

# 強いユーザ間干渉下における OCDMA 伝送特性の評価

2009SE238 大山 拓馬 2009SE304 渡邊 雄太

指導教員：奥村 康行

## 1 はじめに

現在、通信容量の増大や通信速度の高速化が求められており、そこで伝送路に光ファイバを用いた通信サービスである FTTH(Fiber To The Home) の普及が世界的に進んでいる [1]。FTTH とは、基地局と一般個人宅を光ファイバ伝送路でつないだアクセスサービスであり、ISDN や 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。図 1 に FTTH の構成図を示す。FTTH の構成は基地局と FTTH 加入者の間に光スプリッタ (光受動素子) を接続した構成となっている。FTTH サービスの大部分は、1 個の局側装置 (OLT : Optical Line Terminal) が複数の加入者側装置 (ONU : Optical Network Unit) を收容する構成となっている。通信容量の増大や FTTH の普及に伴い、ユーザ数の増加に対応する光アクセスネットワークインフラの発展が必要となっている。本研究では、ユーザ数 (ONU 数)3 の干渉下でシミュレーションを行った先行研究 [2] のプログラムを応用・拡張し、強いユーザ間干渉下での OCDMA 伝送特性の評価を課題とする。

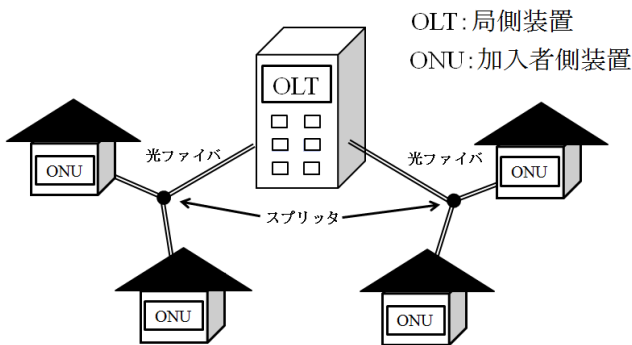


図 1 FTTH の構成図

## 2 OCDMA

OCDMA(Optical Code Division Multiple Access) とは光符号分割多重通信と呼ばれる光アクセスネットワークの大容量化・高速化をする光通信技術であり、送信機に符号化、受信機に復号化を用い、符号の相関性を用いることにより 1 つの伝送路において複数のユーザ/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 OCDMA の構成を示す。送信機は、2 値/多値変換回路、複数の光変調器 (MOD : Modulator)、波長合波器から構成される。送信機ではユーザ 1 ~ ユーザ  $N$  に割り当てられた 2 値データを 2 値/多値変換回路で多値データに変換した。次に、2 値/多値変換回路から周波数 1 ~ 周波数  $K$  の各多値データの振幅を元に  $f_1 \sim f_K$  の任意の波を光多値変調器で変調した。そして、各光変

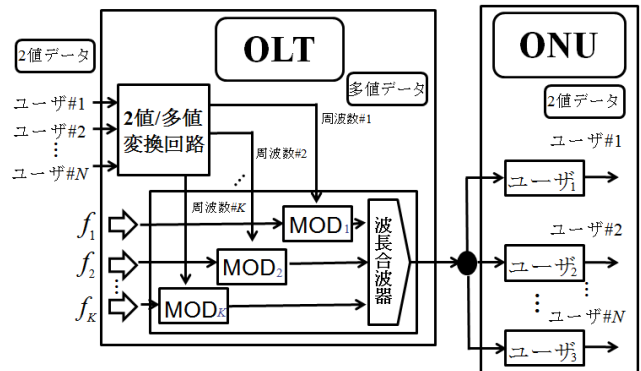


図 2 OCDMA の構成

調器で生成された波を波長合波器で合波して 1 つの波としてパワースプリッタを介して受信機側に送っている。

### 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、收容ユーザ数  $N$  個の符号器と符号長  $K$  個の加算器を備え、2 値データを生成する。符号器には、 $K$  個の出力端を有しており、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)。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、多値データを生成する。

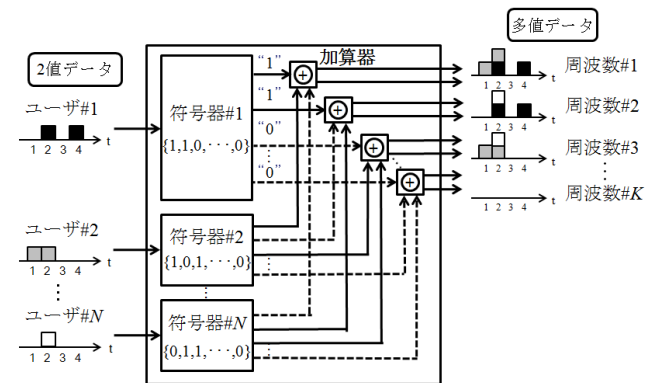


図 3 2 値/多値変換回路

### 2.3 受信機の構成

図 4 に受信機の構成の例として、ユーザ 1 の受信機の構成を示す。多値受信機は、OCDMA 信号の各光周波数成分を検波し、周波数 1 ~ 周波数  $K$  の多値データを復調する。電気復号器では、割り当てられた直交符号の要素を各入力端に順番に対応させた際に、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。

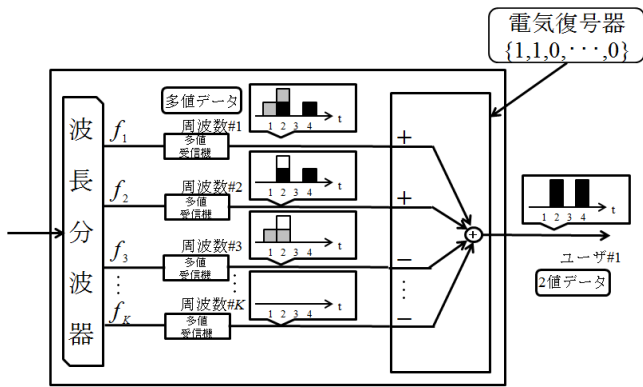


図 4 ユーザ 1 の受信機の構成

### 2.4 OCDMA の課題

OCDMA の課題として、光変調器の非線形特性による符号誤りにより、元のデータ系列が受信機側で復調されないという問題が挙げられる。光変調器の非線形特性を図 5 に示す。図 5 において、連続光波長を光信号波形に変調する際に光信号波形の振幅は多値データの振幅を元にしている。また、図 5 の光信号波形の振幅より多値データの振幅に比例して大きくなっていないことが分かる。これにより、受信機において元のデータ系列が復調されない (符号誤り)。先行研究では送信機と受信機に訂正能力の高い誤り訂正符号を用いる事でユーザ数 3 の干渉下での誤り率を軽減できることを実証した。本研究では、先行研究と同様に誤り訂正符号を用いる事で、ユーザ数 3 と比較しユーザ間干渉が強いユーザ数 8 の干渉下での課題の改善を検証する。

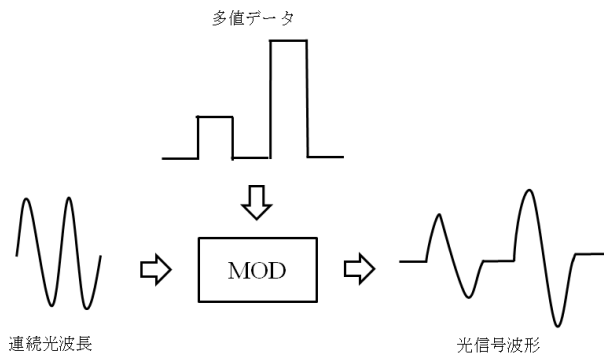


図 5 光変調器の非線形特性

## 3 誤り訂正符号

受信機で復調された符号系列は雑音のために誤りが発生する。受信データに誤りがあっても、もとのデータ系列を正しく特定する技術が誤り訂正符号である [3]。

### 3.1 畳み込み符号の構成

畳み込み符号とは、誤り訂正符号の一種である。畳み込み符号は符号化率と拘束長 (符号器のメモリの数+1) によって表される。畳み込み符号器の構成を図 6 に示す。入力されたデータ系列 0 または 1 が順次入力され、メモリに記録される。各ビットに関連づけられた排他的論理和の計算が行われ、畳み込み符号化されたデータ系列が出力される。入力データ 1 ビットに対して 2 つの出力があるのがわかる。この 2 ビットの出力がパラレル-シリアル変換 (P/S 変換) されて出力となる。

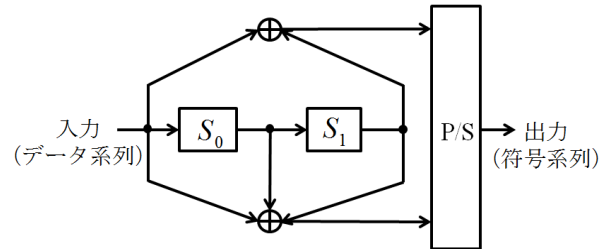


図 6 畳み込み符号器の構成

入力データビット数を出力の符号のビット数で割って分数で表したものを符号化率と呼ぶ。符号化率が高いほど、誤り訂正符号化によるビット数の増大が少ない。これは、データ系列をそのまま伝送したときに掛かる時間と同じ時間で符号を送信しようとした際に必要な帯域幅の増大が少ないことを意味する。よって、符号化率が高いほど効率の高い符号化であるといえる。

### 3.2 ビタビ復号

ビタビ復号とは、受信機側の復号処理に要する計算量を低減する技術である。符号間距離が少ない経路 (パス) を選ぶことで効率良く復号を行うことができる。図 7 にトレリス線図を示す。送信機にある畳み込み符号器と受信機にあるビタビ復号器が、符号器のトレリス・符号器の最初の状態をあらかじめ共有していることを前提にし、符号化器のトレリス線図における各状態に対して入力する二つのパスを比較する。ビタビアルゴリズムはそれぞれのパスのメトリックを比較し、メトリックが低い (符号間距離が小さい) パスを保持し、他のパスは破棄する。この動作を繰り返すことで最終的に残ったパスを辿る事で復号を行う。

### 3.3 ビタビ復号器の硬判定と軟判定

硬判定は、メトリックに符号間距離を採用している。復調器が復調の際に 0 または 1 を判定し、その結果をビタビ復号器に供給する。これに対し軟判定はメトリックにユークリッド距離を採用している。復調器に判定を行わず、ビタビ復号器に誤り訂正符号の復号と判定を同時に行わせる。そのため、軟判定の誤り率を下げる事ができる。従って、本研究では軟判定を使用する。

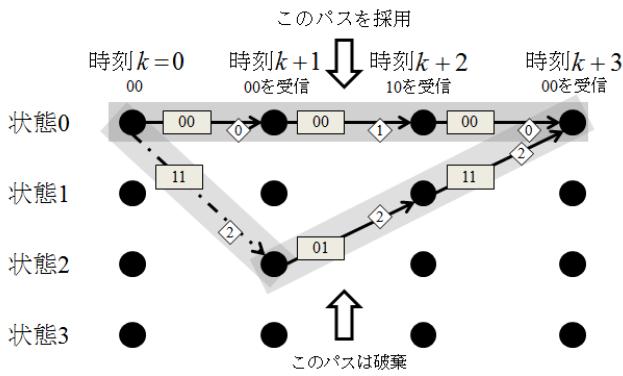


図 7 トレリス線図

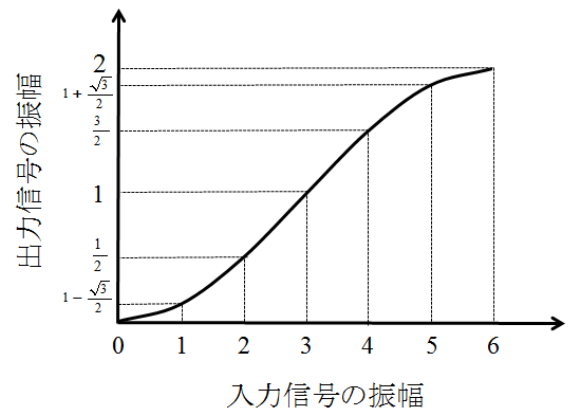


図 8 ユーザ数 8 の非線形特性

表 1 シミュレーション条件

データビット数	100000
ユーザ数 (ONU 数)	8
SN 比	0 ~ 40
直交符号	アダマール符号 (符号長 11)
雑音	熱雑音
誤り訂正符号	畳み込み符号 (拘束長 3, 符号化率 1/2)
復号方式	軟判定ビタビアルゴリズム
線形の最大振幅	6
非線形の最大振幅	2.6

表 2 シミュレーション結果の表記 1

	線形の 光変調器	非線形の 光変調器
畳み込み符号による誤り訂正無	BER1	BER3
畳み込み符号による誤り訂正有	BER2	BER4

シミュレーションを行った。そのシミュレーション結果の表記を表 3 に示す。誤り訂正符号やユーザ数の条件を変え、OCDMA 伝送特性を評価する。

表 3 シミュレーション結果の表記 2

	ユーザ数 3	ユーザ数 8
畳み込み符号による誤り訂正無	BER5	BER6
畳み込み符号による誤り訂正有	BER7	BER8

## 4 シミュレーション

本研究では MATLAB を用いて OCDMA のプログラムを作成しシミュレーションを行う。今回のシミュレーションはユーザ数 8 の干渉下における OCDMA を想定して行った。

### 4.1 シミュレーション方法

シミュレーション条件を表 1 に示す。SN 比の値を 0 ~ 40 に変化させながらそれぞれのビット誤り率を比較した。各ユーザに割り当てる直交符号は、符号長 11 のアダマール符号を使用した [4]。また、付加する雑音は伝送路上で発生する熱雑音を使用した。

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 [5]。想定される最大振幅は、最大になる確率が最も高い振幅を想定し、線形の光変調器では 6、非線形の光変調器では 2.6 とした。

また、非線形特性を表現するために光変調器を用いて、多値データの入力信号の振幅を変換した。その変化比率を図 8 に示す [6]。

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 種類のシミュレーションを行った。その結果の表記を表 2 に示す。誤り訂正符号 (本研究では畳み込み符号) や光変調器の条件を変え、OCDMA 伝送特性を評価する。

さらに、このユーザ数 8 のシミュレーション結果を先行研究のユーザ数 3 と比較するために、4 種類のシミュレ

### 4.2 ユーザ数 8 のシミュレーション結果

ユーザ数 8 のシミュレーション結果を図 9 に示す。図 9 において、線形の光変調器のシミュレーションを行った BER1 と BER2 を比較する。BER2 の BER =  $10^{-3}$  における所要 SN 比が BER1 と比較して約 6dB 改善していることが分かる。次に、非線形の光変調器のシミュレーションを行った BER3 と BER4 を比較する。BER4 の BER =  $10^{-2}$  における所要 SN 比が BER3 と比較して約 10dB 改善していることが分かる。この結果より、ユーザ数 8 における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。

### 4.3 線形の光変調器におけるユーザ数 3 とユーザ数 8 の比較

線形の光変調器を用いたユーザ数 3 とユーザ数 8 のシミュレーション結果の比較を図 10 に示す。図 10 において、誤り訂正符号が組み込まれていない線形の光変調器でのシミュレーションを行った BER5 と BER6 を比較する。BER6 の BER =  $10^{-4}$  における所要 SN 比が BER5 と比較して約 4dB 劣化していることが分かる。次に、誤り訂正符号が組み込まれている線形の光変調器のシミュレーションを行った BER7 と BER8 を比較する。BER8 の BER =  $10^{-3}$  における所要 SN 比が BER7 と比較して約 5dB 劣化していることが分かる。

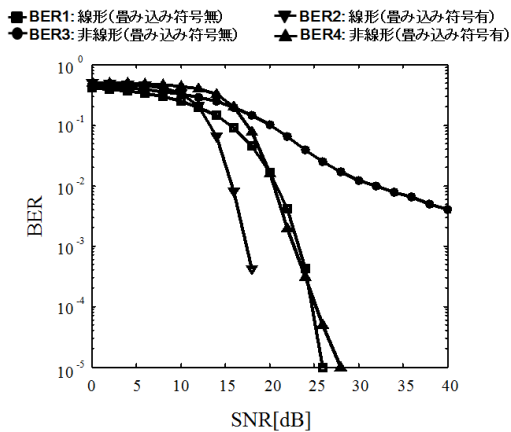


図 9 ユーザ数 8 のシミュレーション結果

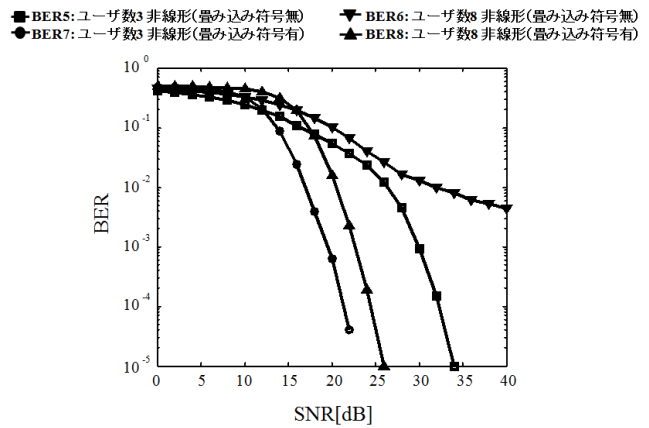


図 11 ユーザ数 3 とユーザ数 8 の比較 (非線形)

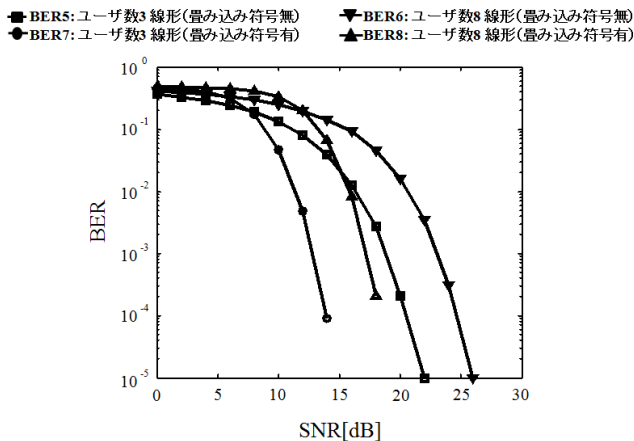


図 10 ユーザ数 3 とユーザ数 8 の比較 (線形)

#### 4.4 非線形的光変調器におけるユーザ数 3 とユーザ数 8 の比較

非線形的光変調器を用いたユーザ数 3 とユーザ数 8 のシミュレーション結果を比較する。シミュレーション結果の比較を図 11 に示す。図 11 において、誤り訂正符号が組み込まれていない非線形的光変調器でのシミュレーションを行った BER5 と BER6 を比較する。BER6 の BER=10<sup>-2</sup> における所要 SN 比が BER5 と比較して約 5dB 劣化していることが分かる。次に、誤り訂正符号が組み込まれている非線形的光変調器のシミュレーションを行った BER7 と BER8 を比較する。BER8 の BER=10<sup>-3</sup> における所要 SN 比が BER7 と比較して約 4dB 劣化していることが分かる。

### 5 考察

ユーザ数 8 のシミュレーション結果より、線形的光変調器の場合、非線形的光変調器の場合ともに、畳み込み符号と軟判定ビタビアルゴリズムを組合せることで所要 SN 比を改善出来ることが実証された。

また、先行研究のユーザ数 3 と本研究のユーザ数 8 のシミュレーション結果の比較より、ユーザ間の干渉が強いほど所要 SN 比は劣化することを確認出来た。

## 6 おわりに

本研究では、ユーザ間干渉が強いユーザ数 8 の干渉を想定した OCDMA において、畳み込み符号と軟判定ビタビアルゴリズムを用いて、所要 SN 比の改善を検証・評価した。シミュレーションの結果、本研究のユーザ数 8 の強いユーザ間干渉を先行研究のユーザ数 3 の弱いユーザ間干渉と比較すると、所要 SN 比は劣化したが、畳み込み符号と軟判定ビタビ復号アルゴリズムを組み合わせた誤り訂正符号を用いることにより、強いユーザ間干渉でも所要 SN 比を改善出来ることが実証された。

### 参考文献

- [1] 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-CDMA,” 信学技報, OCS2010-42, pp.37-40, Aug. 2010.
- [2] 内藤和貴, 中嶋悠太, “誤り訂正符号による OCDMA 伝送特性の改善効果,” 2011 年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文, 2012.
- [3] 神谷幸宏, MATLAB によるデジタル無線通信技術, コロナ社, pp.147-157, 東京, 2008.
- [4] 桐原誉人, 三鬼準基, 金子慎, 木村秀明, 葉玉寿弥, “最大尤度軟判定受信技術を用いた光 CDMA 方式の提案,” 信学技報, OCS2009-40, pp.41-45, Sep. 2009.
- [5] J.G.Proakis, Digital Communications, McGraw-Hills, pp.493-494, 1995.
- [6] Le Nguyen Binh, Digital Optical Communications, CRC Press, pp.21-22, 2008.