

# 並列出力 MASH 方式 $\Delta \Sigma$ 変調器を用いた 可視光通信送信機の高速度化

7311067 佐藤 礼

## 1. はじめに

近年,無線通信のデータ量の増加により周波数帯域の不足が問題となっており,解決策として可視光通信技術が注目される.方式として2次 $\Delta \Sigma$ 変調器,LEDを用いたシステム [1] が提案されているが,送信機のハードウェア化の一要素として, FPGA(Field-

ProgrammableGate Array)を用いる場合,汎用論理ゲートの動作周波数の限界,高次 $\Delta \Sigma$ 変調器の安定性の問題によって,伝送速度が制限される.しかし,高次 $\Delta \Sigma$ 変調器を MASH 方式[2]によって構成することにより量子化雑音を大幅に低減し,動作周波数を一定のまま伝送速度の向上を図れると考えられる.また MASH 方式は高次 $\Delta \Sigma$ 変調器を容易に構成可能である.

本研究では,可視光通信システムに MASH 方式により構成された高次 $\Delta \Sigma$ 変調器を導入し,FPGA 動作周波数の下,シミュレーションによる評価,比較を行う.

## 2. $\Delta \Sigma$ 変調器を用いた可視光通信システム

図1に構成を示し,動作原理について説明する.16QAM 信号生成部より出力された信号を $\Delta \Sigma$ 変調器によりサンプリング周波数 $f_s$ で振幅成分に比例したパルス幅変調信号を生成する.この信号をレーザーダイオードにて出力し,復調部のフォトダイオードへ伝送する.

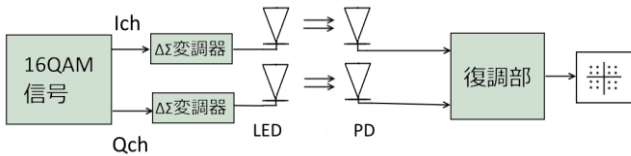


図 1. 可視光通信システムの構成

## 3. $\Delta \Sigma$ 変調器

### 3.1. 1次 $\Delta \Sigma$ 変調器

$\Delta \Sigma$ 変調器の基礎として1次 $\Delta \Sigma$ 変調器を図2に示す. $\Delta \Sigma$ 変調器は,2値量子化,ノイズシェイプ効果を持つ.次数が $n$ である時の入出力関係は以下の式で示される.

$$Y = X + (1 - z^{-1})^n E \quad (1)$$

この時の $(1 - z^{-1})^n$ を雑音伝達関数(NTF: Noise-TransferFunction)という.

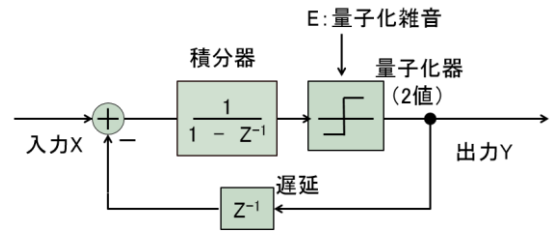


図 2. 1次 $\Delta \Sigma$ 変調器

### 3.2. ノイズシェイプ効果

$\Delta \Sigma$ 変調器のノイズシェイプ効果の概略図を図3に示す.ノイズシェイプ効果は信号に付帯する量子化雑音を高周波帯へシェイプする効果を持つ.これにより,復調部においてローパス特性を持つフィルタを用いて高周波帯の量子化雑音を取り除くことで量子化雑音を大幅に除去できる.また,次数を増加させることでノイズシェイプ効果を高めることができるが3次以上場合安定性の問題より設計が困難である.

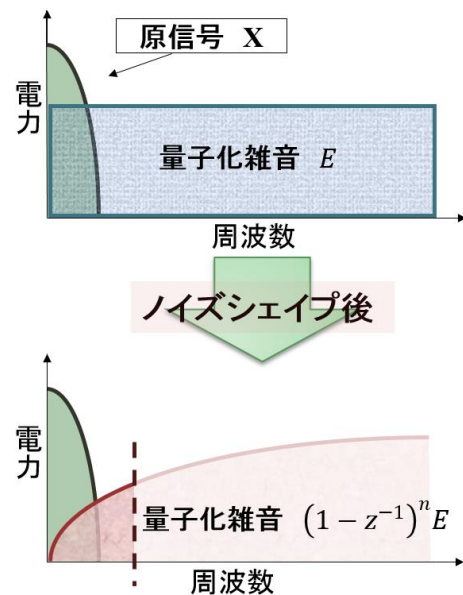


図 3. ノイズシェイプ効果概略

## 4. FPGA 実装時の制限

変調部を FPGA 実装するにあたりサンプリング周波数 $f_s$ が200MHzに制限される.これによりベースバンド周波数 $f_b$ が制限される.これは $f_b$ が増加すると原信号に付帯する量子化雑音が増加するためである.しかし付帯する量子化雑音は $\Delta \Sigma$ 変調器の高次化によりノイズシェイプすることができる.以上の概略を図4に示す.

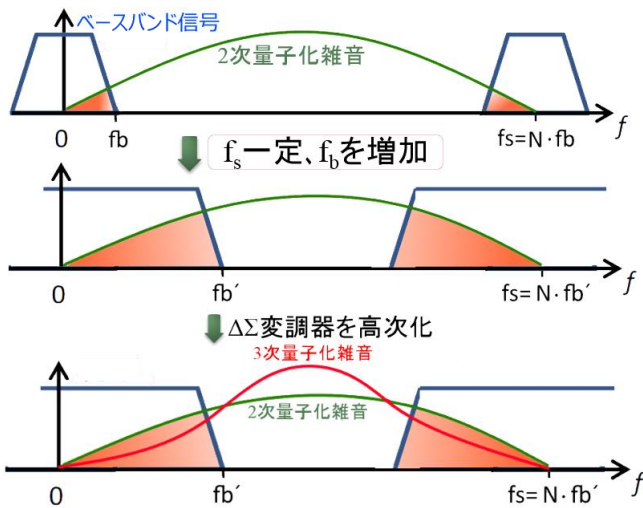


図 4.シェイプ効果による雑音の低減

しかしこの場合,設計の困難である高次  $\Delta \Sigma$  変調器を用いる必要がある。

### 5.MASH 方式

容易に設計できる高次  $\Delta \Sigma$  変調器として MASH(Multi - stAge Noise Shaping)方式  $\Delta \Sigma$  変調器が存在する. MASH 方式は安定である 1 次  $\Delta \Sigma$  変調器を用いて高次  $\Delta \Sigma$  変調器を構成する方式であり,容易に設計が可能である.図 5 の例では 3 次と同等のノイズシェイプ効果を有する。

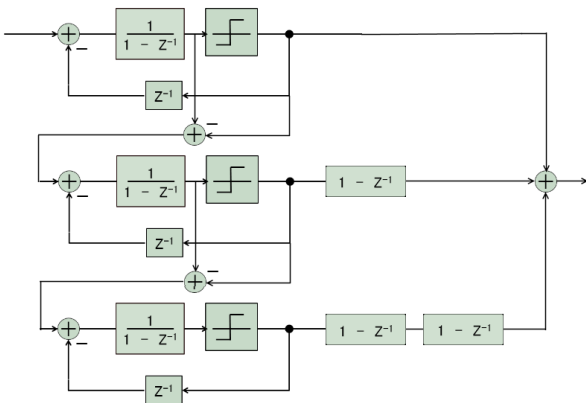


図 5. 1 次 3 段  $\Delta \Sigma$  変調器

### 6.シミュレーション概要

可視光通信システムに MASH 方式を用いた高次  $\Delta \Sigma$  変調器を導入し MATLAB/Simulink にて構成,評価方法として EVM を用いた. 評価方法として, 変調精度 (EVM :Error Vector Magnitude)を用いた. 測定信号と真値の差である誤差ベクトルを真値である送信信号で割ったものである.また,評価基準として IEEE802.11ac 基準[3]より EVM=-32dB を変調精度の基準とする。

ベースバンド信号( $F_b$ )	10M, 20M, 25M, 40MHz
サンプリング周波数( $f_s$ )	200MHz
$\Delta \Sigma$ 変調器次数	2,3,4,5
サンプル数	1000
レーザーダイオード帯域	5GHz

表 1.シミュレーション緒元

### 7.評価結果

シミュレーション結果を表 2 に示す.ベースバンド周波数 10M においては 2 次~5 次全ての次数にて基準を満たした.対して 20M,25M では高次の場合のみ基準を満たし,40M にいたっては今回の緒元においては基準を満たす次数は存在しなかった。

ベースバンド周波数 $f_b$ (Hz)	10M	20M	25M	40M
次数	EVM(dB)			
2	-36.9	-23.2	-21.4	-13.1
3	-51.8	-34.1	-27.8	-16.3
4	-63.2	-42.1	-34.5	-18.9
5	-64.9	-49.4	-40.5	-21.1

表 2.シミュレーション結果

### 8.結論

本研究では MASH 方式により高次  $\Delta \Sigma$  変調器を構成し可視光通信システムに導入,FPGA 動作周波数制限下におけるベースバンド信号の高速化を行った.ベースバンド信号 20M,25MHz において IEEE802.11ac 基準を満たしているため,2 次で基準を満たす 10MHz に対し高速化がなされているといえる。

### 参考文献

- [1] Z. Yu, A. J. Redfern, and G. T. Zhou, "Using delta sigma modulators in visible light OFDM systems," in Proc. 2014 23rd Wireless Opt.Commun. Conf. (WOCC), May 2014, pp. 1-5.
- [2] J.C.Candy and A.Huynh,"Double integration for digital to analog conversion,"IEEE Transactions on Communications,vol.34,no.1,pp.77-81,Jan.1986.
- [3] NATIONAL INSTRUMENTS, "無線 LAN 計測入門 802.11a から 802.11ac へ", pp. 29-32