

最大比合成ダイバーシチを適用した
H8マイコンによる OFDM 無線伝送シミュレータの製作
東北工業大学大学院 工学研究科 通信工学専攻 ○佐々木翔 工藤栄亮

1. まえがき

無線伝送技術を検証するためには、計算機シミュレーションばかりではなく、ハードウェアによる実験が不可欠である。市販されている信号発生器等を用いて汎用的な無線機を実現できるが高価である。我々は H8 マイコンボード[1]を用いて、周波数選択性フェージングシミュレータを搭載した OFDM 無線伝送シミュレータ[2]を製作した。

フェージングにより発生する誤りを軽減する技術の1つとして異なるアンテナで受信した受信信号を受信信号電力対雑音電力比が最大になるように合成する最大比合成ダイバーシチがある。本論文では最大比合成ダイバーシチを適用した OFDM 無線送受信機、周波数選択性フェージングシミュレータ、雑音発生器を一つのマイコンボードに搭載した OFDM 無線伝送シミュレータを製作する。

2. OFDM

図1に OFDM のスペクトラムを示す。高速な信号を直並列変換し複数の直交サブキャリアを使って並列に伝送するので、各サブキャリアで伝送される信号の伝送速度は低速となる。したがって、各サブキャリアで観測されるフェージングは周波数選択性がなくなる。

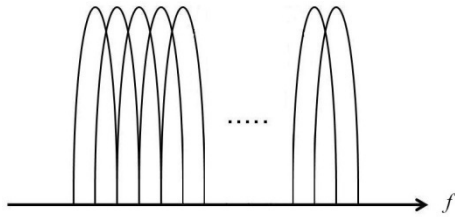


図1 OFDM のスペクトラム

3. 原理

本論文では、無線周波数帯域へ周波数変換することなく、等価低域信号を用いて送信信号を模擬した。図2に本論文で製作した OFDM 無線伝送シミュレータの構成を示す。サブキャリア変調として簡単のため BPSK を仮定する。サブキャリア数を N とし、ガードインターバル(GI)長を gT 、FFT 間隔 T に同期したタイミングでサンプリングすると仮定する。情報シンボル長を $(g+N)T$ とすると、時点 nT における等価低域表現を用いた OFDM 送信信号 s_n は次式で与えられる。

$$s_n = \frac{\sqrt{2S}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} d_k e^{j \frac{2\pi k n}{N}} \quad (1)$$

ここで、 S は送信電力、 d_k は k 番のサブキャリアで送信されるデータ被変調信号である。互いに独立なレイリー分布に従う先行波($l=0$)と遅延波($l=1$)からなる 2 波レイリーフェージングモデルを仮定する。先行波及び遅延波はあらゆる方向から一様に到来する M 個の素波によって構成されると仮定する。2 本のアンテナを移動端末の進行方向と平行に配置する。

i 番目のアンテナの時点 nT における m 番目の素波による複素チャネル利得 $h_{l,i,m,n}$ は次式で表される[3]。

$$h_{l,1,m,n} = \frac{1}{\sqrt{M}} \exp j \left(-2\pi \frac{l_{l,m} - vnT \cos \varphi_{l,m}}{\lambda} + \theta_{l,m} \right) \quad (2)$$

$$h_{l,2,m,n} = \frac{1}{\sqrt{M}} \exp j \left(-2\pi \frac{l_{l,m} - vnT \cos \varphi_{l,m} + d \cos \varphi_{l,m}}{\lambda} + \theta_{l,m} \right) \quad (3)$$

ここで、 v は端末の移動速度、 d はアンテナ間距離、 λ は波長、 $l_{l,m}$ は l 番目のフェージング波のうちの m 番目の素波のアンテナ 1 における伝搬路長、 $\theta_{l,m}$ は l 番目のフェージング波のうちの m 番目の素波の初期位相、 $\varphi_{l,m}$ は l 番目のフェージング波のうちの m 番目の素波と移動端末のなす角度である。

i 番目のアンテナで受信された時点 nT における先行波($l=0$)及び遅延波($l=1$)の複素チャネル利得 $h_{l,i,n}$ は 1OFDM シンボル内ではフェージングが変動しないものと仮定し、添字 n を省いて記述すると次式で与えられる。

$$h_{l,i} = \sum_{m=0}^{M-1} h_{l,i,m,n} \quad (4)$$

時点 nT における i 番目のアンテナにおける雑音成分 N_n を受けた受信信号 $r_{i,n}$ は次式で与えられる。

$$r_{i,n} = h_{0,i} \cdot s_n + h_{1,i} \cdot s_{n-1} + N_{i,n} \quad (5)$$

送信機からのカンニング信号を用い、受信機では理想的な同期検波が行われると仮定する。 i 番目のアンテナの k 番のサブキャリアにおける周波数伝達関数 $H_{i,k}$ は次式で与えられる。

$$H_{i,k} = \sum_{l=0}^{N-1} h_{li} e^{-j \frac{2\pi k l}{N}} \quad (6)$$

送信機からのカンニング信号を用い、受信機では理想的な最大比合成ダイバーシチが行われると仮定する。FFT 後の i 番目のアンテナの k 番のサブキャリアに対応する OFDM 受信信号 $d'_{i,k}$ は次式で与えられる。

$$d'_{i,k} = \frac{H_{i,k}^*}{|H_{i,k}|^2} \sum_{n=0}^{N-1} r_{i,n} e^{-j \frac{2\pi k n}{N}} \quad (7)$$

ここで*は複素共役を示す. FFT後の k 番のサブキャリアに対応するダイバーシチ合成後の受信信号 d'_k は次式で表される.

$$d'_k = d'_{1,k} + d'_{2,k} \quad (8)$$

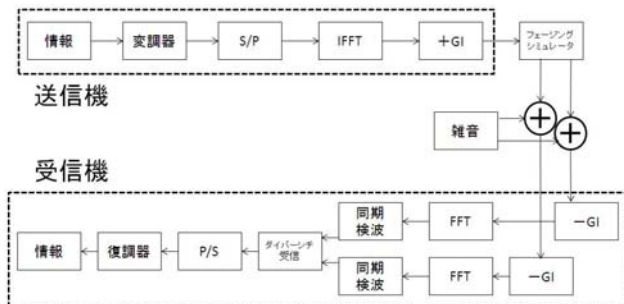


図2 無線伝送シミュレータの構成

4. 装置構成

本論文ではトリニティ社製の H8/3069F マイコンボード[1]を使用した. 表 1 にマイコンボードの諸元, 図 3 に外観を示す. 本マイコンボードに OS として MES(Micro Embedded System)をインストールし, PC 上で C 言語を用いて最大比合成ダイバーシチを適用した OFDM 無線送受信機, フェージングシミュレータ, 雑音発生器のプログラムを作製・コンパイルし, LAN 接続でマイコンボードに転送して実行した.

表 1 H8/3069F マイコンボードの諸元

CPU	ルネサス製 HD 64F3069 Rf25V(20MHz)
メモリ	ROM 512KB フラッシュメモリ RAM 16KB
I/O	入出力 70 本, 出力 9 本
D/A	8bit, 2ch



図3 H8/3069F マイコンボードの概観

5. 特性評価

各サブキャリアの変調方式を簡単のため BPSK とし, 正規化アンテナ間距離(d/λ)は 0.5, $N=8$, $g=2$ とした. 図 4 に誤り率特性を示す[4]. 縦軸はビット誤り率, 横軸は 1 ビットあたりのエネルギー対雑音電力密度比である. 同図より GI の挿入損を考慮した理論値と実験値はほぼ一致しており, 本シミュレータは良好に動作していると推定される.

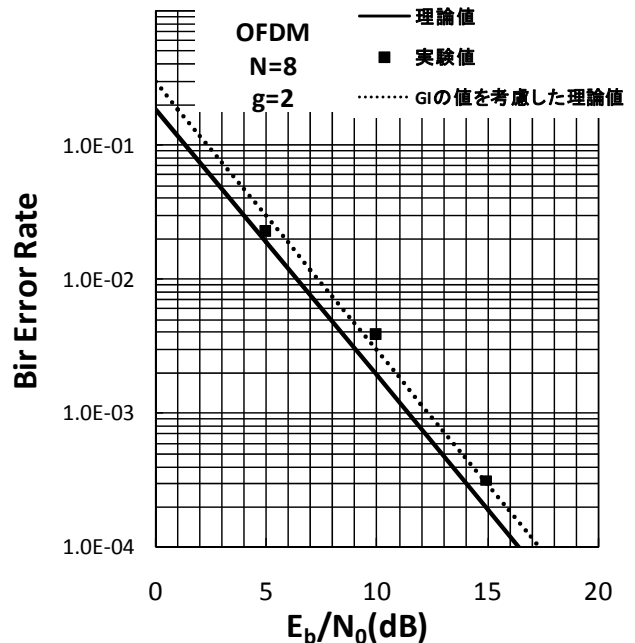


図4 BER 特性

6. むすび

本論文では, H8 マイコンボードを用いて, 最大比合成ダイバーシチを適用した OFDM 無線送受信機, 周波数選択性フェージングシミュレータ, 雑音発生器を搭載した OFDM 無線伝送シミュレータを作製し, GI の挿入損を考慮した理論値とほぼ一致した BER 特性が得られた.

参考文献

[1] http://itrinity.jp/products/poe_board/h83069_spec.html
 [2] 佐々木, 工藤, “H8 マイコンによる OFDM を適用した無線伝送シミュレータの製作”, 東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C14, pp.103-104, 2012年3月.
 [3] 安達文幸, 通信システム工学, (株)朝倉書店, 2007.
 [4] S. スタイン, J.J. ジョーンズ, 現代の通信回線理論—データ通信への応用, 森川出版, 1995年.