

知っておきたいキーワード

スカッターードパイロット

(正会員) 佐藤 明彦[†]

[†] NHK 放送技術研究所 伝送システム研究部

"Scattered Pilot" by Akihiko Sato (Advanced Transmission Systems Research Division, Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo)

キーワード：OFDM, スカッターードパイロット, マルチパス, 伝搬路推定

まえがき

陸上無線伝送では、送信局から受信局へ直接到来する直接波のみでなく、地形や物体に反射されて到来する遅延波（マルチパス波）が存在し、これらが合成されて受信されます（図1）。マルチパス波は、シンボル間干渉や周波数特性の歪みを引き起こすことで、受信品質を劣化させる原因となります。このようなマルチパス環境で安定した無線伝送を行うためには、周波数特性の歪みを補償し、信号を復元する必要があります。本稿は、OFDM伝送において周波数特性の歪み補償に用いら

れるスカッターードパイロットについて解説します。

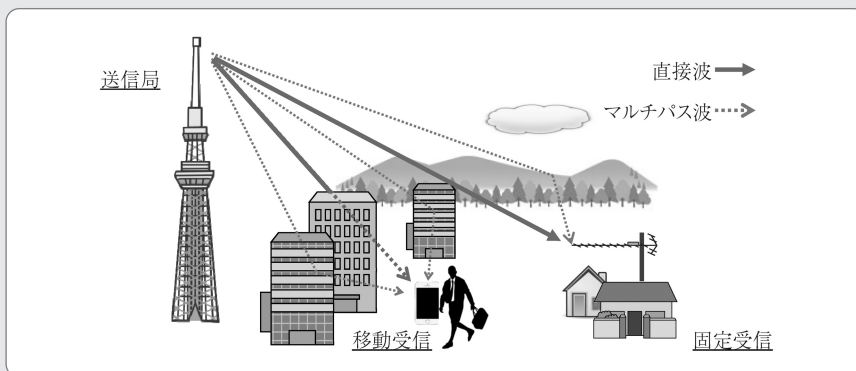


図1 陸上無線における電波伝搬の様子（地上放送の例）

OFDM

直交周波数分割多重（OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing）は、データを多数の搬送波（サブキャリア）に重畳するマルチキャリア変調方式で、高速フーリエ変換（FFT: Fast Fourier Transform）アルゴリズムを用いて変復調を行います。サブキャリアは互いに直交するため、密に配置されても干渉しません。

一回のIFFT（Inverse Fast Fourier Transform）で得ることができるOFDMの時間信号（シンボル）の一部を複製したガードインターバル（GI: Guard Interval）と呼ばれる区間を設けることで、GI長以下の遅延時間で到来するマルチパス波によるシンボル間干渉の影響を低減することができます（図2）。また、サブキャリアの帯域幅が狭く、周波数選択性フェージングに対する耐性もあるため、携帯電話の

通信方式や、地上デジタル放送方式などに採用されています。

OFDMのそれぞれのサブキャリアは位相変調（PSK）や直交振幅変調（QAM）などで変調されます。サブキャリアの振幅と位相を複素座標平面空間上で表現した図を“コンスタレーション”と呼びます。16QAM-OFDM変調であれば16個の信号点で変調の状態が表現され、サブキャリア毎に4ビットの情報を伝送できます。

マルチパス波が到来することで、同じシンボルがずれて合成され、振幅・位相に歪みが生じるとコンスタレーションが回転して元の信号点からずれてしまうため、精度よくデータを復調するためには信号点のずれを補正する必要があります(図3)。

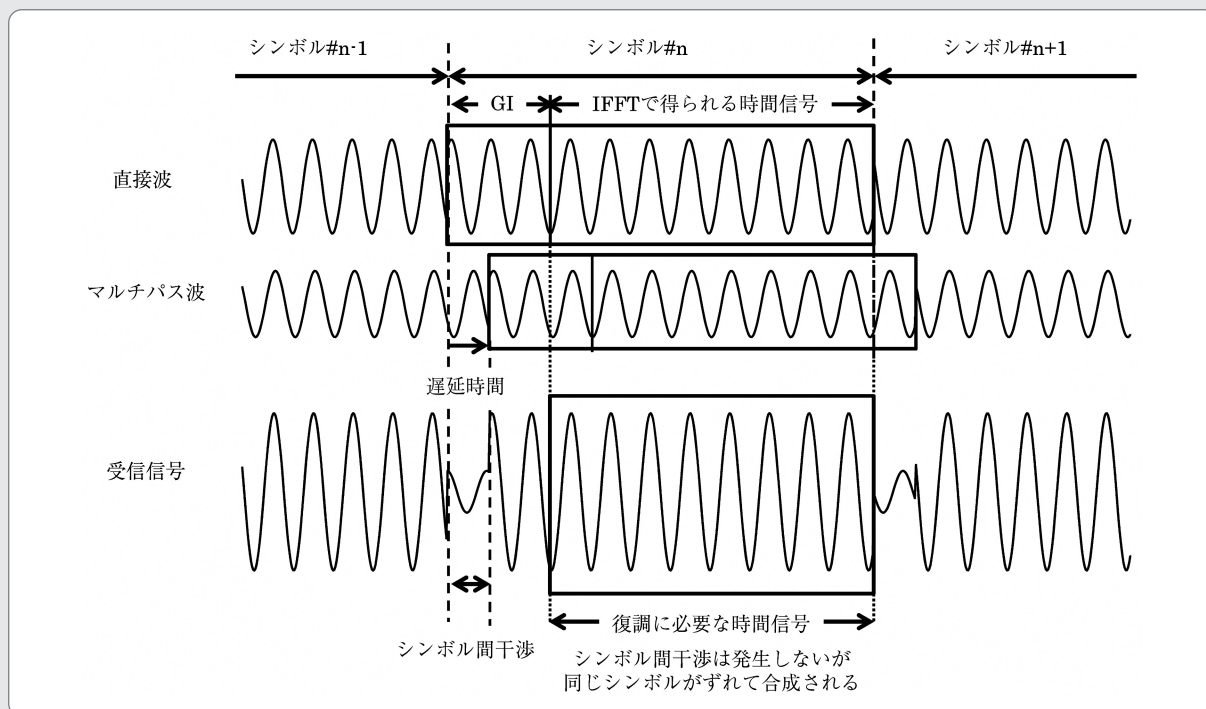


図2 マルチパス波による影響

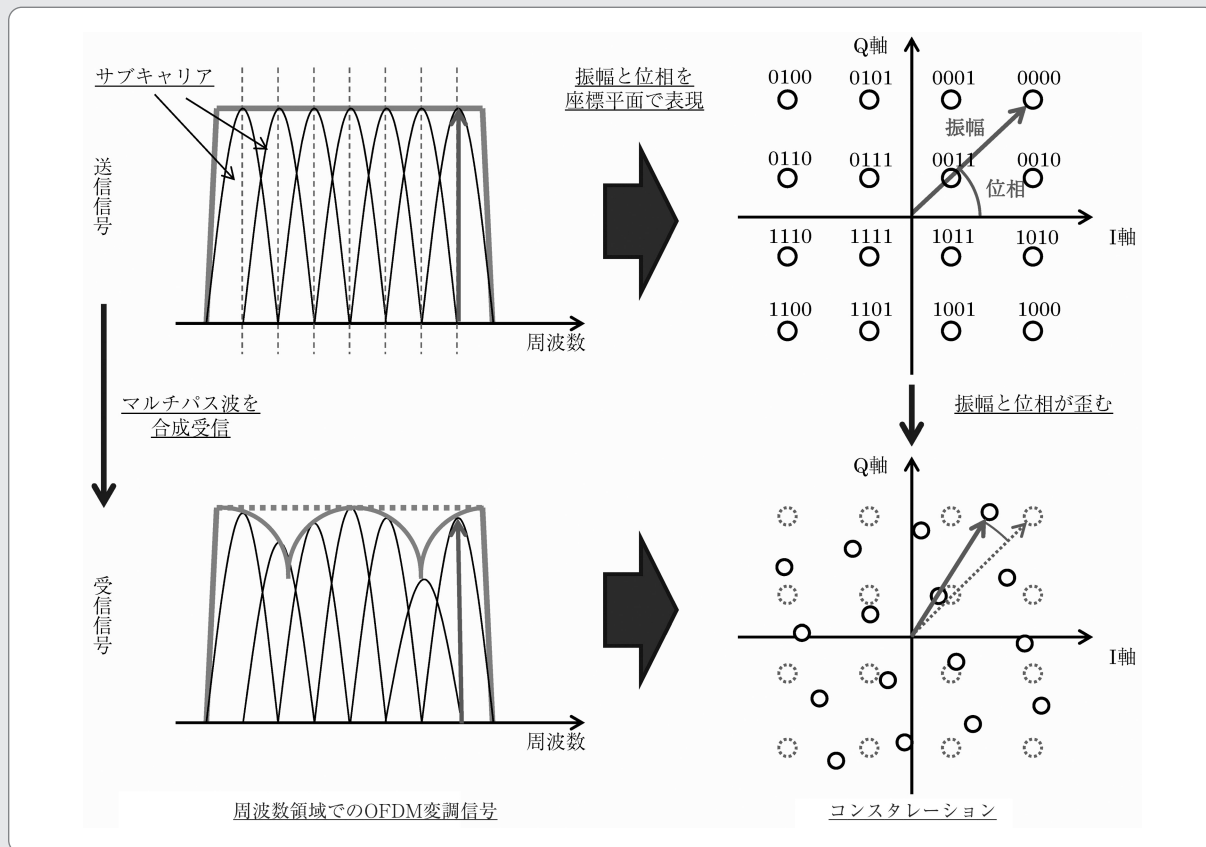


図3 マルチパス波による振幅・位相の歪み

スカッターードパイロット

送信信号が既知であれば、既知信号と受信信号の振幅と位相を比較することで、受信局でマルチパス波の影響による歪みの量を算出することができます。そのため、多くの無線伝送方式では、あらかじめ決められたパターンで変調された”パイロット”をデータと同時に送信しています。受信局は、パイロットの歪みの量からマルチパス波の影響を逆補正することで、信号点を

元の位置に戻すことができます。

パイロットの挿入方法は、一定間隔でパイロットシンボルを挿入する方法と、時間方向に連続的に一定の周波数間隔で挿入する方法などがあります(図4)。前者は、移動受信のように伝搬路が時間で変動する場合には、パイロットを挿入するシンボルの間隔を狭くしないと追従性が低下します。一方、後者は、時間変動に対する追従性は向上しますが、周波数方向の挿入間隔が広がるので、周波数分解能が低下し

ます。そこで、周波数方向の分解能と時間変動に対する追従性の両方を確保する方式として有効なのが、周波数と時間で分散してパイロットを挿入するスカッターードパイロット(SP: Scattered Pilot)です。SPは、サブキャリア単位で変調することができるOFDMとの親和性が高く、地上デジタル放送など多数の無線伝送方式で採用されています。

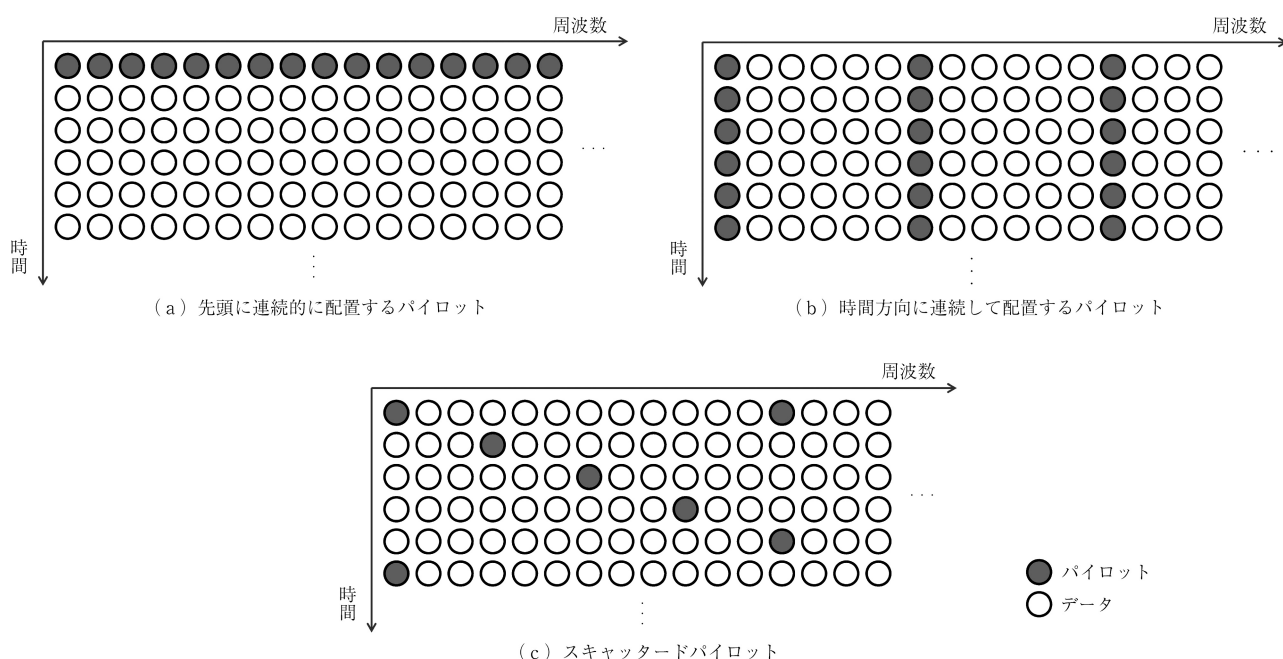


図4 パイロットの挿入方法

SPによる伝搬路推定

パイロットが周波数または時間方向に分散して挿入される場合、データ部分における周波数特性の歪みの量は、パイロットから算出した歪みの量を基に、間を繋ぐ”補間処理”等により推定する必要があります。この一連の処理を”伝搬路推定”と呼びます。

例として、地上デジタル放送におけ

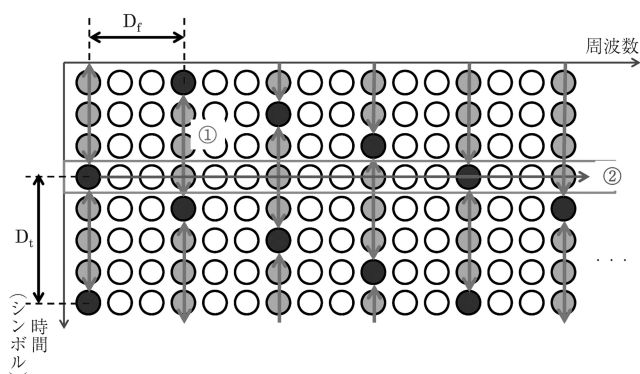
る伝搬路推定法を紹介します(図5)。地上デジタル放送¹⁾は、周波数方向のSP挿入間隔(D_f)が3サブキャリア、時間方向のSP挿入間隔(D_t)が4シンボルとなっています。SPから算出した歪みの量に対して時間方向に線形補間を施すことで、SPが挿入されていないサブキャリアの伝搬路推定をします(図中①)。その後、すべてのシンボルについて、周波数方向に対して

FIRフィルタによる補間を行います(図中②)。このように、時間方向と周波数方向の両方に対して補間を行うことで伝搬路が推定されます。

この手法は一例ですが、周波数と時間の両方向に対して一括した補間を行う2次元DFT補間²⁾や、復調したデータを再変調することでパイロットと同様に既知として扱い、データ部分の伝搬路推定値を更新する³⁾

「判定指向形」の伝搬路推定法³⁾なども提案されています。

伝搬路推定の精度は、周波数方向の挿入間隔 D_f と時間方向の挿入間隔 D_t が小さく、SPが密に挿入されるほど向上しますが、その分だけ送信できるデータが減少するので伝送効率が低下します。無線伝送方式を設計する際には、要求される伝送効率を満足しながら、十分な伝搬路推定精度を得ることができるようSPを配置することが重要になります。(2016年7月27日受付)



■地上デジタル放送における伝搬路推定の過程

- ① SPから算出した歪みの量に対して時間方向に線形補間
⇒ のサブキャリアの歪みの量が推定
- ② FIRフィルタを用いて周波数方向に補間
⇒ 全サブキャリアの歪みの量が推定

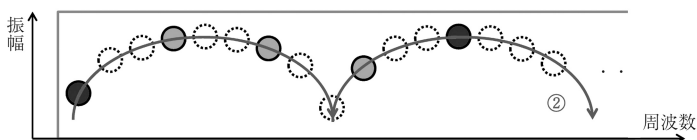


図5 地上デジタル放送における伝搬路推定方法の例

参考文献

- 1) 電波産業会 (ARIB) : “地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式”, STD-B31
- 2) X.Hou, Z. Zhang and H. kayama: "Low-Complexity Enhanced DFT-based Channel Estimation for OFDM Systems with Virtual Subcarriers", IEEE PIMRC'07 (Sep. 2007)
- 3) 伊藤雅文, 須山聡, 府川和彦, 鈴木博: “高速フェージング変動環境におけるスキャッタードパイロットOFDM信号の判定指向形チャネル推定法”, 信学技報, NS, 102, 201, (July 2002)



佐藤 明彦 (さとう あきひこ) 2011年、早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻修士課程修了。同年、NHK入局。名古屋放送局を経て、2014年より、放送技術研究所に勤務。次世代地上放送システムの研究開発に従事。正会員。

キーワード募集中

この企画で解説して欲しいキーワードを会員の皆様から募集します。ホームページ (<http://www.ite.or.jp>) の会員の声より入力可能です。また電子メール (ite@ite.or.jp), FAX (03-3432-4675) 等でも受け付けますので、是非、編集部までお寄せください。(編集委員会)