

適応フィルタを用いた光 CDMA 方式における ONU 追加アルゴリズムの研究

M2011MM064 下村亮二

指導教員：奥村康行

1 まえがき

近年、インターネットの急激な普及により、通信のトラフィック量の増加が顕著である。また、通信キャリアに高速化や大容量化だけでなく、多様性も要求している。これからのアクセスネットワークでは、従来の技術に勝る信頼性や柔軟性を特徴とするアクセスシステムが要求されている。そのため、既存のシステムが存在する中で、新サービスの追加が要求されることが考えられる。しかし、既存のシステムが大きく帯域を占有しているため、合間の狭帯域を縫って使用せざるをえない。つまり、新サービスの追加には周波数利用効率の高いものが要求されている。

これらの要求を満たすアクセスシステムとして、光 CDMA(Code Division Multiple Access) 方式 [1], [2] が挙げられる。光 CDMA 方式は各ユーザあるいはサービスごとに符号を割り当て、その符号を元に多重・伝送を行う。しかし、この光 CDMA 方式ではビート雑音という特有の信号劣化要因が発生し、多重度が制限されるという課題があった。もし、周波数利用効率を高い状態で、ビート雑音の影響を低減し多重度を上げることが出来れば、新サービス追加に見合うアクセスシステムであると考えられる。

一方、信号受信技術として、これまでも最大尤度判定技術が提案されてきた [3]。信号判定時に、事後確率が最大となる信号を判定値とする技術で、ビット誤り率を低下し受信感度を向上させる。また、ガウス雑音や熱雑音などの雑音信号を緩和させるために、適応フィルタが用いられる。適応フィルタを用いることで、ある所望の信号に応じてフィルタの係数を調整し、雑音信号を適応処理することが可能となる。

本研究では、適応フィルタを用いたビート雑音推定器を用いた光 CDMA 方式において、追加アルゴリズムを提案することで、あるユーザが通信を行っているところへ、別ユーザの通信が追加される場合において、雑音を抑えつつユーザの追加が可能かについて研究を行った。

2 光 CDMA 方式

光 CDMA 方式では既存のシステムを考慮して、新システムに求められる要求条件として、現在主流の GE-PON(Gigabit Ethernet -PON) 方式に、1 ユーザ当たり 1~10Gbps の帯域占有サービスの追加を考える。そうすることで、既存施設の光ファイバ網や光スプリッタを利用することができ、新たに敷設するコストの削減が可能となる。また、新システムに利用可能な帯域は、既存システムが上り用に 1.49 μm 帯、映像用に 1.55 μm 帯、保守用に 1.6 μm 帯を用いており、その合間を縫った非常に狭い帯域部分しか残されていない。そのため、帯域が制限されることから、周波数利用効率を高くする必要がある。

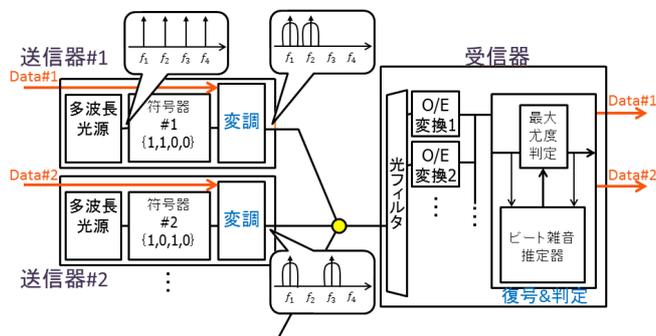


図 1 光 CDMA 方式の構成例

2.1 光 CDMA 方式

本研究の光 CDMA 方式の構成例を図 1 に示す。送信部は多波長光源、各ユーザに割り当てられた符号器、および復調器から構成される。符号器の一例として、符号に基づいて使用する波長のみが透過するフィルタを考えている。また、各ユーザの送信器から送信された光信号は、光カプラで多重化されて受信側へ送られる。

一方、受信器では光フィルタ、O/E 変換装置、各ユーザに割り当てられた符号に基づいた復号器、および判定器で構成される。光フィルタは多波長光源の波長間隔と同等以下の分解能を有することを仮定している。また、復号器では、各波長ごとに分波され、O/E 変換装置において変換された信号を、送信部において割り当てられた符号を基に復号し、判定した後に所望データを得られるようにする。ただし、受信側では各ユーザ信号のビット位相同期は取れているものとする。

本研究では、符号化する際に複数ユーザがある周波数を共有することを考えており、受信側において複数の光信号を同時に O/E 変換することで、ビート雑音が発生する。この雑音はガウス雑音やショット雑音などよりもはるかに大きな影響を与え、光 CDMA 方式における信号劣化要因の一つとなっている。

このビート雑音の影響を低減するために最大尤度軟判定受信技術を用いた推定器が提案されており、本研究でもこの推定器を用いる。

2.2 最大尤度軟判定受信技術 [3]

最大尤度軟判定受信技術とは、受信部において復号と判定を同時に行い、確率論を用いることでビット判定の誤り率をさげることができる技術である。

本技術による光 CDMA 方式は、これまでに提案されてきた方式と比較すると、新たに開発しなければならない高価な光モジュールを必要とせず、その上で従来の方法では

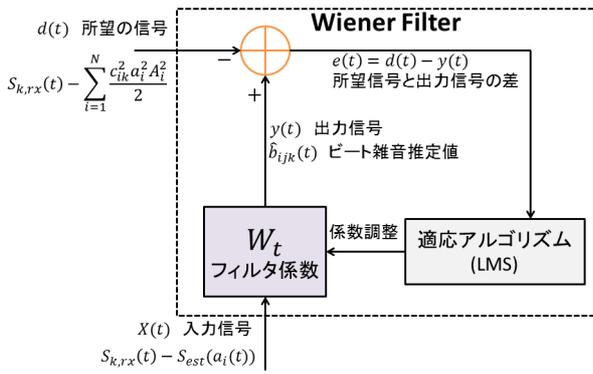


図 3 適応フィルタの構成

表し、正の実パラメータを示している。 t は適応フィルタのタップ長を表している。

$$\mathbf{W}_{t+1} = \mathbf{W}_t + \mu e(t) \mathbf{X}_t \quad (7)$$

μ : ステップサイズパラメータ

$$E[e(t)^2] = E[(d(t) - y(t))^2] \quad (8)$$

式 (6) における所望信号との差 $e(t)$ を小さくするように式 (7) のフィルタ係数 \mathbf{W}_t を決定し、式 (8) 平均自乗誤差 $E[e(t)^2]$ を最も小さくする LMS アルゴリズムを用いてビート雑音の推定を行う。

3.3 従来のビート雑音推定器の課題

光 CDMA 方式における ONU 数の変化に柔軟に対応することができるアクセスシステムとして提案された適応フィルタを用いたビート雑音推定器だが、先行研究では User 数 3 と User 数 8 の各 ONU がすべて同時に通信を行っている状況でシミュレーションを行っている。ところが実際の通信ではある運用中の ONU が通信しているところへ、別の ONU が追加される。そこで本研究で提案する追加アルゴリズムを適応させることで、ONU が追加される状況においても、フィルタを用いたビート雑音推定器が有効であるかを実験した。

4 ONU 追加アルゴリズム

実際の通信では 8 台がいきなり通信を開始するわけではなく、ある ONU が通信している所へ別の ONU が追加される。先行研究では 8 台が同時に通信されたものでしか実験されていないため、本研究では ONU が追加された場合でも、既通信の ONU への影響を抑えられるような追加アルゴリズムの提案をした。以下にそのアルゴリズムを示す。

- ステップ 1 初期状態
既に通信を行っている ONU の電界強度は 1, 未通信の ONU の電界強度は 0 とする。
- ステップ 2 ONU の追加
追加 ONU の電界強度を 0~1 へ徐々に高めることで ONU を追加する。なお、電界強度の増加量は設定で予め決めることができる。ただし、追加中の信号はトレーニング信号を用いる。そのため、最大尤度判定を

必要としない。トレーニング信号を用いる理由は、電界強度が小さいと信号も小さくなり、信号よりも雑音が大きくなるため正しく判定されず、誤って複号されてしまうためである。

- ステップ 3 ONU 追加後

追加 ONU の電界強度が 1 になったら、トレーニング信号から通常の信号に戻し、最大尤度判定を行う。

以上のステップ 1~3 の手順で、所望の信号と出力信号の差 $e(t)$ を抑えつつ ONU の追加を行う。

そして、追加アルゴリズムでは *division* と *continuation* というパラメータを変更することで追加方法を変化させる。*division* は電界強度が 0 から 1 までの分割数を表し、*continuation* は同じ電界強度を継続する回数である。

また、追加アルゴリズムが適応されてから終了までの係数更新回数は、*division* と *continuation* をかけた値 *iteration* で表すことができる。

5 シミュレーション

本研究のアルゴリズムの有効性を検証するために MATLAB を用いてシミュレーションプログラムを作成し、数値シミュレーションを行った。本節ではその結果について述べる。本研究における数値シミュレーションパラメータを以下の表 1 に示す。

表 1 シミュレーションパラメータ

	User 数 3
光の周波数 f [THz]	User1:100 User2:100.0005 User3:100.001
直交符号 c	User1:(1,1,0,0) User2:(1,0,1,0) User3:(1,0,0,1)
光の位相 ϕ [θ]	すべて各 User:0
電界強度 A	追加アルゴリズムに応じて増加
データ数	10000
ビットレート [bps]	1.0×10^{10}
データのサンプル間隔 [sec]	1.0×10^{-10}
タップ数 t	10
ステップサイズ μ	0.01

5.1 運用中 ONU に ONU 追加が与える影響

本研究では、ONU1 が運用中のところへ、係数更新回数 2000 回のところで ONU2 が、3000 回のところで ONU3 が追加される場合について実験を行った。図 4 には *iteration*=1 すなわち、(*division*, *continuation*)=(1,1) におけるフィルタ収束特性と電界強度を示し、図 5 には、*iteration*=5000 における (*division*, *continuation*)=(5000,1) のフィルタ収束特性と電界強度を示す。なお、縦軸を $e(t)$ 、横軸を係数更新回数 \mathbf{W}_t とする。

図 4 と図 5 を比較すると、エラーの最大値を図 5 の結果では抑えられているだけでなく、追加アルゴリズム適応後

のエラーに大きな差があることがわかる。これは追加アルゴリズム適応中にエラーを収束させていることにより、追加アルゴリズム適応後の誤判定を減少させていることがわかる。

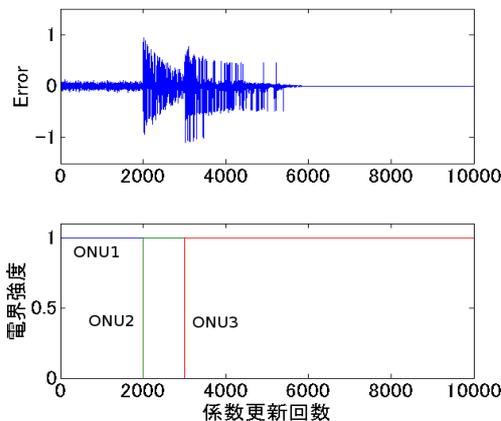


図 4 $(division, continuation)=(1, 1)$ における ONU1 のフィルタ収束特性と電界強度

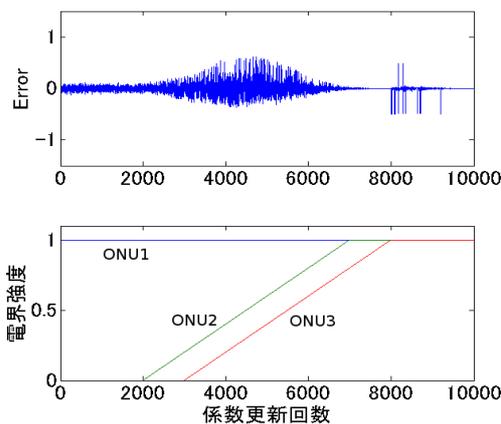


図 5 $(division, continuation)=(5000, 1)$ における ONU1 のフィルタ収束特性と電界強度

5.2 運用中 ONU の BER 特性

図 6 と図 7 では横軸を SNR(Signal-Noise Ratio), 縦軸を BER とし, $(1,1)$ の BER 特性を図 6 に, $(5000,1)$ の BER 特性を図 7 に示す。直線はビート雑音なし, ひし形プロットは追加アルゴリズム適用中, そして, 米印プロットは追加アルゴリズム適応後の係数更新回数 2000 回分の結果である。四角プロットの結果は追加アルゴリズム適用中と係数更新回数 2000 回分の範囲の BER 特性を示す。図 6 と図 7 を比較すると, $(5000,1)$ では追加アルゴリズム適応中にエラーが 0 に収束していたため, BER も同様に抑えられている。また, 追加アルゴリズム適応後の誤判定も減少しているため, BER が大きく抑えられている結果となった。

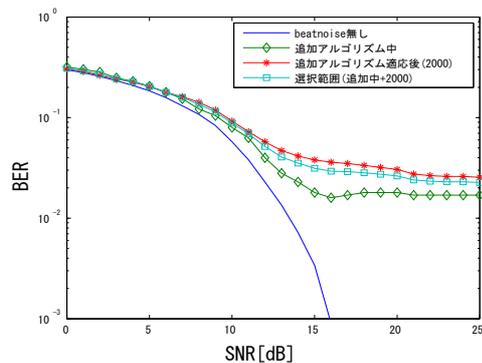


図 6 $(division, continuation)=(1, 1)$ における BER 特性

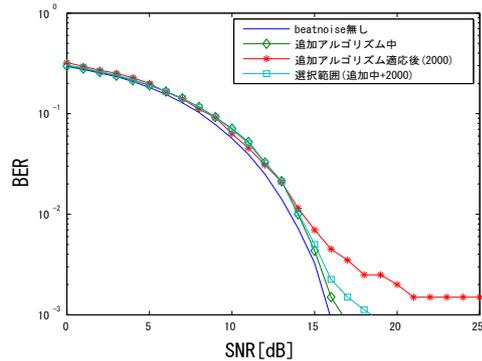


図 7 $(division, continuation)=(5000, 1)$ における BER 特性

6 まとめ

追加アルゴリズムを用いることでエラーを抑えつつ ONU を追加することができた。特に $iteration$ の値が大きいほど, 追加アルゴリズム中のエラーを抑え, 追加アルゴリズム適応後の BER も大きく抑えることが分かった。また, 同じ $iteration$ の値の組み合わせの中でも, $division$ が大きいほど追加アルゴリズム適応中のエラーの最大値を抑え収束させることで, 追加アルゴリズム適応後の誤判定を減少させた結果を得ることが出来た。

参考文献

- [1] Savo Glisic, "Advanced Wireless Communications 4G Technologie", Wiley, pp.167-227, Jun. 2004.
- [2] 伊藤 寛和, "ビート雑音推定器に適応フィルタを用いた光 CDMA 方式の提案", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2011 年 基礎・境界, 125, 2011-02-28
- [3] 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", 信学技報, CS2009-40, Sep. 2009.
- [4] 島村 徹也, "～MATLAB による～ 実戦デジタル信号処理", トリケップス社, Jun. 2010.
- [5] 神谷 幸宏, "MATLAB によるデジタル無線通信技術", コロナ社, Dec. 2008.