

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560475

研究課題名(和文)超広帯域サービスを経済的に提供可能な光アクセスネットワーク構成法に関する研究

研究課題名(英文)Optical Access Networks That Provide Economically Super Broadband Services

研究代表者

上田 裕巳 (UEDA, Hiromi)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：80367200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：より高速なサービスを経済的に提供可能とするために、複数サブキャリアを用いたデジタル変調に基づくSDM-PONを提案した。まず、バイアス送信方式によりONU 16台(常時1 Gbps/台)を収容する16-QAMに基づくSDM-PONの実現性を示した。次に、光送信電力の低減を図るために、QAM信号のマイナス成分を削除して送信するクリップ送信方式を提案し、受信側でもとの信号を復元する方法を提案した。クリップ送信方式により、ONU24台までのSDM-PONについてビット誤りなしに伝送できることを確認した。また、クリップ送信方式のバイアス送信方式に対する光送信電力低減量を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To economically provide higher bit rate services to users, we proposed the Subcarrier Digital Modulation Passive Optical Network (SDM-PON). We first showed the feasibility of a 16-QAM SDM-PON that constantly provides the service data rate of 1 Gbps to each user, in which ONU biases the QAM signal higher so that it is entirely positive before converting into an optical signal (bias signal sending scheme). To decrease its sending optical power, we then proposed a scheme for clipping negative components of the electrical QAM signal (clipped signal sending scheme), along with three methods for regenerating the original QAM signal at the receiving side. We showed that the clipped sending signal scheme, and all three regenerating methods, are effective by simulation. The resulting SDM-PON can support 24 ONUs. We also showed how much the clipped signal sending method can reduce average optical launch power as compared to the bias signal sending method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：光アクセスネットワーク PON デジタル変調 QAM クリップ

### 1. 研究開始当初の背景

現在、TDM-PON (Time Division Multiplexing Passive Optical Network)を用いて、ブロードバンドサービスが経済的に提供されている。より高速のサービスを TDM-PON で提供しようとすると、ONU (Optical Network Unit)がより高速の伝送路速度に対応する必要がある、ONU を経済的に実現するのが難しくなる。

現在さかんに研究開発が行われている WDM (Wavelength Division Multiplexing)-PON では、その基本構成要素の合波分波素子が現状高価であるため経済的な実現が厳しい。

このため、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-PON や OCDMA (Optical Code Division Multiplexing Access)-PON のような新しいアーキテクチャの PON の研究が行われつつある。

### 2. 研究の目的

より高速なサービスを経済的に提供する目的で、複数のサブキャリアを用いたデジタル変調に基づく SDM (Subcarrier Digital Modulation)-PON を提案する。その概念を図 1 に示す。各 ONU に割り当てられた互いに異なるサブキャリアをユーザのデジタル信号で変調して、光に変換して送信する。送信された光信号は光スプリッタで多重化されて OLT に伝送される。本研究の目的は、各ユーザが常時 1 Gbps 以上の通信を可能とする SDM-PON の実現性を明らかにすることである。

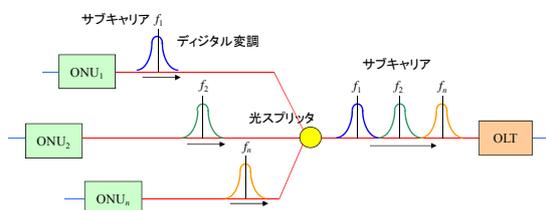


図 1 SDM-PON の概念

### 3. 研究の方法

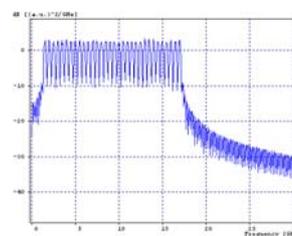
SDM-PON について、光スプリッタで多重化されることからより課題が多い OLT から ONU 方向について検討する。まず、SDM-PON の実現に向けて、要素技術、方式を机上で検討する。次に、検討した要素技術や方式に基づいて、シミュレーションを行い、SDM-PON の伝送特性を明らかにしたうえで、実現性を評価する。

### 4. 研究成果

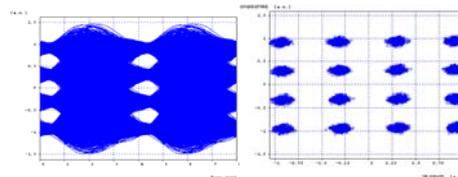
#### (1) 電気 SDM-PON による準備

光を用いた SDM-PON の実現性を探るために、まず光に変換せずに電気だけのシステムについてシミュレーションで評価した。この結果次のことが分かった。サブキャリアの最小周波数は 1.5 GHz であり、最小間隔は 0.5 GHz である。サブキャリアが 1.5 GHz 未満では高いサブキャリアで変調された信号の影響を受け、ビット誤りなしに伝送することが

できなかつた。また、0.5 GHz よりサブキャリア間隔を狭めるとビット誤りを観測した。OLT における受信信号から各変調されたサブキャリア  $f_i$  を抽出する BPF<sub>i</sub> (Band Pass Filter) について評価し、Bessel の伝達関数次数 5、通過帯域幅 0.3 GHz がよいことを確認した。このサブキャリアと BPF<sub>i</sub> を用いて評価した結果、ONU 32 台まで良好な伝送特性が得られることを確認した。伝送特性の一部を図 2 に示す。図 2(a)は電気カプラの出力のスペクトラムであり、これより ONU 32 台からの異なる周波数のサブキャリア変調信号が多重化されていることが分かる。OLT で受信信号から BPF<sub>i</sub> によりサブキャリア 1.5GHz を抽出した信号のアイパターンとコンスタレーションを図 2(b), (c)に示す。アイパターンのアイは開いており、コンスタレーションの点も分離していることが分かる。実際、 $3 \times 10^4$  ビットの送受信信号をビットごとに比較し、誤りのないことを確認した。



(a) 電気カプラ出力のスペクトラム



(b) アイパターン (c)コンスタレーション

図 2 電気 SDM-PON の伝送特性

#### (2) バイアス送信方式 SDM-PON

(1)の結果を踏まえ本来の光による SDM-PON の検討を行った。ONU で生成した電気 QAM 信号はマイナス成分を有し、光に変換するにはプラス成分のみの信号にする必要がある。そのため、QAM 信号に直流成分を加えて光に変換して送信するバイアス送信方式について検討を行った。

① 波長とサブキャリア: 各 ONU からの光信号は光スプリッタで多重化される。このとき、ビート雑音の影響により単一波長では伝送ができない。各 ONU の波長を変える必要がある。ONU 8 台でビット誤りが生じないように波長間隔を評価した。その結果、各 ONU に割り当てる波長は 1310.0 nm から間隔 0.8 nm とした。同様にサブキャリア周波数を評価した結果、最小 1.5 GHz、間隔 1.0 GHz とした。電気の場合に比し、間隔は大きくなるがこれより狭めるとビット誤りが発生することを確認した。BPF<sub>i</sub> について評価し直し、Bessel の伝達関数次数 5、通過帯域幅 0.5 GHz が適することを確認した。

② QAM の評価：各 ONU から常時 1 Gbps で送信し、ONU と OLT の伝送距離を 10 km とし、ONU 台数を増加させながら、QAM とし、16-QAM、64-QAM、256-QAM について評価した。64-QAM については、図 3 に示すように ONU 3 台以内ではアイパターン(左側)のアイは開き、コンスタレーション(右側)の点も分離した。しかし、ONU 3 台を超えるとビット誤りの発生を抑えることができなかつた。256-QAM は更に厳しい特性となった。このため、以降デジタル変調として、16-QAM を適用して検討することとした。

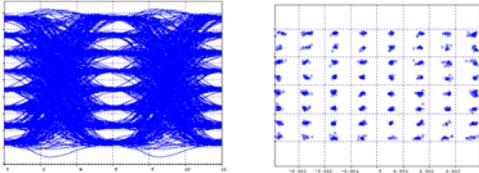


図 3 64-QAM の ONU 3 台のときの特性例

③ ONU16 台バイアス送信方式：②の評価条件のもと、16-QAM を用いて、ONU 16 台までの SDM-PON について伝送特性を評価した。その結果、特性は良好であることを確認した。一例を図 4 に示す。アイパターン(左側)のアイは開いており、コンスタレーション(右側)の点も分離している。実際、 $3 \times 10^4$  ビットの送受信信号をビットごとに比較し、誤りのないことを確認した。

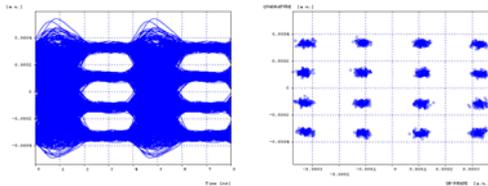


図 4 16-QAM の ONU16 台のときの特性例

(3) クリップ送信方式 SDM-PON の提案  
バイアス送信方式は QAM 信号に直流成分を加えることから、必要以上に光送信電力が大きくなる可能性があり、解決策が望まれる。  
① クリップ送信方式：光送信電力を低減するために、QAM 電気信号のマイナス成分をクリップし、プラス成分のみを光に変換して送信するクリップ送信方式を提案した。クリップ送信方式を図 5 に示す。

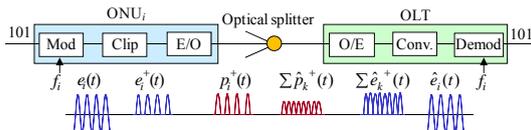


図 5 クリップ送信方式

ONU<sub>i</sub> は電気変調信号  $e_i(t)$  のマイナス成分をクリップし、プラス成分のみの信号  $e_i^+(t)$  を得る。つづいて ONU<sub>i</sub> は  $e_i^+(t)$  を光に変換し、信号  $p_i^+(t)$  を送信する。 $p_i^+(t)$  は他の ONU から光信号と光スプリッタで多重化されて

$\Sigma p_k^+(t)$  となり、OLT に伝送される。OLT は  $\Sigma p_k^+(t)$  が伝送途中で減衰した信号  $\Sigma \hat{p}_k^+(t)$  を受信し、電気信号  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  に変換する。その後、電気信号  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  から ONU<sub>i</sub> のもとの信号に近い信号  $\hat{e}_i(t)$  に変換する必要がある。

② 受信信号変換法：OLT において  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  から  $\hat{e}_i(t)$  に変換する方法として、次の 3 つの方法を提案した。

[方法 1]  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  を位相  $\pi$  の奇数倍に相当する  $\tau_0$  だけ遅延させた信号  $\Sigma \hat{e}_k^+(t + \tau_0)$  の振幅を反転して、 $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  に加えた信号  $\Sigma \hat{e}_k(t) (= \Sigma \hat{e}_k^+(t) + (-\Sigma \hat{e}_k^+(t + \tau_0)))$  を生成する。この信号  $\Sigma \hat{e}_k(t)$  を BPF<sub>i</sub> に通して  $\hat{e}_i(t)$  とする。

[方法 2]  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  を BPF<sub>i</sub> に通して  $\hat{e}_i(t)$  とする。

[方法 3] 方法 2 の BPF<sub>i</sub> を通した信号を  $\hat{e}'_i(t)$  とするとき、方法 1 のように  $\hat{e}'_i(t) + (-\hat{e}'_i(t + \tau_0))$  を生成して、再度 BPF<sub>i</sub> に通して  $\hat{e}_i(t)$  とする。

方法 1 の根拠を述べる。信号  $e_i^+(t)$  の In-phase 成分  $\text{In } e_i^+(t)$  はキャリア  $\cos 2\pi f_i t$  の振幅変調信号であり、1 シンボル時間の波形は図 6 のようになる。この波形を  $\tau_0$  だけ遅延させた信号は  $y=0$  のところに  $y = a_n \cos 2\pi f_i t$  がシフトして現れるので、これを反転させて加えらるともとのマイナス成分をもつ In-phase 成分が得られる。Quadrature 成分も同様である。

方法 2 の根拠は、図 6 に示した  $\text{In } e_i^+(t)$  は 1 シンボル時間において周期関数となるのでフーリエ級数に展開でき、

$$\text{In } e_i^+(t) = a_n \left[ \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos 2\pi f_i t + \frac{2}{3\pi} \cos 4\pi f_i t - \dots \right]$$

と表せる。同様に、 $e_i^+(t)$  の Quadrature 成分  $\text{Qu } \hat{e}_i^+(t)$  は

$$\text{Qu } \hat{e}_i^+(t) = b_n \left[ \frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \sin 2\pi f_i t - \frac{2}{3\pi} \cos 4\pi f_i t - \dots \right]$$

と表せる。OLT で受信する信号  $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  は、上式の和をとり、更に  $k$  について加算してできた信号が減衰したものである。したがって、 $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$  を BPF<sub>i</sub> に通過させると  $f_j$  ( $j \neq i$ ) が除去され、更に上式の直流成分と高周波成分が除去され

$$\hat{e}_i(t) \propto \frac{a_n}{2} \cos 2\pi f_i t - \frac{b_n}{2} \sin 2\pi f_i t$$

が得られる。

方法 3 は方法 2 を行った後に方法 1 を行うものであり、両者の組み合わせである。

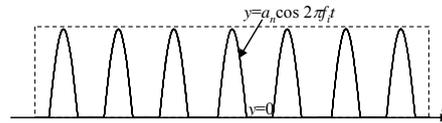


図 6  $\text{In } e_i^+(t)$  の 1 シンボル時間の波形

(4) 方法 3 に基づく SDM-PON の伝送特性

① 方法 3 の BPF<sub>i</sub>: Bessel の伝達関数次数 5、通過帯域 0.6 GHz の BPF<sub>i</sub> が方法 3 に基づく SDM-PON にとって特性のよいことを確認した。以降これを用いて評価した。

② 同一伝送距離(20 km)の評価：OLT の受信信号から方法 3 により再現した信号の例を図 7(b)に示す。図 7(b)は ONU24 台の場合の

ONU<sub>1</sub> からのものであり、そのときのクリップ光送信波形を図 7(a)に示す. ONU の台数を 8, 16, 24 台にして SDM-PON の伝送特性を評価した. ここで、サブキャリアの最小周波数について、ONU 8 台までは 1.5 GHz で良好な特性が得られた. ONU 16 台以上では 1.5 GHz では雑音の影響を強く受け、2.5 GHz とする必要があることを確認した. 周波数間隔は 1.0 GHz である. アイパターンとコンスタレーションを図 8 に示す. 図 8(a)は ONU 8 台, (b)は 16 台, (c)は 24 台の場合である. 伝送距離が同じ場合, ONU 台数を増加させても特性はほぼ同じであることが分かる. 図 8 より、いずれもアイパターン(左側)のアイは開いており、コンスタレーション(右側)の信号点も分離していることが分かる. 実際、 $3 \times 10^4$  ビットの送信信号と受信信号をビットごとに照合し、ビット誤りがないことを確認した.

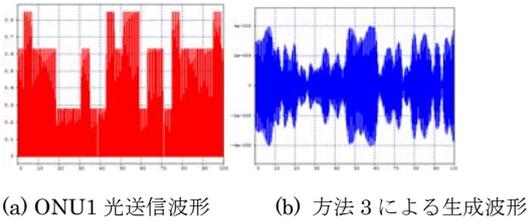


図 7 ONU24 台クリップ送信方式(方法 3)

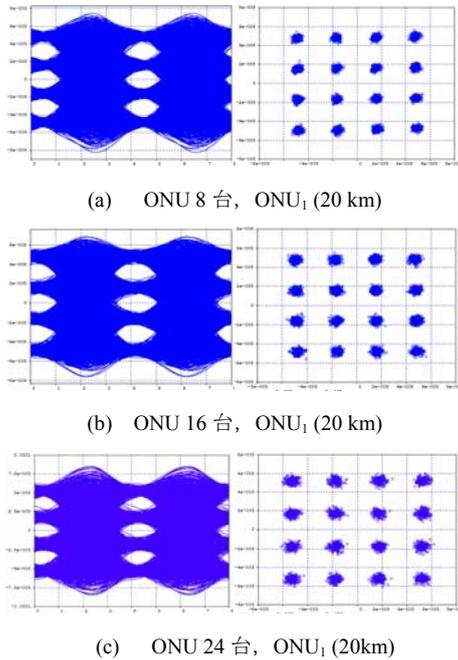


図 8 クリップ送信方式(方法 3)で同一距離の特性

③ 異なる伝送距離(2 km~21 km)の評価: OLT と ONU<sub>i</sub>間の伝送距離が図 9 に示すように 2 km から 21 km で異なる場合について、クリップ送信方式, 方法 3 による ONU 8 台の SDM-PON の伝送特性を評価した. ONU 16 台についても図 9 と同様に、光スプリッタと ONU<sub>n</sub>の距離を  $n$  km ( $1 \leq n \leq 8$ ), ONU<sub>m</sub>の距離を  $m+4$  km ( $9 \leq m \leq 16$ )として評価した.

OLT の受信信号から方法 3 により 21 km 位

置にある ONU<sub>i</sub> のものを再現した信号のアイパターンとコンスタレーションを図 10 に示す. 同一伝送距離にある図 8 と比較し、アイパターン(左側)のアイが狭まり、コンスタレーション(右側)の点が広がるのが分かる. なお、 $3 \times 10^4$  ビットの送受信信号をビットごとに照合し、ビット誤りがないことを確認した.

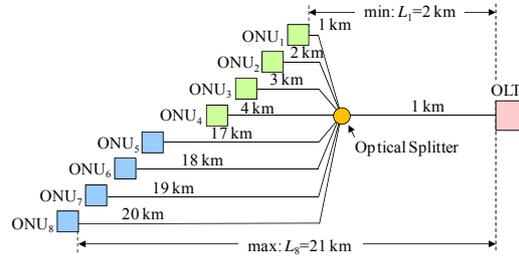


図 9 ONU 8 台の異なる伝送距離の SDM-PON

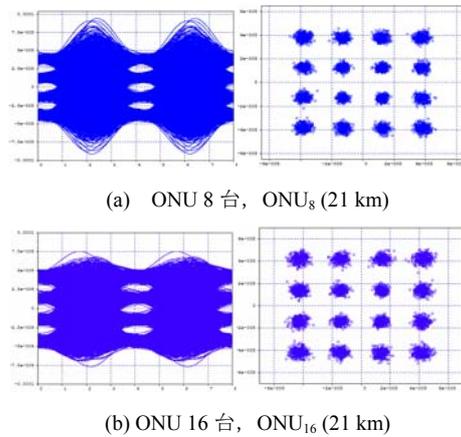


図 10 クリップ送信方式(方法 3)で異なる距離の特性

(5) 方法 2 に基づく SDM-PON の伝送特性

方法 3 は他の方法より伝送特性がよかったことから、先行して検討を行った. 次に、方法 3 よりシンプルな方法 2 について検討した. 方法 3 の結果を受けてサブキャリア周波数は最小 2.5GHz, 間隔 1GHz とした.

① 方法 2 の BPF<sub>i</sub>: 方法 2 は BPF<sub>i</sub>のみを用いるシンプルな方法であり、BPF<sub>i</sub>を最初から評価した. BPF として、よく知られている Bessel, Butterworth, Chebyshev の 3 種類について、伝達関数次数(2~6)と通過帯域幅(0.1GHz きざみ)を ONU 2 台のシンプルな SDM-PON でアイ開口率の平均値を評価した. 評価結果を表 1 に示す. これより、Bessel の次数 5, 通過帯域幅 0.3 GHz~0.4 GHz のアイ開口率が 0.8 となり、Butterworth (アイ開口率 0.7), Chebyshev (同 0.6)よりもよい特性となる. 方法 3 では、Bessel の次数 5, 通過帯域幅 0.6 GHz が適しているのに対し、方法 2 では次数は同じであるが、通過帯域が 0.3 GHz~0.4 GHz と狭くなっている.

表 1 BPF の特性評価結果

	BL	BW	CS
伝達関数次数	5	3	3
通過帯域幅[GHz]	0.3~0.4	0.3	0.4
最大アイ開口率	0.8	0.7	0.6

BL: Bessel, BW: Butterworth, CS: Chebyshev

② 同一伝送距離(20 km)の評価：OLT と ONU<sub>i</sub>間の伝送距離が全て 20 km の評価結果を示す。ONU の台数が 8 と 16 について評価した。OLT における光受信信号を電気に変換した後、方法 2 により再現した信号のアイパターンとコンスタレーションを図 11 に示す。図 11 より、いずれもアイパターン(左側)のアイは開いており、コンスタレーション(右側)の点も分離している。実際に、各 ONU<sub>i</sub>について  $2 \times 10^4$  ビットの送信信号と受信信号をビットごとに照合し、ビット誤りが無いことを確認した。

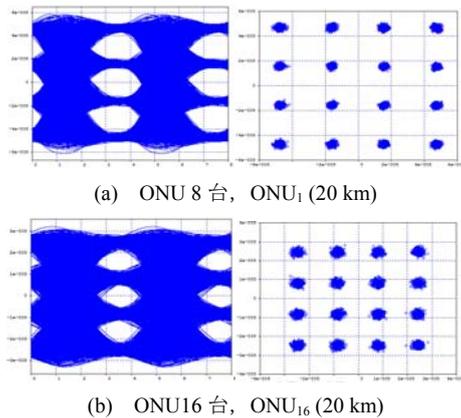


図 11 クリップ送信方式(方法 2)で同一距離の特性

③ 異なる伝送距離(2km~21 km)の評価：OLT と ONU<sub>i</sub>間の伝送距離が図 9 に示すように 2 km から 21 km で異なる場合について、クリップ送信方式、方法 2 による ONU 8 台の SDM-PON の伝送特性を評価した。OLT の受信信号から方法 2 により再現した信号のアイパターンとコンスタレーションの例を図 12 に示す。図 12 より、距離 2 km ではアイパターン(左側)のアイが大きく、21 km ではアイが狭くなるのが分かる。コンスタレーション(右側)も距離に応じて点が広がるが、分離している。実際に、各 ONU<sub>i</sub>について  $2 \times 10^4$  ビットの送信信号と受信信号をビットごとに照合し、ビット誤りが生じていないことを確認した。また、方法 2 による図 12(b)と方法 3 による図 10(a)の同じ 21 km 距離におけるアイを比較するとほぼ同じ特性であることが分かる。

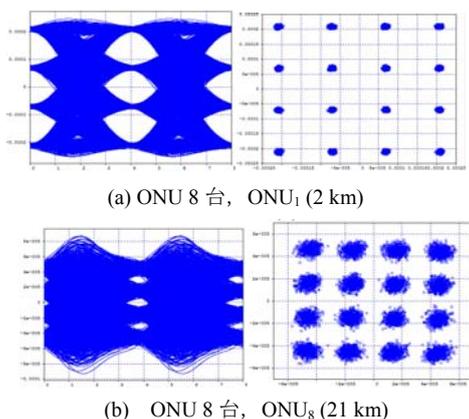


図 12 クリップ送信方式(方法 2)で異なる距離の特性

(6) クリップ送信方式の光送信電力評価

① 理論的評価： バイアス送信方式とクリップ送信方式の平均光送信電力比をシンプルなモデルで評価する。16-QAM 信号はサブキャリア周波数を  $f_i$  とすると

$$e_i(t) = a_n \cos 2\pi f_i t - b_n \sin 2\pi f_i t = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \sin(2\pi f_i t - \phi_n)$$
ただし、 $n = \pm 1, \pm 2$ ,  $\tan \phi_n = a_n / b_n$  と表せる。ここで、

$$a_{\pm 1} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad a_{\pm 2} = \pm \frac{3}{\sqrt{2}}, \quad b_{\pm 1} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad b_{\pm 2} = \pm \frac{3}{\sqrt{2}}$$

とおくと、16-QAM 信号の振幅  $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$  は 1,  $\sqrt{5}$ , 3 の 3 種類となる。ここで、 $2\pi f_i t = x$  とおき、平均電力を評価するのみなので、上の位相  $\phi_n$  を無視し、1,  $\sqrt{5}$ , 3 の各振幅の出現頻度を同一とすると、クリップ送信方式の平均光送信電力  $\bar{P}_c$  とバイアス送信方式の平均送信電力  $\bar{P}_b$  の比は、

$$10 \log \frac{\bar{P}_c}{\bar{P}_b} = 10 \log \frac{\int_0^{2\pi} \{(\sin x)^2 + (\sqrt{5} \sin x)^2 + (3 \sin x)^2\} dx}{\int_0^{2\pi} \{(\sin x + 3)^2 + (\sqrt{5} \sin x + 3)^2 + (3 \sin x + 3)^2\} dx} dx = -9.6 \text{ dB}$$

となる。すなわち、クリップ送信方式はバイアス送信方式より 9.6 dB だけ平均光送信電力を削減できることが分かる。

② シミュレーション評価： バイアス送信方式とクリップ送信方式の平均光送信電力を同一ビット誤り率で評価する。このため、両送信方式の平均光送信電力に対するビット誤り率特性を各々シミュレーションにより求めた。その結果を図 13 に示す。送信ビット数を  $1 \times 10^5$  としたため、測定したビット誤り率は  $10^{-4}$  前後の範囲としている。図 13 より、ビット誤り率  $10^{-4}$  では、18 dB ほどクリップ送信方式の平均光送信電力が小さいことが分かる。図 13 において測定点から最小 2 乗近似で補間した直線を見ると、ビット誤り率のより小さいところでは、両送信方式の平均光送信電力の差は小さくなる。ビット誤り率  $10^{-12}$  では、クリップ送信方式はバイアス送信方式に比し、約 8 dB だけ平均光送信電力が小さいことが分かる。

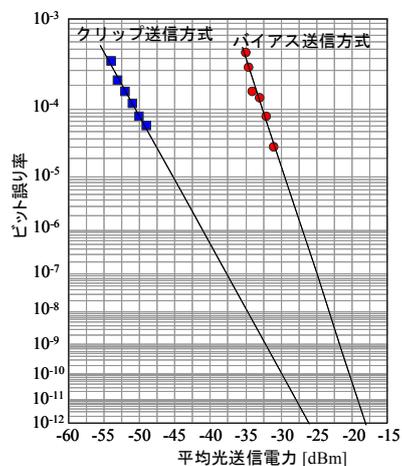


図 13 平均光送信電力とビット誤り率の関係

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① H. Ueda, K. Hamasaki, T. Kuriyama, T. Tsuboi, and H. Kasai, "Proposal of novel optical burst signal receiver for ONU in optical switched access network," IEICE Trans. Commun., Vol. E95-B, No. 3, pp. 819-831, March 2012.(査読有)

[学会発表] (計38件)

- ① H. Ueda, and T. Tsuboi, "Subcarrier digital modulation based passive optical network using clipped signal sending scheme," ICC 2014, ONS, 2014年6月12日, Sydney (オーストラリア).
- ② 上田裕巳, 澤田圭祐, "SDM-PONにおけるクリップ送信方式のシンプル化の検討," 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2014-9, 2014年4月24日, 広島市立大学(広島県).
- ③ 浅川卓也, 上田裕巳, "SDM-PONにおける伝送距離が異なる ONU からの合計 16 Gbps 伝送特性," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-34, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県).
- ④ 澤田圭祐, 上田裕巳, "SDM-PONにおけるクリップ送信方式のシンプル化と伝送特性評価," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-35, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県).
- ⑤ 高橋和也, 上田裕巳, "OFDM-PONに関する下り伝送特性の一評価," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-36, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県).
- ⑥ 吉田健人, 栗山宜巳, 上田裕巳, "光バースト受信部における提案伝達関数から構成した回路の感度解析," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-37, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県).
- ⑦ 上田裕巳, 浅川卓也, "SDM-PONにおける上り最大 24 Gbps 伝送特性," 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2013-124, 2014年3月7日, 大阪市立大学(大阪府).
- ⑧ 本間拓哉, 上田裕巳, "SDM-PONにおける異なる伝送距離に対する特性評価," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-44, 2013年3月19日, 岐阜大学(岐阜県).
- ⑨ 覚張佑亮, 栗山宜巳, 上田裕巳, "SDM-PONにおけるマイナス成分クリップ信号伝送方式の送信電力評価," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-45, 2013年3月19日, 岐阜大学(岐阜県).
- ⑩ 宮崎真也, 栗山宜巳, 上田裕巳, "過渡時用と定常時用の伝達関数を切替える光バースト受信部の提案," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-46, 2013年3月19日, 岐阜大学(岐阜県).
- ⑪ 村上貴紀, 栗山宜巳, 上田裕巳, "光バースト受信部の結合回路に対する感度解析," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-47,

2013年3月19日, 岐阜大学(岐阜県).

- ⑫ 本間 拓哉, 覚張 佑亮, 上田 裕巳, "クリップ送信方式に基づく SDM-PON に関する伝送特性評価," 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2012-134, 2013年3月15日, 慶応大学鶴岡キャンパス(山形県).
- ⑬ H. Ueda, T. Tsuboi and M. Kou, "Subcarrier Digital Modulation Based Passive Optical Network," APSITT 2012, 2012年11月6日, Santiago (チリ)
- ⑭ 高橋卓也, 栗山宜巳, 上田裕巳, "OSDM-PON におけるマイナス成分をクリップした QAM 信号伝送方式の提案," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-44, 2012年3月23日, 岡山大学(岡山県).
- ⑮ 石 林, 上田裕巳, "64-QAM に基づく OSDM-PON の一検討," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-45, 2012年3月23日, 岡山大学(岡山県).
- ⑯ 石川嗣人, 上田裕巳, "256-QAM に基づく OSDM-PON における上り波長間隔の検討," 電子情報通信学会 総合大会, B-8-46, 2012年3月23日, 岡山大学(岡山県).
- ⑰ 高橋卓也, 栗山宜巳, 上田裕巳, "直交サブキャリア多重方式に基づく OSDM-PON におけるクリップ QAM 信号伝送方式の提案," 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2011-131, 2012年3月9日, 新潟大学(新潟県).
- ⑱ H. Ueda, "State-of-the-Art Broadband Access: Passive Optical Network," APCC 2011, 2011年10月4日, Kota Kinabalu (マレーシア).
- ⑲ 上田裕巳, 栗山宜巳, 坪井利憲, 河西宏之, "E-OSAN の ONU における光バースト受信部の定常特性に関する考察" 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-8-7, 2011年9月14日, 北海道大学(北海道).
- ⑳ 上田裕巳, 栗山宜巳, 高 将士, "16-QAM を用いた直交サブキャリア多重方式に基づく OSDM-PON の検討," 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2011-41, 2011年9月2日, 東北大学(宮城県).

[その他]

ホームページ等

<http://gsdatabase.teu.ac.jp/teuhp/KgApp?kyoinId=ymdggsoeggy>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

上田 裕巳 (UEDA, Hiromi)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：80367200