることがある。こうした現象を符号間干渉と呼んで、選択性フェージング時に起きやすい。すなわち、高速伝送につきものである。一様フェージングではこうした問題がないが、図-8 の特性の谷間に入ると、振幅が減衰し、誤りが多くなる。

### 3.4 フェージング対策

#### 3.4.1 ダイバシティ

ダイバシティにはスペースダイバシティ、指向性ダイバシティ、パスダイバシティ、周波数ダイバシティなどがある。

〈スペースダイバシティ〉

使用周波数の波長の 1/2 程度以上に離れた複数のアンテナを利用したダイバシティである。図-9 には二本のアンテナとマルチパスによる信号の強度分布が示される。一般に強度分布は 1/2 波長離せば独立とみなすことができる。独立であ

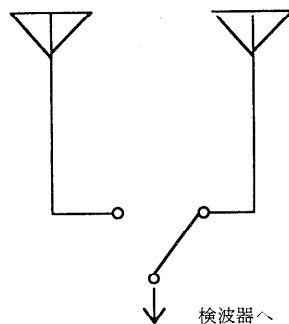


図-9 スペースダイバシティ（選択合成の場合）

れば、一方のアンテナでの信号強度が落ち込んでも、もう一方のアンテナでの強度が高い場合がある。一番簡単なのは、複数の中の最も状態の良い一つを選ぶ切り換え法（選択合成法）である。最も複雑だが性能の良いのは最大比合成法であり、信頼性の高いアンテナには大きな重みをつけ、そうでないものは小さな重みにし、かつ位相を揃えて合成する方法である。また、それより少し簡単な方法は、すべてに同じ重みをつけて位相を揃えて合成する等利得合成法である。

〈指向性ダイバシティ〉

アンテナの指向性を利用してたとえば図-10のように 360 度の全方向からアンテナに受ける信号を 60 度の方向に 6 分割してやれば、6 つの方向から来る複数の受信信号のうち最も良好な信号を選ぶことができる。また、他の 5 つの信号はそれとは異なるパスを通過しているとみなせるから、それらを無視することで、遅延広がりを抑制し、フェージングを改善できる。サブミリ波の 19 GHz を用いたモトローラ社の Altair はさらに受信側だけでなく、送信側のアンテナも制御する。送信側も 6 分割されているので、 $6 \times 6 = 36$  のうちの最良の一つを選択する。このシステムは 10

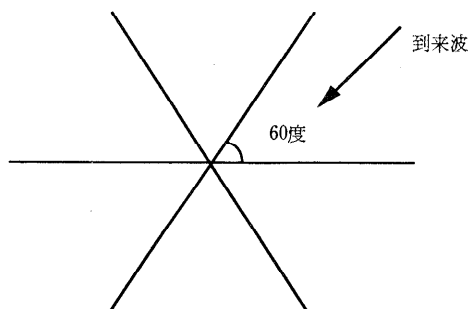


図-10 指向性ダイバシティ（6セクタ分割の場合）

Mbps の高速伝送を目指しており、伝播にともなうマルチパスの影響をこの指向性ダイバシティーで取り除いている。

〈パスダイバシティー〉

図-11 は伝送路で遅延広がりがあるために、複数の信号ピークが受信される状態を示している。マルチパスがなければ複数ピークは出現せず、単一のピークとなる。これらのピーク（パス）の位相を検出すれば、位相シフトキーイング信号（PSK）の復調が可能であるし、周波数を検出すれば周波数シフトキーイングの検出が可能となる。このパスの中で最も振幅の大きいものを選ぶ選択合成法もあるし、独立に変動するパスを効率よく合成した最大比合成法もできる。この場合の最大比合成法を RAKE（くま手の意味）と呼ぶ。

図-11 のような分離できる信号ピークは一般の変調方式では得にくい。しかし、情報帯域よりも広い伝送路帯をもつスペクトル拡散変調では個々のピークを分離できる場合が多い。パスダイバシティー効果をスペクトル拡散変調は大きく利用できる。

〈周波数ダイバシティー〉

信号帯域が  $B_s$  以上であれば、受信機には信号のすべての周波数成分は受信できないものの、常にある部分の成分が受信され、ダイバシティー効果が生じる。

周波数方向にデジタル符号を符号化する FSK (Frequency Shift Keying) やスペクトル拡散方式の中の周波数ホッピング方式にこの効果が知られる。

### 3.4.2 スペクトル拡散通信方式

周波数選択性フェージング通信路では受信機の相関検波器に図-11 のような遅延広がりが見測される。このような場合はスペクトル拡散方式以外では符号間干渉のために大きな損害を被り、後述する等化器が必要になる。一方スペクトル拡散方式では図-11 のように複数のパスを代表する

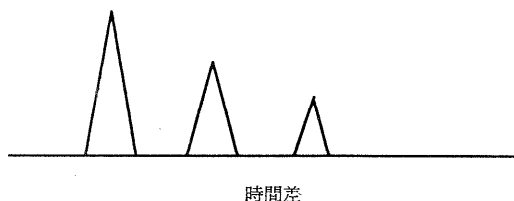


図-11 受信機における相関ピーク

ピークが分離できればこれらを合成してダイバシティー利得を得ることができる。

また、前述の CDMA も利用できるが、2.4 GHz の無線 LAN では歴史のないせいか、まだ CDMA を積極的に利用していないようであるが、今後、無線 LAN の普及とともに、CDMA を積極的に利用することになるであろう。

一般にスペクトル拡散方式は数 Mbps 以上の高速伝送になると伝送路の周波数帯域を数 10 MHz から数 100 MHz 以上へ広げることになるので機器の設計や周波数の割当などで問題が生じるが、こうした場合にも将来はサブミリ波、ミリ波、さらに光の領域での利用が考えられる。

### 3.4.3 人工的マルチパスと Pre-RAKE

スペクトル拡散信号は広い帯域をもつがゆえに、前述のように個々のパスが分離でき、それらは独立に変動することが多いので合成すれば大きなダイバシティー利得を得る。しかし、スペクトル拡散信号の帯域に比べて、マルチパスの遅延広がりが十分でないと、個々のパスの分離が十分にできない。このような場合は一つのパスのみ観測され、しかもその振幅はレーレー分布に従い大きく変動する一様フェージングになる。スペクトル拡散通信では、むしろ複数に分離できるマルチパスがあるほうが好ましいわけで、ここに、人工的マルチパスのアイデアが考案された<sup>9)</sup>。

図-12 がその構造を示している。各アンテナはパスの分離に十分な遅延時間、すなわち拡散符号のチップ長  $T_c$  以上の時間が必要である。アンテナの空間的な間隔は搬送波の  $1/2$  波長くらいは必要である。こうすれば人工的な複数のパスが独立に変動する。このアンテナ群は室内の天井などに設置することが多いであろう。室内ではスペクトル拡散を用いても、十分な遅延広がりを得ないことが多いからである。

一方 Pre-RAKE 方式<sup>10)</sup>は送信側で実際の伝送路とは共役な伝送路を人工的に作り、そこを通し

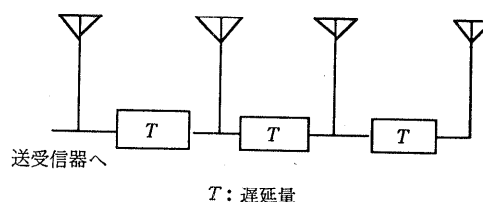


図-12 人工的マルチパス

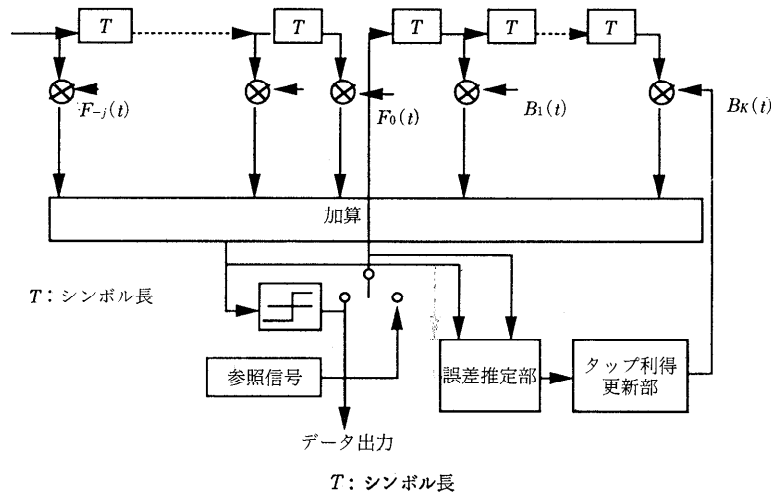


図-13 判定帰還形等化器の構成

た信号をアンテナから輻射する。人工的マルチパスと異なり一本のアンテナで済むが、伝送路は個々のパスが分離できる場合に有効である。このメリットは受信機が RAKE 受信機でなくてよく、きわめて簡易になることであり、携帯機に利用できる。ただし、送信側で伝送路の情報が得られた TDD (Time Division Duplex) による複信 (Duplex) 方式であることが必要である。

3.4.4 等化器

マルチパスはデジタル符号の符号間干渉を引き起こす。これを防ぐのが等化器である。図-13には判定帰還等化器の構成例が示される<sup>11)</sup>。F(t) と B(t) はマルチパスの時間的変動に応じて変化しなければならない。この速さは移動体や反射物の速度と密接な関係をもつ。すなわちドップラー周波数によって決まる。ドップラー周波数 f<sub>a</sub> は f<sub>a</sub> = f<sub>c</sub>(速度/光速)で求まる。搬送波周波数 1GHz、10 km/時の移動体では f<sub>a</sub> = 約 10 Hz となる。今後さらに高い搬送波周波数、たとえば 60 GHz のミリ波利用では f<sub>a</sub> = 600 Hz になる。こうなると、F(t), B(t) の追従特性の劣化が問題になる。

3.4.5 マルチキャリア方式

従来のデジタル変調では、一つの搬送波を利用し、それにデジタル符号を変調した。マルチパスによって、一部の周波数成分が損害を被っても、歪は全体に及ぶ。マルチキャリア方式は複数のキャリアを利用しそれぞれに変調をし伝送する。受信側では搬送波ごとに復調し合成する<sup>12)</sup>。このために、周波数ごとの処理が可能になり、歪

が全体に波及しない。おのおののキャリアは一樣フェージングで変動するとみなすことができる。スペクトル拡散方式にもマルチキャリア方式が利用されることがある<sup>13)</sup>。周波数スペクトルとしては2種類がある。(a)複数の周波数成分が重ならないように配置した方式。(b)重なるがおおのの搬送波周波数の差とデジタル符号の伝送速度の間に一定の関係があると、おのおののスペクトルが直交し、重なりがあるにもかかわらずサンプル点での干渉がなくなる方式。(b)の方式は高い周波数効率をもつが、ある周波数にたとえば CW 干渉波があれば、必ず二つのキャリアに損害がある。

将来は高速伝送、たとえば 100 Mbps の伝送を数 Mbps や数 10 kbps ごとにマルチキャリアに分割し伝送することも考えられる。

3.4.6 フェージング対策の組合せ方

以上のような対策を単数のみ施すだけでなく、複数組み合わせることが考えられる。たとえば、スペースダイバシティとスペクトル拡散の組合せなどである。こうした対策を分類すると、空間の処理を利用するものと、信号処理によるものに分類される。たとえば、スペースダイバシティや指向性ダイバシティが前者であり、スペクトル拡散や等化器が後者である。総合対策改善量を I<sub>T</sub> (dB)、空間処理によるものを I<sub>S</sub> (dB)、信号処理によるものを I<sub>P</sub> (dB) とすると、

$$I_T = I_S + I_P$$

となる。I<sub>S</sub> を大きくすると、空間を広くとり装置

が大きくなる。 $I_p$  を大きくすると、回路が複雑になったり、周波数帯域が広がる。2.4 GHz の ISM バンドでのスペクトル拡散方式では主に  $I_p$  に依存し、広い周波数帯域を利用する。しかし、 $I_s$  はあまり大きくないのが普通である。19 GHz の Altair はこの逆であり、指向性ダイバシティーに依存する。そのために、波長 1.5 cm のサブミリ波でありながら、指向性アンテナのために大きな装置になっている。

システムの個性に応じて二つの改善量を決めることになる。

### 3.4.7 低速無線 LAN と高速無線 LAN の対策法の差

何をもって低速、高速と言うかはここでは説明上一様フェージングを生じるような無線 LAN を低速、選択性フェージングなら高速とする。

低速 LAN では、室内に設置した場合、その場所が悪いと、図-7 のように誤り率が悪化する。これから逃げるにはスペースダイバシティーかスペクトル拡散にして帯域を拡大するかである。一方高速の場合は室内のどの位置にいても振幅の変動は少ないが、符号間干渉を生じ、誤り率が劣化する。指向性ダイバシティーや等化器、さらにパスの分離が可能なスペクトル拡散方式が有効である。

## 4. む す び

無線 LAN の高速化にとって有害な干渉信号とマルチパスフェージングについて述べ、さらに、おのおのに対する対策法にも言及した。無線 LAN 自体が最近になって発達したものであり、まだまだ、高速無線 LAN の分野は未知の問題が多い。しかしながら、有線の LAN は高速化されつつあり、いずれ無線 LAN も高速化されるのは間違いない。従来、需要が少ないために、開発が遅れていた 30 GHz 以上のミリ波帯も高速無線 LAN の需要とともに開発が進むと思われる。

**謝辞** この解説の作成にあたり貴重な資料を提供していただいた日本モトローラ社の氏家慶一氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 前田隆正, 加藤伊智朗: わかりやすい無線 LAN, オーム社 (1993).

- 2) 水野光彦: ミリ波帯構内通信への CDMA の適用性の一検討, 電子情報通信学会春季大会 SB-4-3 (1993).
- 3) 池田, 東原, 塚本, 森永: 反射光を利用した室内伝送通信方式の信号伝送特性に関する検討, 電子情報通信学会技術報告 RCS 93-92 (1994年2月).
- 4) 中川正雄: 産業応用における移動通信, 電気学会論文誌 D, 110 巻 8 号, pp. 859-865 (1990).
- 5) 中川正雄: スペクトル拡散技術—軍用に始まり民間用途へ—セルラ電話から無線 LAN へ—日経エレクトロニクスブックス (データ圧縮とデジタル変調技術) pp. 237-252 (1993年10月).
- 6) 加藤, 有沢, 中川: 非線形キャンセラを用いた大きな干渉に埋もれた希望小信号の検出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 1. J 69-B, No. 10, pp. 1121-1130 (1986).
- 7) Kajiwara, A. and Nakagawa, M.: Spread Spectrum Block Demodulator with High Capacity—Cross-Correlation Canceller—, IEEE Global Telecommunications Conference '91, pp. 851-855 (Dec. 1991).
- 8) 谷川, 吉田, 竹内, 中村: ビル内における高速無線データ伝送特性, 第 12 回情報理論とその応用シンポジウム, p. 187 (1989年12月).
- 9) Viterbi, A. J. and Podovani, R.: Implications of Mobile Cellular CDMA, IEEE Communications Magazine, Vol. 30, No. 12, pp. 38-41.
- 10) Esmailzadeh, R. and Nakagawa, M.: Pre-RAKE Diversity Combination for Direct Sequence Spread Spectrum Communication Systems, IEEE ICC '93, pp. 468-472 (June 1993).
- 11) 三瓶政一: フェージング対策, 電子情報通信学会誌, Vol. 73, No. 8, pp. 829-835 (1990).
- 12) Bingham, J.: Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come, IEEE Commun. Magazine, pp. 5-14 (May 1990).
- 13) Sourour, E. and Nakagawa, M.: Performance of Orthogonal Multi-Carrier CDMA, 電子情報通信学会技術報告 SST 93-81 (1993-12).

(平成 6 年 6 月 13 日受付)



中川 正雄 (正会員)

昭和 44 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和 49 年同大学院博士課程修了(工学博士)。昭和 48 年同大助手。現在、同理工学部教授。

スペクトル拡散通信, 移動体通信, 光通信, 環境音認識の研究に従事。一般の消費者が運用管理するコンシューマ通信を提唱。1989 年度 IEEE Consumer Electronics Society 論文賞受賞 (2nd place)。1992 年から 1994 年まで電子情報通信学会スペクトル拡散研究専門委員長を務め、現在同学会情報理論研究専門委員長、同学会和文論文委員長 (通信グループ) を務める。