

## 多様な変調方式に対応した FM 一括変換システムのシミュレーション

著者 青木 悠一郎

指導教員 西 仁司

## 1. はじめに

FM 一括変換方式は様々な方式で変調された信号 (FDM 信号) を 1 つの搬送波を使って、さらに周波数変調 (FM) する方式である。この技術は多チャンネル映像信号の広域配信システムにおいて用いられる。

図 1 に示すように移動通信方式では、基地局 (BTS: Base Transceiver Station) から広域通信機能を有するコアネットワークへの通信であるエントランスネットワークの汎用化と柔軟化が進められている。その中で、携帯端末の使用電波を、形式に関わらず、電波そのままの形で光ファイバーを使って伝送する Radio on Fiber (RoF) 技術が注目されている<sup>[1]</sup>。

ここで、光ファイバー伝送に FM 信号を利用すると、多段に接続された光増幅器によって生じる雑音や、R/O 変換時の非線形性などへの耐久力が向上し、システム設計・構築を容易なものにするなど、多くの利点があると考えられる。

本研究では、RoF システムに焦点を置き、携帯電話基地局からコアネットワークへの通信において考えられる変調方式に対応した FM 一括変換のシミュレーションを作成し、実現への可能性を検証していく。

本文では、まず現在の携帯電話の通信で用いられている OFDM について述べる。その後、OFDM 信号と復調波の波形スペクトルを計算した結果について述べる。

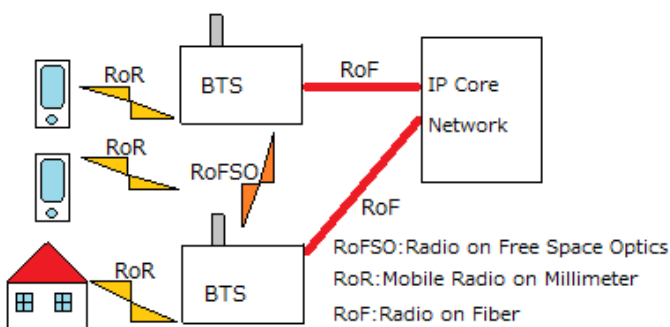


図 1 ハイブリッド無線ネットワークの概要図

## 2 OFDM について

OFDM とは、Orthogonal Frequency Division Multiplexing (直交周波数分割多重) のことで、多数の直交するキャリア信号を多重化するデジタル変調手法である。OFDM はフェージングに強い方式であること

から、放送や移動通信 (LTE)、無線 LAN などに適用されている<sup>[2]</sup>。特徴的な点は、サブキャリアの周波数帯域がお互いに重なっても、混ざらずに受信側で分離できる「直交性」という性質を持つことである。この性質の恩恵として、利用できる周波数帯域の範囲に極限までサブキャリアを詰め込めることが可能であり、その分同時に送れるデータ量が増え、それだけ高速化できる<sup>[3]</sup>。

ベースバンド OFDM 信号の式は、次の式で表すことができる<sup>[3]</sup>。 $A_{cn}$  と  $A_{sn}$  は信号の同相成分と直交成分であり、変調波を  $f_0$ 、サブキャリア数を  $N$  とし計算している。位相差  $\varphi_n$  は図 2 に示すように、QAM (Quadrature Amplitude Modulation) のダイアグラムにて決定している。

$$S_B(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [A_{cn} \cos(2\pi n f_0 t + \varphi_n) - A_{sn} \sin(2\pi n f_0 t + \varphi_n)]$$

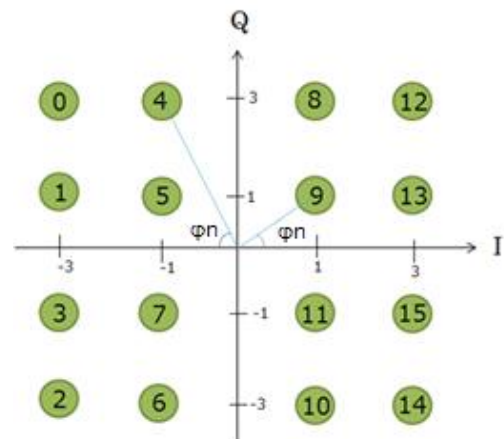


図 2 16QAM のダイアグラム

## 3. 研究結果

## 3.1 シミュレーションの実行

本研究では OFDM 信号を理解するために、昨年の FM 信号を作成するプログラムに OFDM 信号を作成する機能を追加した。

任意のサブキャリア数と変調方式 (QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、16QAM、64QAM、256QAM) で OFDM 信号を作成することができ、その信号の周波数スペクトルを表示できる機能である。その際のパラメータを簡単に変更できるようにしたい。そのために、グラフを手軽に書くことができ、GUI の設計が容易な「Visual C++」を用いている。プログラムの実行画面を図 3、図 4 に示す。

この時の各種設定を表 3-1 に示す。

表 3-1 シミュレーションにおける設定データ

搬送波周波数 [kHz]	30.0
変調波の最低周波数 [Hz]	400
変調波の本数	10
変調波の周波数間隔 [Hz/ch]	400
最大周波数偏移 [Hz]	100
矩形波の幅 [ $\mu$ s]	1
サブキャリア数	16
サブキャリア変調方式	16QAM

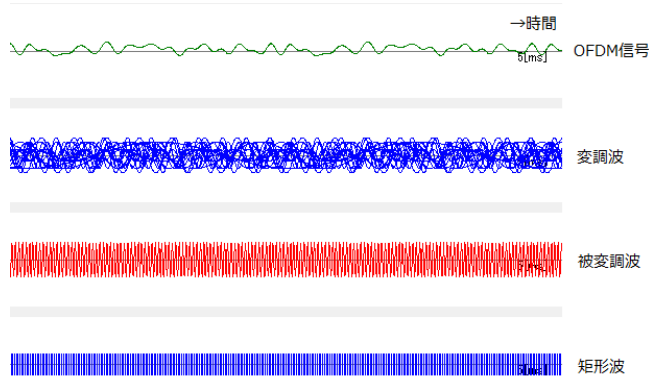


図 3 各波形の表示

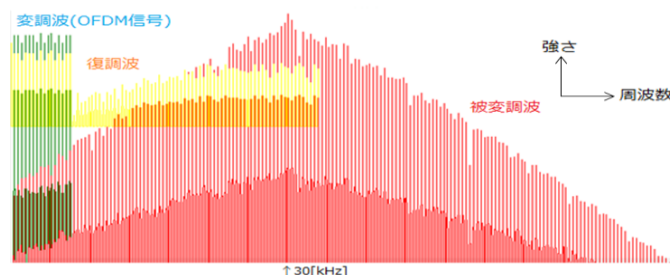


図 4 各波形の周波数スペクトルシミュレーション

### 3.2 送信データと復調データの比較

OFDM 信号を FM 一括変換した場合に元のデジタルデータが復調できるかシミュレーションを行った。そこで送信データと復調データを比較するために、サブキャリアの振幅、位相と復調後の対応する周波数スペクトルのそれらのファイル出力を行った。各種パラメータは表 3-1 と同等の値を使用した。そして、変調方式を 16QAM とした場合の比較の結果、振幅、位相とも送信前と平均約 0.18% の誤差で復調されており、デジタルデータが正確に伝送できることが確認された。それは、QPSK、64QAM、256QAM でも同程度の誤差で伝送できるというシミュレーション結果が得られた。

次に、QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM の各変調方式で最大周波数偏移 1.0[kHz], 2.0[kHz], 3.0[kHz] で復調精度の検証を行った。これらの結果から、

最大周波数偏移の増加によって復調データの位相と振幅は送信データから離れ、精度が低下することがわかった。特に振幅は最大周波数偏移の影響を受けやすいということが分かった。しかし、多少の誤差が発生しても図 5 のようにダイアグラムによる補正が可能である。表 3-2 では図 5 のように、サブキャリア 16 本のうち補正できた本数を示している。

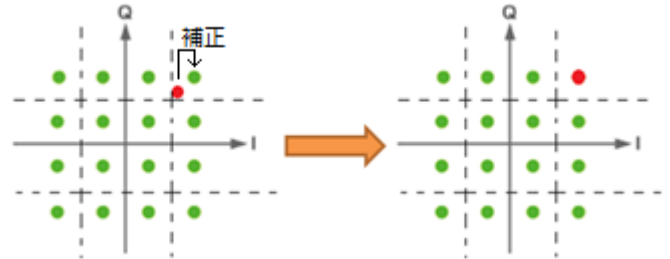


図 5 ダイアグラムによる補正

表 3-2 復調による精度検証

	最大周波数偏移 [kHz]		
	1.0	2.0	3.0
QPSK	16/16	16/16	15/16
16QAM	14/16	13/16	12/16
64QAM	13/16	12/16	10/16
256QAM	11/16	10/16	8/16

最大周波数偏移が大きくなるほど、誤差が大きくなり、変調方式が高度になるほど、その誤差の影響を受けやすくなることが分かる。

## 4. まとめ、今後の課題

多様な変調方式に対応した OFDM 信号を作成し、それを FM 一括変換するシステムのシミュレーションプログラムを作成した。これを用いて、より高度なデジタル変調方式の伝送特性をシミュレーションした。今回は理論的な OFDM 信号の送受信は実装できたが、実際はもっと様々な条件下でノイズが発生することになるので、今後はその部分をシミュレーションで実装しなければならない。

## 参考文献

- [1] 小牧省三 著, ハイブリッド無線アクセスネットワークの検討
- [2] Magna Design Net, Inc.  
<http://www.magnadesignnet.com/>
- [3] 高畑文雄編著, デジタル無線通信入門, 培風館