

# OOK と PSK が共存した光アクセスにおける周波数再生の精度

2020SC034 川出 啓介

指導教員：奥村 康行

## 1 はじめに

ネットワークトラフィックに対応するために光アクセスネットワークには、大容量化やさらなる高速化が求められている。それらを実現するために、PSK(Phase Shift Keying)などの次世代通信方式への移行が予測されている。現在の通信方式から次世代通信方式への移行の際、複数の通信方式が共存する。その共存下で発生する課題について検討する。

## 2 共存化の手法と課題

現在の光アクセスネットワークでは、OLT(Optical Line Terminal)と ONU(Optical Network Unit)の間をOOK(On-Off Keying)での通信方式が利用されている。今後予測されている次世代通信方式への移行に伴い、現在利用されている ONU 端末自体の更新を行う必要がある。そこで、現通信方式と次世代通信方式を共存させることで既存の ONU 端末を変更することなく次世代通信方式の移行が可能である。現在、共存化を行う様々な手法が研究されている[1]。

本研究では、OLT から ONU に送信する下り方向の通信において、現在広く利用されている OOK と PSK を共存させた場合について考える。ネットワークの標準規格であるイーサネットのフレームを図 1 に示す。

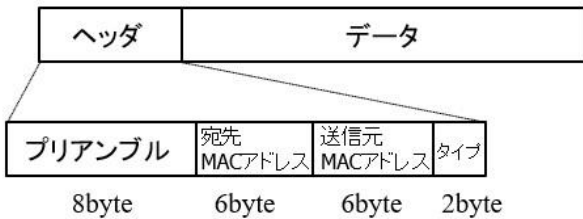


図 1 イーサネットフレーム

現在は通信方式が OOK であるためヘッダとデータが共に OOK で伝送されている。宛先 MAC アドレスにより送信先を決定しているためヘッダを OOK、データを PSK にすることで 2 つの通信方式を共存させることが出来る。現在のイーサネットフレームと共存化したイーサネットフレームを図 2 で示す。

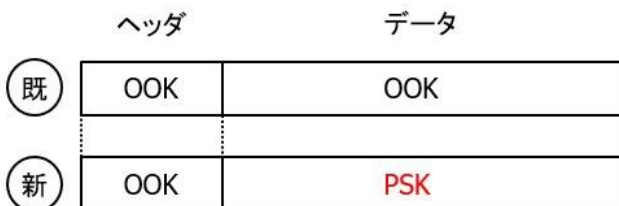


図 2 新旧のイーサネットフレーム

データの部分を OOK から PSK に変更して受信する際クロックタイミングにずれが生じる。それに加え雑音などの要因により周波数と位相にもずれが生じる。そのため同期検波を行う際に搬送波の周波数と位相の再生ができないという課題が発生する。そのため、発生した周波数と位相のずれを推定し、それを訂正する方法を検討する。

## 3 シミュレーション環境

周波数と位相のずれである  $\Delta f$  と  $\Delta \theta$  の推定するためのシミュレーションのシミュレーション構成を図 3 に示し、シミュレーション条件は表 1 に示す。

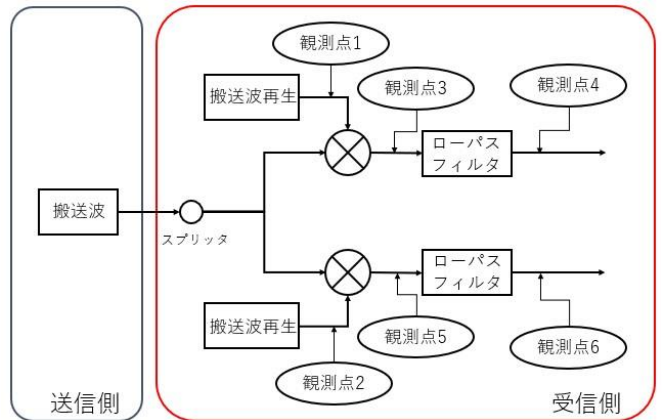


図 3 シミュレーション構成

表 3.1 シミュレーション条件

項目	条件
ユーザー速度	1[Gbps]
搬送波周波数( $f_0$ )	1[GHz]
搬送波再生周波数	1.1[GHz]
シンボルレート	0.5[GSymbol/s]
ローパスフィルタ特性	ベッセル
$\Delta f$	0.05[GHz]/0.1[GHz]/0.15[GHz]
$\Delta \theta$	0.534[rad]/1.047[rad]
ロールオフファクター	0.5

ローパスフィルタにかけると  $y_I(t) = \frac{1}{2} \cos(2\pi\Delta f t + \Delta \theta)$ ,  $y_Q = \frac{1}{2} \sin(2\pi\Delta f t + \Delta \theta)$  が算出される[2]。

$$\Delta f = \frac{d}{dt} \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_Q(t)}{y_I(t)} \right) \right) \cdot \frac{1}{2\pi} \quad (1)$$

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \left( \frac{y_Q \left( \frac{n}{\Delta f} \right)}{y_I \left( \frac{n}{\Delta f} \right)} \right) \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

式(1), 式(2)を用い,  $\Delta f$  と  $\Delta\theta$  の推定を行う。

#### 4 シミュレーション結果

搬送波周波数  $f_0 = 1[\text{GHz}]$ , 搬送波再生の際に発生する周波数と位相のずれを  $\Delta f = 50[\text{Hz}]$  と  $\Delta\theta = 1.047[\text{rad}]$  での波形の確認を行った。レイズドコサインフィルタの前後での波形を図4に示す。

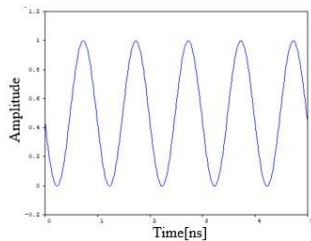
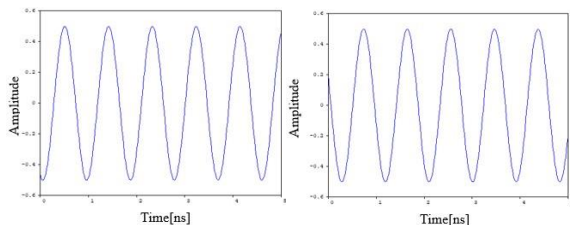


図4 レイズドコサインフィルタ前後の波形

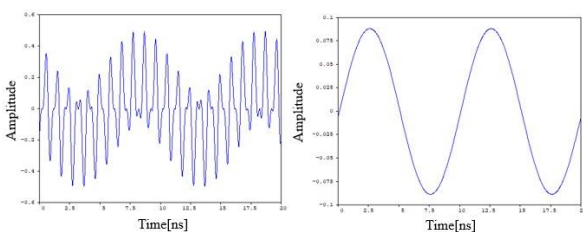
再生する搬送波である観測点 1, 2 を図5に, 観測点 3, 4, 5, 6 でローパスフィルタにかける前と後での波形を確認したものを図6, 図7で示す。



(a)観測点 1

(b)観測点 2

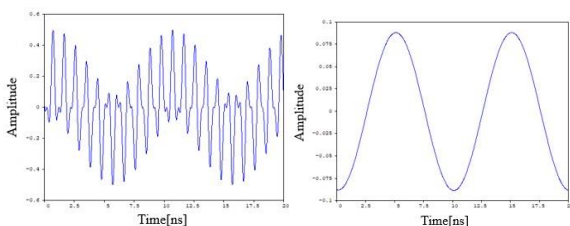
図5 再生搬送波



(a)観測点 3

(b)観測点 5

図6 観測点によるLPF 前後の波形



(a)観測点 4

(b)観測点 6

図7 観測点によるLPF 前後の波形

図4, 図5, 図6, 図7から, 送信側から受信側にデータが送信できたことが確認できた。しかし, 図6, 図7からローパスフィルタにかけた際に位相のずれが確認された。周波数と位相のずれを変化させ, LPFによる位相のずれを考慮し, 推定を行った結果を表2に示す。

表2 推定結果

条件		推定結果	
$\Delta f$	$\Delta\theta$	$\Delta f$	$\Delta\theta$
0.05[GHz]	0.524[rad]	0.05002[GHz]	0.5246[rad]
0.1[GHz]	0.524[rad]	0.09984[GHz]	0.5493[rad]
0.15[GHz]	0.524[rad]	0.15005[GHz]	0.5320[rad]
0.5[GHz]	1.047[rad]	0.05002[GHz]	1.0620[rad]
0.1[GHz]	1.047[rad]	0.10004[GHz]	1.0491[rad]
0.15[GHz]	1.047[rad]	0.15032[GHz]	1.0523[rad]

周波数に関しては, 設定した値と推定した値の差が最大でも 0.32[MHz] という結果が得られた。位相ではフィルタによって発生する位相のずれもあるため誤差は約 0.01[rad]程度で推定された。この結果から電気だけの伝送の場合では推定することが可能であることが分かった。

#### 5 おわりに

本研究では, OOK と PSK を共存させることで発生する搬送波再生の際の周波数と位相のずれの推定をした。搬送波周波数  $f_0 = 1[\text{GHz}]$  で, 周波数を 0.05[GHz], 0.1[GHz], 0.15[GHz], 位相を 0.524[rad], 1.047[rad] ずらしそれぞれ搬送波再生のシミュレーションを行った。結果としては, 周波数のずれは最大でも 0.32[MHz] の誤差での推定をすることが出来た。位相でも最大誤差は約 0.0253[rad] で推定された。

今回は cos の波で推定を行ったが今後は図4を OOK 変調を行い推定を行う必要がある。それに加え, これは電気だけの場合である。光アクセスネットワークでの使用を目的としているため, ファイバーを通すことによる位相のずれなど光通信の場合のシミュレーションを行う必要がある。

#### 参考文献

- [1] 久野祐貴, “OOK と PSK が共存する光アクセス下り通信への TCM とクリップ送信方式の適用と評価”, “南山大学大学院理工学研究科 2021 年度修士論文”, Dec. 2022.
- [2] 神谷幸宏, “MATLAB によるデジタル無線通信技術,” コロナ社, 東京, 2009.