

包絡線パルス密度変調型送信機変調部の FPGA 実装

7308114

塚原信成

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学

1.はじめに

携帯電話等の通信機の送信機において、電力消費の半分以上はパワーアンプによるものである。したがって、パワーアンプにおけるエネルギー削減は、電力消費を下げるために必要不可欠である。トランスミッタでの消費電力を減らすため、パルス幅変調やパルス密度変調を用いた高効率トランスミッタを研究してきた。

本報告では、包絡線パルス密度変調型送信機型送信機のハードウェア化の第一歩として包絡線パルス密度変調型送信機の FPGA 実装を行う。FPGA とは、内部論理回路を製造後に定義、変更できる回路である。具体的には数値解析ソフト(Simulink)上で組み立てられているモデルを FPGA に実装可能な形式で書き換えて動作させ、さらに FPGA 実装しその動作を確認する。

2.送信機の構成

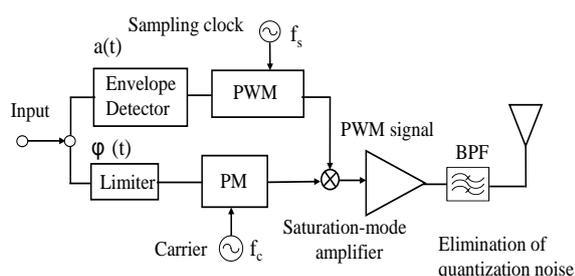


図 1 包絡線パルス密度変調型送信機の構成

この包絡線パルス密度変調型送信機は、同様にベースバンド信号を包絡線検波器とリミッターを用いて、包絡線成分と位相成分に分離する。包絡線成分はパルス幅変調(PWM)またはパルス密度変調(PDM)つまり Δ - Σ 変調を通して、A/D 変換され、一定値となる。位相成分は、位相変調器を通して搬送波信号

の連続的な位相変調を行う。そして、これらの包絡線成分と位相成分は乗算器において合成され、飽和状態で動作するパワーアンプにおいて電力増幅される。最後にパルス幅変調によって発生した量子化雑音は適当な帯域の RF バンドパスフィルタによって除去される。

3.FPGA への実装

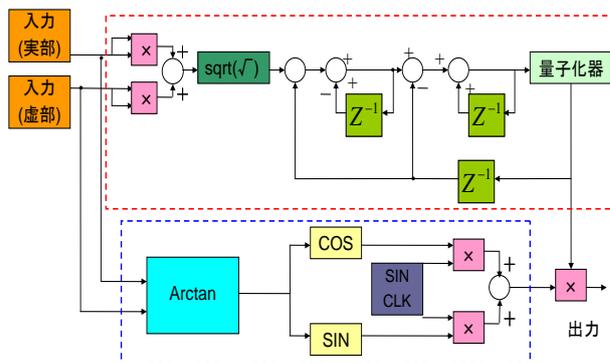


図 2 包絡線パルス密度変調型送信機変調部

図 2 で示した回路を FPGA に実装可能なブロックで作成し、シミュレーションを行ったところ正常に動作することが分かった。そこでハードウェア記述言語でかかれたネットリストファイルに変換し USB ケーブルで FPGA に実装し、実際に FPGA と通信しながらシミュレーションを行おうとした。

この際、変調部を全て同時に変換すると、エラーが発生し正常に変換できなかった。解決策として包絡線成分と位相成分を別々に実装することにより本送信機の FPGA 実装することに成功した。

またこの際、搬送波周波数 1GHZ で行うと、シミュレーションに時間がかかりすぎてしまい、搬送波周波数 50MGHZ で行うと 1GHZ で行うよりは早くシミュレーションを行えたが、復調の際に精度が劣ってしまった。

4. 評価方法

本送信機の評価方法として変調精度(EVM: Error Vector Magnitude)を用いる。変調精度は以下の式で示す。

$$EVM_{RMS} = \left[\frac{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r} - S_{meas,r}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r}|^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

分母には本来復元されるはずの値(真値)を代入し、分子には実際の測定値と真値の差異(誤差ベクトル)を代入しその平均をとったもので、元の信号点と復調した信号点においてどれだけのずれがあるかを表す。図3にその概念図を示す。

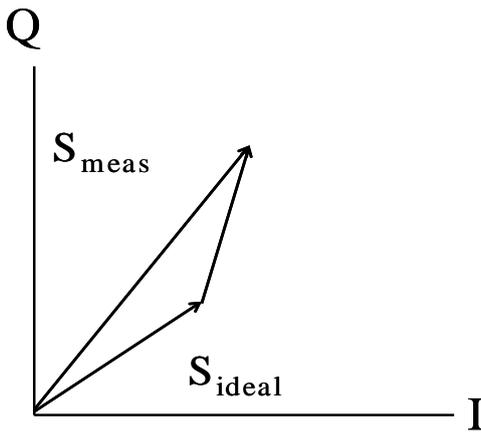


図3.EVM(Error Vector Magnitude)概念図

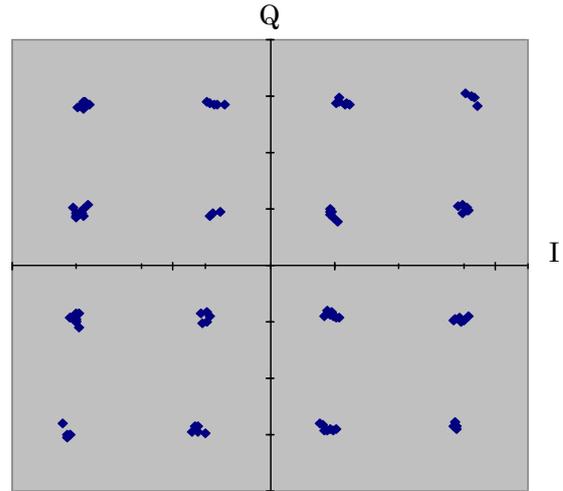
5.結果

FPGAに実装可能なブロックに置き換える前のシミュレーション結果を図4に示す。次にFPGAに実装可能なブロックで置き換えを行った結果を図5に示す。図4.5により実装後の結果の方が0.1dB劣化しているが、良好な伝達特性を得られた。

6.結論

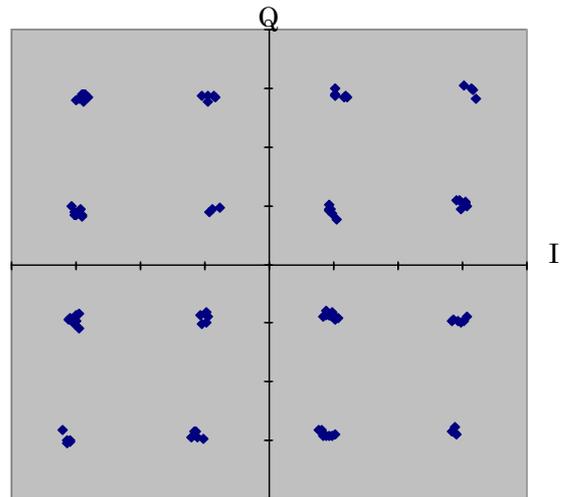
包絡線パルス密度変調型送信機のFPGA実装において包絡線成分と位相成分に分けて実装すると正常に作動し、FPGAは成功した。

今後の課題として、包絡線成分と位相成分を同時に実装すること、測定器を用いた実際の波形の計測などがあげられる。



EVM28.6dB

図4 シミュレーション結果



EVM28.5dB

図5 FPGAに実装後の結果

表1シミュレーション諸元

変調方式	16QAM
シンボルレート	12.5 Msymbol/s
搬送波周波数	1 GHz
△Σ変調器動作クロック	500 MHz
オーバーサンプリングレート	10
FPGA動作クロック	50 GHz
エンコードソフト	ISE System Generator

参考文献

[1] 薬師寺徳之 卒業論文 2012年