

第6章 電波伝搬現象のまとめと 通信方式やアンテナ信号処理による対策法

電波伝搬における諸現象への対策技術

長谷 良裕
Yoshihiro Hase

この章では、前章までに述べてきた伝搬の知識がどのように現実の移動通信機器に生かされているかを見ていきます。電波伝搬の技術をハードウェアへ移転・展開するという最終段階です。

電波伝搬現象のまとめと その対策の概要

今までに述べてきた電波伝搬状態を分類してまとめてみましょう。まず、帯域幅で大まかに狭帯域と広帯域にわかれます。次に、フェージング周期で遅いフェージング(フェージング周期が長い)と早いフェージング(フェージング周期が短い)に分かれます。大きくは、これらの場合の組み合わせで4通りのパターンに分けることができます。そして、それぞれのパターンでビット誤りの原因が異なります。

まとめると表1のようになります。四つのパターン共に振幅変動によるビット誤り発生が共通してありますが、それに加えて、広帯域の場合には波形ひずみによるビット誤りが加わり、フェージング周期が早い場合にはランダムFMによるビット誤りが加わります。それぞれのパターンの境界は必ずしもはっきりしているわけではありません。ビット・レートと遅延プロファイルの相対関係によります。以下にそれぞれのビット誤りの原因をおさらいしておきましょう。

■ 振幅変動

振幅変動は、どんな状態でも共通のもので、単純にCN比で決まるビット誤りです。第5章の図2に示したように変復調器の特性だけで決まるものです。CN比の変動は複数伝搬パスの互いの位相関係によりま

す。極端に単純化したモデルとして、二つの伝搬パスだけを考えると、その振幅が同じで位相差が 0° から 180° まで変わるとき、CN比は平均値に対して+3dBから $-\infty$ dBまで変化します。

この振幅変動に対して、広く一般的に行われる対策は「ダイバーシティ^{diversity}」です。ダイバーシティというのは、分離可能な複数の伝搬パスの中から良いものを選択したり、良い状況になるように合成したりすることです。後の項で詳しく説明します。

深いフェージングでCN比が急激に落ち込むけれどもあまり長く続かない場合には、インターリーブ+誤り訂正符号が有効な手段です。通常の誤り訂正は、CN比の極端に悪い状態がある程度の期間続く、いわゆるバースト誤りには対応できません。しかし、第3章にも書いたように、インターリーブには軽い誤りにして分散させる効果があるので、深いフェージングでも大丈夫です。ただし、そのフェード・デュレーションよりもインターリーブ長が十分長くないと効果がありません。

■ ランダムFM雑音

ランダムFM雑音は、第3章でも述べましたが、一種の雑音としてCN比を悪化させたのと同じような影響を及ぼします。ただし、バースト性のないランダム誤りなので、通常の誤り訂正符号で対応できます。

誤り訂正符号を詳しく解説するのは本特集の趣旨を外れてしまうので詳しくは述べませんが、携帯電話のようにある程度長い時間にわたって連続的に通信するような場合、ブロック符号よりも訂正効果の高い畳み込み符号やターボ符号といった符号が使われることが多いようです。短時間のバースト送信で通信が行われ

〈表1〉ビット・エラー発生原因の分類

	遅いフェージングの場合 (フェージング周期が長い)	早いフェージングの場合 (フェージング周期が短い)
狭帯域の場合 (フラット・フェージングの場合)	振幅変動(CN比変動)	振幅変動(CN比変動) ランダムFM雑音
広帯域の場合 (選択性フェージングの場合)	振幅変動(CN比変動) 波形歪み	振幅変動(CN比変動) ランダムFM雑音 波形歪み

るようなシステムでは、BCH符号のようなブロック符号が使われるのが普通です。

■ 波形ひずみ

何といっても広帯域伝搬特有の波形ひずみが一番厄介な問題です。デジタル移動通信が電波伝搬と一番密接なかかわりを持つところであり、高速・広帯域デジタル移動通信の技術開発は、まさにこの波形ひずみへの対策技術そのものといっても過言ではないかもしれません。

波形ひずみへの対策技術としては、単品(単機能)ものとしては、適応等化器があります。また、変復調やチャネル・アクセスを含む総合的な通信方式として対応しているCDMAとOFDM、主としてアンテナ周りでの信号処理技術であるアダプティブ・アレイやMIMOといったものがあります。

これらは、最先端の無線通信技術そのものなので、本章後半で個別に説明することにしましょう。

一般的な対策法

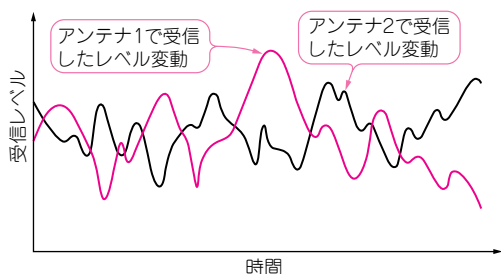
■ ダイバーシティ

● 分離可能な複数の伝搬パスから良いものを選択・合成する

ダイバーシティ技術は、分離可能な複数の伝搬パスの中から良いものを選択したり、良い状況になるように合成したりする方式です。

ここでいう複数の伝搬パスとは、なるべくお互いの相関がないパスを実現できれば何でもよく、必ずしも空間上の別パスということではなくても可能です。例えば、周波数を変えても良いし、偏波でも時間でも可です。したがって「周波数ダイバーシティ」や「偏波ダイバーシティ」や「時間ダイバーシティ」というのもありますし、後述するCDMAのレイク受信やMIMO等も広い意味ではダイバーシティ技術の一つです。

ただ、狭い意味では、複数のアンテナを使って空間的に違う伝搬パスを選択したり合成する方式(「空間ダ



〈図1〉⁽¹⁾二つのアンテナで受信した場合のレベル変動の例

イバーシティ」とか「アンテナ・ダイバーシティ」という)をダイバーシティというような暗黙の共通理解があります。

ここでも、主として狭い意味のダイバーシティだけを取り上げ、CDMAやMIMOについては別項で述べます。なお、ダイバーシティ技術を使って受信することを「ダイバーシティ受信」といういい方もします。

● 各種ダイバーシティ技術

さまざまなダイバーシティ技術のうち、周波数ダイバーシティは方法としては非常に有効ですが、貴重な周波数資源を多く使うのと、送信側の二重化で大きなコスト増になるため、ほとんど使われません。

時間ダイバーシティの単純なものは、同じ情報を2度以上送信するという手法で昔から使われてきましたが、効率の点では問題があります。

偏波ダイバーシティは、垂直・水平偏波(または右旋・左旋円偏波)を別のアンテナで受信または送信するもので、携帯電話のようにアンテナの向きが一定でない場合には効果のあるものです。

空間ダイバーシティ(またはアンテナ・ダイバーシティ)は、複数のアンテナで受信または送信するもので、送受両方で適用するとMIMOという最先端技術になります。受信側だけ2本のアンテナで受信するダイバーシティ受信は、最もポピュラで、アナログ時代から携帯電話、カー・ラジオ、カーTVとかでよく使われています。

● 選択合成法、等利得合成法、最大比合成法

2本のアンテナで受信した場合の受信レベル変動の模式図を図1に示します。この例では、2本のアンテナ間には何の相関もありません。第3章でみたように、1波長程度の距離を離すとほとんど相関はなくなります。

受信機内でダイバーシティを具体的に実現する手法として「選択合成法」「等利得合成法」「最大比合成法」という分類があり、その違いを図2に示します。

選択合成法は「切り替えダイバーシティ」とも呼ばれ、アンテナだけを切り替える最も単純な方法です。

等利得合成法は、二つのアンテナから受信信号の位相を合わせて受信レベルを最大になるよう適応的に制御します。

最大比合成法は、位相だけでなく合成する前の振幅も制御することで、重みづけ合成をします。これは、元々受信レベルの高い信号経路はCN比も高く信頼度が高いので、それに応じた重みづけをするとさらに合成信号のCN比が高くなるからです。

● 各合成方式で得られるダイバーシティ利得

ダイバーシティを行うことで等価的に平均のCN比が高くなる分を「ダイバーシティ利得」といいますが、選択合成法、等利得合成法、最大比合成法の順でダイ