

# 誤り訂正符号による OCDMA 伝送特性の改善効果

2008MI154 内藤 和貴  
指導教員

2008MI165 中嶋 悠太  
奥村 康行

## 1 はじめに

### 1.1 背景

近年通信容量の増大により、通信容量の増大化、通信速度の高速化が求められてきている。そこで伝送路に光ファイバーを用いた通信サービスである FTTH(Fiber To The Home) の普及が期待されている。FTTH とは、名前の通り基地局と家庭を光ファイバでつないだアクセスサービスであり、ADSL に次ぐ次世代のアクセスサービスとして期待されている [1]。FTTH の構成を図 1 に示す。基地局と FTTH 加入者の間にスプリッタを用いた構成となっている。この図の接続形態は PDS (Passive Double Star) と呼ばれている。局側から加入者側の間に伸びる光ファイバーの途中で光スプリッタを用いて光信号の分岐を行うことにより、1 つの局側装置 (OLT : Optical Line Terminal) を複数の加入者側装置 (ONU : Optical Network Unit) が共有することが可能となる。

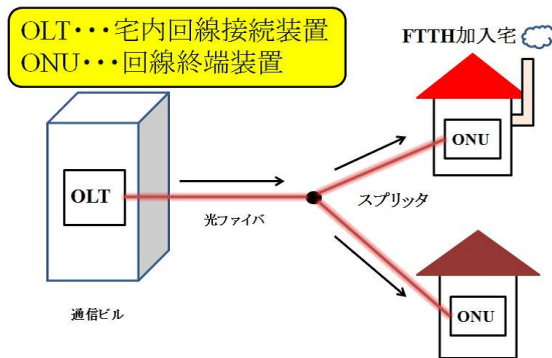


図 1 FTTH の構成略図

これらは各ユーザに直結するアクセス系のネットワークにおいて、ユーザ数の増加に耐えうる光アクセスネットワークインフラの広帯域化が必要であることを意味する。

このような要求に対し、光アクセスネットワークの大容量、高速化を行う多重アクセス方式として光符号分割多重アクセス (Optical Code Division Multiple Access: OCDMA) 技術が注目されている。

OCDMA が注目されている理由として、通信容量が大きくとれる以外に、非同期生、低遅延アクセス、高拡張性、秘匿性が高いなどの特徴がある。

### 1.2 課題

OCDMA 方式では、光変調技術が欠かせないものとなっている。しかし、光変調の際、光変調器の持つ非線形

特性により生成された波形に歪みが生じてしまい、受信機で受信される信号が誤ってしまうという課題がある。

そこで本研究では、先行研究で提案された OCDMA [2] に誤り訂正符号を組み込み、課題となっている光変調の際に生じる伝送路歪みによる伝送特性の劣化をいかに低減するかをシミュレーションで検証し、考察および改善を行う。

## 2 OCDMA とは

OCDMA とは光符号分割多重通信と呼ばれる光通信技術であり、送信機に符号化、受信機に復号化という機能を追加し符号の相関性を用いることにより、複数ユーザ/サービス間での同一波長帯の同時使用を可能にする方式である。

### 2.1 OCDMA の構成

図 2 に本研究において使用する OCDMA の構成を示す。1 つの送信機がパワースプリッタを介して複数の受信機と接続された形である point-to-multipoint 型の接続形態を採用する [3]。

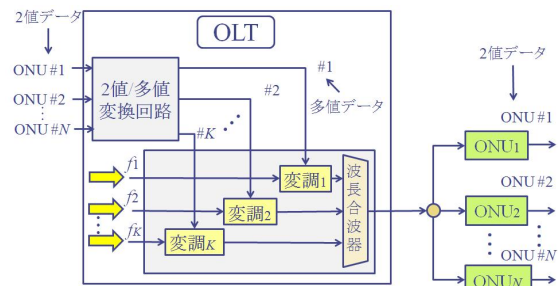


図 2 OCDMA の構成

送信機は、2 値/多値変換回路、複数の MOD (光多値変調器)、波長合波器から構成される。

### 2.2 2 値/多値変換回路

図 3 に 2 値/多値変換回路の構成を示す。2 値/多値変換回路は、収容ユーザ/サービス数  $N$  個の符号器と符号長  $K$  個の加算器を備え、2 値データ  $\#1 \sim \#N$  から多値データ  $\#1 \sim \#K$  を生成する。

符号器には、 $K$  個の出力端があり、割り当てられた直交符号の要素を各出力端に順に対応させる。その際、符号要素 "1" に対応する出力端のみが、入力 2 値データと同シンボル値である信号を出力する空間符号拡散を行う。加算器は、各空間符号器の同一番目の出力端からの信号を加算し、式 (1) で表される多値データを生成する。

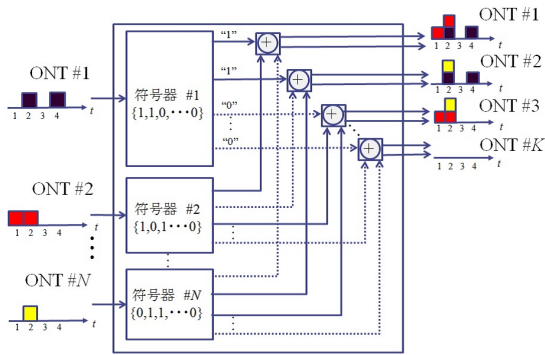


図3 2値/多値変換回路

$d_n(t)$ ,  $D_k(t)$  はそれぞれ 2 値データ  $\#n$ , 多値データ  $\#k$  のシンボル値,  $c_{n,k}$  は  $n$  番目の空間符号器に割り当てられた直交符号の  $k$  番目の要素である.

$$D_k(t) = \sum_{n=1}^N d_n(t) \cdot c_{n,k} \quad (k=1,2,\dots,K) \quad (1)$$

### 2.3 受信機の構成

図4に受信機の構成を示す. 受信機は, 波長分波器, 複数の多値受信器, 電気復号器により構成される.

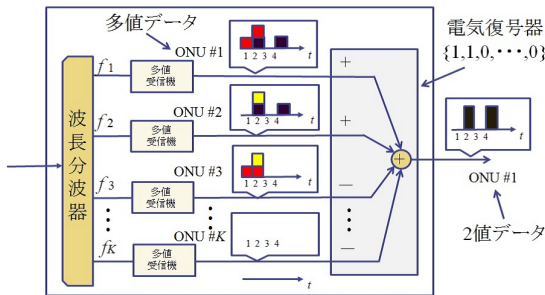


図4 受信機の構成

多値受信機は, OCDM 信号の各光周波数成分を検波し, 多値データ  $\#1 \sim \#K$  を復調する. 電気復号器は, 割り当てられた直交符号の要素を各入力端に順に対応させた際に, 符号要素"1"に対応する入力端からの多値データを+, 符号要素"0"に対応する入力端からの多値データを-として加える加減算を行い, 符号の直交性を用いて, 元の2値データを取り出す.

### 2.4 OCDMA の課題点

図1において, MOD (光多値変調器) は 2 値/多値変換回路で変調された多値データ (電気信号) に変調波  $f$  を加え, 光信号に変調する.

その際, 前述の通り, 光ファイバの持つ非線形特性により, 生成された光波形に歪みが生じてしまう.

これが符号誤りとなり, 受信機で元のデータ系列が復調されない. この問題を解決するために, 本研究では光

多値変調器の改善を考えるのではなく, 送信機と受信機に訂正能力の高い誤り訂正技術を導入する方法を提案する.

## 3 誤り訂正符号, 畳み込み符号

誤り訂正符号とは, 受信機で復調された符号系列が雑音の影響により誤りが発生してしまっても, それに対応づけられたデータ系列を正しく特定する技術である [4]. 畳み込み符号とは, 過去の情報が現在の符号化された情報に影響を及ぼすもので, ビタビ復号器と組み合わせることで, 非常に強力な誤り訂正能力を発揮する.

### 3.1 ビタビ復号器の構成と特徴

畳み込み符号の入力ビット, メモリの状態, 符号器出力の関係を表す方法として, トレリス線図がある. 符号間距離が小さいパスは保持され, 他のパスは破棄される. 保持されたパスは生き残りパスと呼ばれる. 図5に生き残りパスの例を示す.

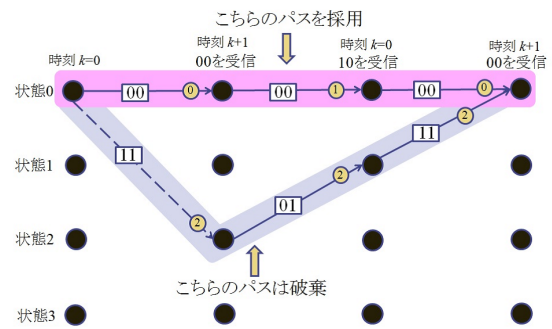


図5 生き残りパス

これを符号系列が最後まで受信されるまで繰り返し, 生き残りパスを最後の状態から過去にたどりながら, 0が入力されたか1が入力されたかを判定し, 復号を行う (トレースバック). このように, 早い時期に生き残る可能性のないパスを破棄することで, 復号処理に要する計算量を低減している.

### 3.2 ビタビ復号器の軟判定

メトリックに符号間距離を採用する方式を硬判定と呼ぶ. これに対し, 受信信号とシンボル間のユークリッド距離をメトリックとして採用する方式を軟判定と呼ぶ.

硬判定では復調器における各パルスの 1, 0 に関する判定結果のみを用いているが, 軟判定では各パルスの 1らしさ, 0らしさ (尤度と呼ぶ) を用いて復号する. 複数のビットがある場合で, なおかつ複数のビットの相関がある程度分かっている場合に, 軟判定の方が誤り率を下げることができる.

本研究で課題となっている OCDMA は, 多値データを扱っているため, 復調に使用する誤り訂正は軟判定ビタビアルゴリズムが適している.

## 4 シミュレーション

### 4.1 シミュレーション方法

本研究では MATLAB を用いて OCDMA 通信のプログラムを作成しシミュレーションを行う。シミュレーション条件を表 1 に示す。今回のシミュレーションは、ユーザ数が 3、つまり ONU の数が 3 の OCDMA 通信を想定して行った。各ユーザに割り当てる直交符号は、符号長 4 のアダマール符号を用いる。MOD 変換の際、非線形特性を表現するために、受信した多値データを図 6 のように変換した。なお、変換に用いた比率は先行研究 [2] を参考にした。付加する雑音は、伝送路上で発生する熱雑音と仮定し、複素数は考慮せず、整数のみの雑音として考えた。

誤り訂正符号には、拘束長 3、符号化率 1/2 の畳み込み符号を使用し、復号方式は軟判定ビタビアルゴリズムを使用した。軟判定なので、メトリックとして符号間のユークリッド距離を採用した。

シミュレーションは、誤り訂正技術における OCDMA 伝送特性の改善効果を比較するために、4 種類の測定を行った。その条件を表 2 に示す。誤り訂正符号や MOD 変換の条件を変え、BER 曲線から検証を行う。

表 1 シミュレーション条件 1

符号長	100000
ユーザ数 (ONU 数)	3
直交符号	アダマール符号
・ユーザ 1	[1 1 0 0]
・ユーザ 2	[1 0 1 0]
・ユーザ 3	[1 0 0 1]
雑音	熱雑音
誤り訂正符号	畳み込み符号 (符号長 3, 符号化率 1/2)
復号方式	軟判定ビタビアルゴリズム

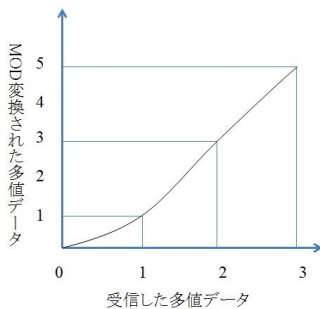


図 6 MOD 変換の非線形特性

表 2 シミュレーション条件 2

	MOD 変換なし	MOD 変換あり
畳み込みなし	BER1	BER3
畳み込みあり	BER2	BER4

### 4.2 線形特性を持つ変換回路での伝送特性の改善効果

畳み込み符号と軟判定ビタビアルゴリズムの誤り訂正能力を確かめるために、以下のシミュレーションを行う。表 1 のシミュレーション条件の下で表 3 に示す 2 種類のビット誤り率を出力し、シミュレーション結果を図 7 に示す。

BER1 と BER2 は、伝送路上で MOD 変換を用いなかった場合、つまり非線形誤りが発生しない伝送路上でのシミュレーションである。BER1 は誤り訂正が組み込まれていないが、BER2 には畳み込み符号及び軟判定ビタビ復号器が組み込まれている。この二つを SN 比の値を 0~40 に変えながらそれぞれのビット誤り率を出力し比較した。BER 曲線がそれぞれ同じマークで複数表示されているのは、ユーザ数が複数と仮定してシミュレーションを行っているためであり、それぞれユーザ 1、ユーザ 2、ユーザ 3 のビット誤り率が計算されている。

図 7 を見ると BER2 の BER=10<sup>-4</sup> における受信感度が BER1 よりも約 6dB 改善していることがわかる。この結果より、畳み込み符号と軟判定ビタビアルゴリズムの組合せによる誤り訂正能力が実証された。

表 3 シミュレーション条件 2.1

	BER1	BER2
SN 比	0 ~ 40	
誤り訂正符号	なし	畳み込み符号
変調	線形	

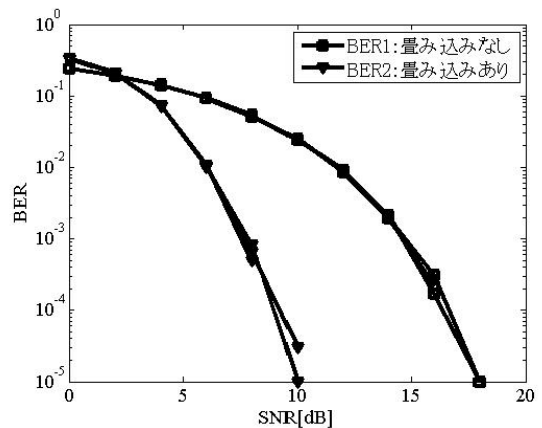


図 7 シミュレーション結果 1

### 4.3 非線形特性を持つ変換回路の伝送特性の改善効果

表 1 のシミュレーション条件の下で表 4 に示す 2 種類のビット誤り率を出力し、シミュレーション結果を図 8 に示す。

図 8 に示す BER3 と BER4 は、表 4 に示すように伝送路上で MOD 変換を行った場合、つまり非線形誤りが発生する伝送路上でのシミュレーションである。BER3 は誤り訂正が組み込まれていないが BER4 には畳み込み符号及び軟判定ビタビ復号器が組み込まれている。この二つを SN 比の値を 0~40 に変えながらそれぞれのビット誤り率を出力し比較した。

BER3 を見てみると BER=10<sup>-4</sup> における受信感度が BER4 よりも約 10dB 改善していることがわかる。この結果より、非線形特性を持つ伝送路上でも畳み込み符号と軟判定ビタビアルゴリズムの組合せによる誤り訂正能力が実証された。

表 4 シミュレーション条件 2.2

	BER3	BER4
SN 比	0 ~ 40	
誤り訂正符号	なし	畳み込み符号
変調	非線形	

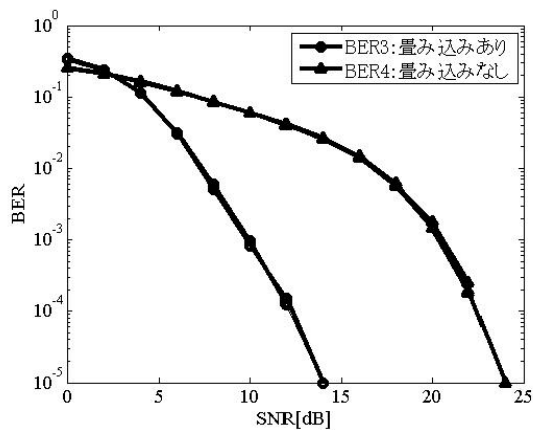


図 8 シミュレーション結果 2

## 5 考察

4 章で行った 4 種類のシミュレーションを統合した結果を図 9 に示す。図 9 を見ると、MOD 変換を行わず、畳み込み符号を使用した BER1 が最もビット誤り率が低く、MOD 変換を行い、誤り訂正を行わなかった BER3 が最もビット誤り率が高かった。なお、BER1~4 の SN 比の比率が等しくなるように、MOD 変換を行った BER1 と BER2 に付加した雑音の雑音電力を 2 倍にしている。また、MOD 変換を行わず誤り訂正も行わなかった BER4 より、MOD 変換を行い畳み込み符号を組み込んだ BER3

の方が BER=10<sup>-3</sup> の受信感度が約 4dB 改善されているのがわかる。この結果より、畳み込み符号と軟判定ビタビ復号を組み合わせは、非線形特性による符号誤りに強いということが確認できたと同時に、OCDMA 伝送特性の改善に適しているということが考えられる。

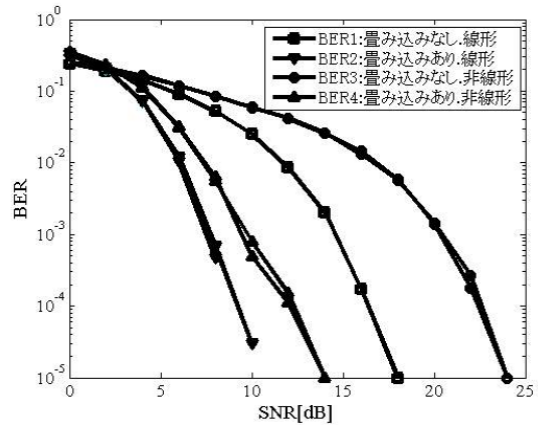


図 9 シミュレーション結果

## 6 まとめと今後の課題

本研究では、OCDMA 通信上での非線形特性による誤り率を畳み込み符号によってどの程度改善できるかを検証した。シミュレーションの結果、畳み込み符号と軟判定ビタビ復号アルゴリズムの組み合わせによる誤り率の改善効果を実証された。今回のシミュレーションでは、処理容量の関係上ユーザ数 (ONU 数) を 3 で行ったため、他ユーザ間の干渉が比較的弱い環境での検証だった。今後の課題としては、ユーザ数を増加してシミュレーションを行い、ユーザ間の干渉が強い環境での伝送特性の改善効果の検証があげられる。

### 参考文献

- [1] A.Stok, and E.H.Sargent, "The roll of optical CDMA in access networks," IEEE Commun. Mag., pp, 83-87, Sep, 2002.
- [2] 金子慎, 三鬼準基, 木村秀明, 葉玉寿弥, "電気段空間符号拡散に基づく周波数領域 O-CDM," 電子情報通信学会, 信学技法, IEICE OCS2010-42, pp.37-40, 2010-8.
- [3] S.Kaneko, H.Suzuki, N.Miki, H.Kimura, and K.Kumozaki, "Beat-noise-free OCDMA technique employing special M-ary ASK based on electrical-domain special code spreading," OFC2009, OTh15, 2009.
- [4] 神谷幸宏, MATLAB によるデジタル無線通信技術, コロナ社, 東京, 2008.