

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420375

研究課題名(和文)超高速通信を可能にする経済的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)Research on economical optical access networks for higher bit rate 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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：より高速で経済的な光アクセスネットワークの実現を目指して、サブキャリアをユーザデータで変調して伝送するSDM-PONを提案している。この実現性を示すためには、ONUの最大数32台から同時に常時1 Gbpsの伝送を実証する必要がある。波長は1310nm帯で200 GHz間隔、サブキャリア周波数は1.2 GHzから0.8 GHz間隔、変調方式は16QAM、光送信電力(平均)はONU一律の場合、4 dBm で伝送が可能、6 dBmでより安定した伝送が可能であることを示した。更に、最大距離20 kmのONUに光送信電力4 dBm (平均)、他は距離に応じて下げるのが適切であることを示した。

研究成果の概要(英文)：To economically provide higher bit rate services to users, the researcher proposed the Subcarrier Digital Modulation Passive Optical Network (SDM-PON). To show the feasibility of the SDM-PON system, it is required to verify up to 32 ONUs can transmit 1 Gbps to OLT simultaneously and continuously. Using wavelengths of 1310 band with the interval of 200 GHz, subcarrier frequencies of starting 1.2 GHz with interval of 0.8 GHz, 16 QAM as a digital modulation, and ONU's uniform average sending powers of 4dBm he verified the transmission. For ONU's uniform average sending powers of 6dBm more tolerable transmission was achieved. In addition, he showed it is effective in the ONU's sending power to give the ONU of the maximum distance 4 dBm, and the other ONUs the powers that decrease in accordance with the distance.

研究分野：通信工学

キーワード：光アクセスネットワーク PON QAM クリップ サブキャリア

1. 研究開始当初の背景

光アクセスネットワークの経済化を目的に、研究代表者は変調技術を用いた SDM-PON (Subcarrier Digital Modulation Passive Optical Network) を提案した。ユーザに設置される ONU (Optical Network Unit) は最大 32 台までサポートする必要があるが、ONU 16 台に限られていた。ONU 16 台を超える SDM-PON を実現するためには、課題を整理したうえで、新たな提案を行い、研究を進める必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、より高速なサービスの経済的な提供をねらいとして、研究代表者が提案した SDM-PON について、ONU の最大数の 32 台までを安定して伝送する技術を確認し、SDM-PON の実現性を示すことである。この中で、サブキャリア周波数、波長、光送信電力等の適切な設定法を明らかにする。

3. 研究の方法

SDM-PON について、これまでに検討した課題を整理し、課題を解決する方法を提案する。その方法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する。解決方法の提案と追求を重ね、ONU 32 台までの SDM-PON の実現性を評価する。

4. 研究成果

(1) 提案 SDM-PON の構成

SDM-PON の上り方向のイメージを図 1 に示す。SDM-PON では、ONU_i に 1 つのサブキャリア周波数 f_i を割り当て、ONU_i はサブキャリアをユーザのデジタルデータで変調した後、光に変換して送信する。各 ONU_i からの光送信信号は、光スプリッタで多重化されて OLT に届く。OLT は多重化された光受信信号を電気に変換した後、サブキャリア周波数 f_i で復調し、各 ONU_i の送信信号を得る。ここで、ビート雑音を避けるために、ONU_i ごとに異なる波長 λ_i を用いる。複数の波長を用いるが、WDM (Wavelength Division Multiplexing)-PON とは異なり、WDM フィルタや AWG (Arrayed Waveguide Grating) を用いない。SDM-PON では、前述のように受信多重化信号の分離はサブキャリアを用い、経済化を図る。

SDM-PON に適用するデジタル変調について、これまでに 16 QAM の他、64 QAM、128 QAM について適用性を調べた。ここで調べた範囲では、64 QAM、128 QAM は ONU 台数が 3 台程度でビット誤りが生じ、ONU 4 台以上で安定した伝送が不可能であった。この結果、以降 16 QAM を用いることとした。

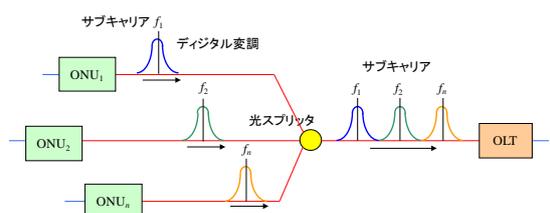


図 1 SDM-PON の構成

(2) 波長とその間隔

SDM-PON で用いる波長と 16 QAM で変調

された光信号の関係を図 2 に示す。波長間隔 D は狭い方が波長使用の効率上有意である。このことから、当初、波長間隔 D を 0.8 nm (約 140GHz) で評価した。しかし、伝送特性の評価を行う中で、隣接するサブキャリアで変調された上側波帯と下側波帯の間隔 d_n (図 2) が 110 GHz 程度になると干渉のためにビット誤りが生じることが分かった。ONU の台数が増加するにしたがい、サブキャリア周波数は高くなるので波長間隔 D が 0.8 nm のままでは d_n を 110 GHz 以上に維持できなくなる。間隔 d_n を常に 110 GHz 以上にするために、波長間隔 D を 200 GHz に広げて検討することとした。上り方向の波長帯は、光アクセスネットワークで標準的に使用されている 1310 nm 帯とし、各 ONU_i に割り当てる波長(周波数換算) F_i は次式として検討した。

$$F_i = 231.8492 - 0.2 \times (i-1) \text{ [THz]} \quad (1)$$

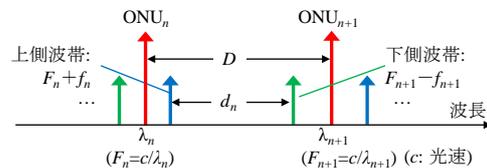


図 2 波長と 16 QAM で変調された光信号

(3) サブキャリア周波数とその間隔

サブキャリア周波数間隔は狭い方が最大周波数を低く抑えられてハード構成上好ましい。しかし、狭くし過ぎると、干渉のために受信側で周波数多重化信号から所定の信号を分離できなくなる。サブキャリア周波数間隔として、0.5 GHz、0.8 GHz、1.0 GHz についてシミュレーションにより評価した。その結果、1.0 GHz では、ONU 24 台までであれば、最大サブキャリア周波数は 26 GHz 程度であり、伝送特性上問題ないが、ONU 32 台では 30 GHz を超え光ファイバの分散の影響のために、ビット誤りが発生することが分かった。また、サブキャリア周波数 0.5 GHz では狭過ぎて、隣接サブキャリアからの干渉から ONU 8 台の伝送が限界であることが分かった。以上により、以降サブキャリア周波数間隔は 0.8 GHz とし検討することとした。サブキャリアの最小周波数を当初は 2.8 GHz とし、サブキャリア周波数 f_i として次式を用いて検討した。

$$f_i = 2.8 + 0.8 (i-1) \text{ [GHz]} \quad (2)$$

(4) 光信号送信方式

光信号の送信方式としてバイアス送信方式とクリップ送信方式を検討した。バイアス送信方式では、各 ONU_i で生成した電気 16QAM 信号 $e_i(t)$ に直流成分を加え、プラス成分のみにして光信号に変換する。クリップ送信方式では、光送信電力効率化のために、電気 16QAM 信号 $e_i(t)$ のマイナス成分を削除して、プラス成分のみを光信号に変換する。クリップ送信方式を用いる場合、受信側において多重化クリップ信号 $\sum \hat{e}_k^+(t)$ からマイナス成分を有するもとの信号 $\hat{e}_i(t)$ を再現する必要がある。その実現方法として、次の 3 方法を提案

した。

[方法 1] $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$ の位相を π 相当時間の奇数倍の τ_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 $\Sigma \hat{e}_k(t)$ を通過帯域の中心周波数が f_i の BPF_i (Band Pass Filter)に通して $\hat{e}_i(t)$ とする。

[方法 2] $\Sigma \hat{e}_k^+(t)$ を BPF_iに通して $\hat{e}_i(t)$ とする。

[方法 3] 方法 2 の BPF_iを通した信号を $\hat{e}'_i(t)$ とするとき、方法 1 のように信号 $\hat{e}'_i(t)+(-\hat{e}'_i(t-\tau_0))$ を生成して、再度 BPF_iに通して $\hat{e}_i(t)$ とする(方法 1 と 2 の組み合わせ)。

式(2)のサブサブキャリア周波数に対して、方法 1 と 3 における位相時間 τ_0 を求める。サブキャリア周波数 f_i に対する位相 π に相当する時間は $1/2f_i$ であり、 τ_0 はこの奇数倍であるから、

$$\tau_0 = \frac{2k+1}{2f_i} \quad (3)$$

となる。式(2)を式(3)に代入すると

$$\tau_0 = \frac{2k+1}{2 \cdot (2.8+0.8(i-1))} = \frac{2k+1}{0.8(2i+5)} [\text{ns}] \quad (4)$$

となる。 τ_0 は多重化信号に共通に用いることから、多重化構成を表す i に依存しない値とする必要がある。したがって、式(4)で $k=i+2$ とおけば、 i によらず

$$\tau_0 = 1.25 \text{ ns} \quad (5)$$

が得られる。以降、クリップ送信方式の方法 1, 3 において、式(5)を用いて検討した。

(5) 光送信電力

バイアス送信方式では、電気 16QAM 信号に直流成分を加えて、光変調器に入力する。クリップ送信方式では、マイナス成分を削除した電気 16QAM 信号を変調信号として、光変調器に入力する。光変調器のキャリアとなる光源は CW (Continuous Wave) レーザとして、光送信信号を生成する。このとき、CW レーザの電力を有効に利用するため、CW レーザのピーク電力を P_{cwp} とするとき、光送信信号のピーク電力 P_{sp} が $P_{sp}=(P_{cwp}-3.0-0.5)$ dBm となるように変調信号の振幅を調整する。ここで、光変調器の特性をリニア、損失を 3.0 dB、マージンを 0.5 dB とした。例えば、 $P_{cwp}=10$ dBm (ピーク) とするとき、 $P_{sp}=6.5$ dBm (ピーク) となる。なお、 $P_{sp}=6.5$ dBm (ピーク) のとき、バイアス送信方式の送信電力の平均値 P_{sa} は $P_{sa}=3.5$ dBm (平均)、クリップ送信方式では $P_{sa}=0$ dBm (平均) となる。

(6) BPF

BPF について、代表的な Bessel, Chebyshev, Butterworth の 3 種類のフィルタについて評価した。その結果、Bessel フィルタは通過帯域のグループ遅延が平坦で、波形歪みを起こしにくいことから、アイ開口率を最大にできることが分かった。このとき、伝達関数の次数は、他のフィルタでは 3 次に対し、5 次が必要であることが分かった。

BPF の通過帯域について、20km 同一伝送距離にある ONU 8 台の SDM-PON を用いてアイ

開口率の平均値と最小値を評価した。例えば、クリップ送信方式・方法 2 に用いる 5 次の Bessel フィルタで BPF 通過帯域の評価結果を図 3 に示す。これより、通過帯域 0.30 GHz が最も特性がよいことが分かる。各種送信方式の BPF 通過帯域の評価結果を表 1 に示す。表 1 より、クリップ送信方式・方法 3 の通過帯域は他より広いが、方法 3 は BPF を 2 つ直列に用いるからである。他の方式ではほぼ同じ値であることが分かる。

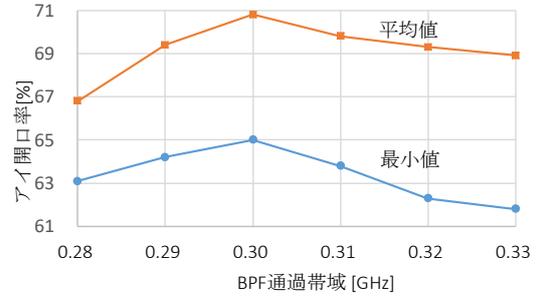


図 3 クリップ送信方式・方法 2 の BPF 通過帯域の評価

表 1 各種送信方式の BPF 通過帯域の評価

送信方式	BPF 通過帯域
バイアス	0.34 GHz
クリップ・方法 1	0.43 GHz
クリップ・方法 2	0.30 GHz
クリップ・方法 3	0.60 GHz

(7) ONU 32 台に対する伝送特性

以上の検討結果を踏まえ、ONU 32 台に対する SDM-PON について、全ての送信方式 (バイアス送信方式、クリップ送信方式の方法 1, 2, 3) で伝送特性をシミュレーションにより評価した。その結果、ONU32 台から同時に常時 1Gbps のデータを送信する SDM-PON の実現性を確認した。以降、光送信電力が効率的なクリップ送信方式について述べる。

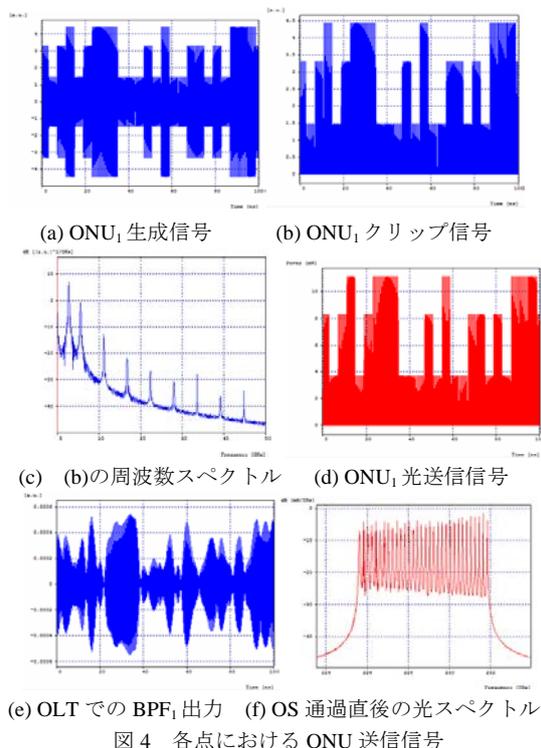
① シミュレーション条件

光ファイバはアクセス系で標準的に用いられる 1310 nm 帯シングルモードとする。現状の光ファイバ特性から、損失は 0.34 dB/km、分散スロープは 0.08 ps/nm²/km とする。光スプリッタの損失は 32 分岐相当の 16 dB とする。OLT の受光素子は APD (Avalanche Photo Diode) とする。各 ONU_i から OLT に送信するデータを同時に常時 1 Gbps とする。データは PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) とし、送受信データを比較してビット誤り検査に用いるビット数は、 2×10^4 ビットとする (ONU32 台から同時に常時 1 Gbps を送信する場合のシミュレータの限界)。

② 20km 同一伝送距離の評価結果と考察

[1] 信号波形の確認：クリップ送信方式・方法 3 の場合について、光送信電力 $P_{sa}=4$ dBm (平均) のときの、ONU の送信信号等の観測結果の一例を図 4 に示す。図 4(a) は ONU₁ で生成された電気信号、(b) は電気信号のマイナス成分をクリップした信号、(c) はその周波数スペクトル、(d) は光送信信号、(e) は OLT にお

る BPF₁ 通過後の信号, (f) は光送信信号が光スプリッタ(OS)で多重化された直後の光スペクトルである. 図 4 より, 次のことが分かる. 図 4(a)より, 3 種類の振幅が確認でき, 16QAM 信号である. (b)より, 16 QAM 信号のマイナス成分がクリップされている. (c)より, クリップ信号の Fourier 級数から明らかなように, 直流成分, 基本成分 $f_1=2.8$ GHz, 高次成分として $2f_1$ (5.6 GHz), $4f_1$ (11.2 GHz), $6f_1$ (16.8 GHz)...成分が現れている. また, 基本成分のレベルが最も高く, 高次成分ほど低くなる. (d)より, (b)の信号が光に変換され, クリップ信号が送信されている. (e)より, 適切な周期のサンプル点で, (a)に相当する 16 QAM 信号が再現されている. (f)より, 各 ONU_i の 32 個の波長 F_i が光スプリッタ(OS)で多重化されている.



[2] $P_{sa}=0$ dBm (平均)の伝送特性: ONU 32 台と OLT 間が全て 20 km の同一伝送距離の場合について, 式(2)のサブキャリア周波数 $f_i=2.8+0.8(i-1)$ [GHz]を用いて, 光送信電力 $P_{sa}=0$ dBm (平均)であれば, 全てのアイパターンのアイが開いていること, コンスタレーションの点分離していることを確認した. 更に, ONU32 台全てに対して, 2×10^4 ビットの送信信号と受信信号をビットごとに照合して, ビット誤りがないことを確認した.

例えば, クリップ送信方式・方法 2 について, サブキャリア周波数が $f_1=2.8$ GHz, $f_{30}=26.0$ GHz, $f_{31}=26.8$ GHz, $f_{32}=27.6$ GHz のアイパターンを図 5 に示す. これより, $f_{32}=27.6$ GHz でアイ開口率は 11%程度になり余裕があまりないことが分かる. $f_{31}=26.8$ GHz 以下の周波数に対しては余裕が増加することが分かる.

図 5 に示されるように, $f_{32}=27.6$ GHz のよう

に高いサブキャリア周波数で特性劣化が生じるのは光ファイバの分散によるものと考えられる. 実際, 分散を 0 にして評価するとアイ特性は図 6 のよう改善され, アイ開口劣化の原因が分散によるものと分かる.

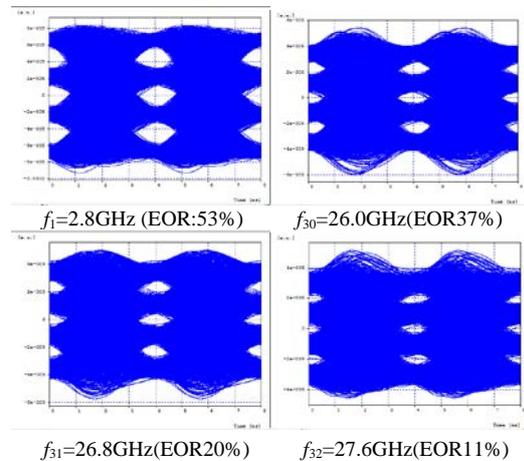


図 5 クリップ送信方式・方法 2 のアイパターン ($P_{sa}=0$ dBm(平均))

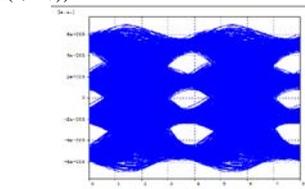


図 6 $f_{32}=27.6$ GHz で分散 0 の場合

[3] サブキャリア周波数の低減: サブキャリア周波数が低ければ分散の影響も小さいので, サブキャリア周波数をどこまで下げることができるかを評価した. クリップ送信方式・方法 2 について, 光送信電力 $P_{sa}=0$ dBm (平均)の場合の結果を図 7 に示す. なお, 図 7 に示していないが, 最小サブキャリア周波数が 0.4 GHz のとき, アイは開かないことを確認している. これより, サブキャリア周波数が 1.2 GHz~26 GHz の場合では, アイ開口率(EOR)30%以上が得られることが分かる. 特に, $f_{26}=21.6$ GHz までであれば, 光送信電力 $P_{sa}=0$ dBm (平均)でもアイ開口率 50%程度が得られることが分かる. このとき, デフォルトのサブキャリア周波数を用いて OLT から ONU を制御することを考えると, サブキャリア周波数は ONU の最大数 32 より多い 33 個以上を確保する必要がある. したがって, サブキャリア周波数として 1.2 GHz~26.8 GHz, すなわち, $2.8+0.8(i-1)$ ($i=1, 0, 1, 2, \dots, 31$)を考えることにし, 以降の検討では, 比較のために, $f_{32}=27.6$ GHz についても特性を見ることにする.

[4] $P_{sa}=0$ dBm (平均)以上の伝送特性: 特性をよくする方法として, 光送信電力を増大させることも考えられる. これによる効果をクリップ送信方式・方法 3 を用いて評価した. その結果を図 8 に示す. 図 8 より, 光送信電力 $P_{sa}=4$ dBm(平均)にすれば, $f_{31}=26.8$ GHz でアイ開口率が 15%程度, $f_{32}=27.6$ GHz で 10%程度改善されることが分かる. 特に, 最大周波

数の $f_{31} = 26.8 \text{ GHz}$ のときのアイパターンを図 9 に示す。

以上の 20km 同一伝送距離の評価結果により、サブキャリア周波数 $2.8+0.8(i-1)$ ($i=1, 0, 1, 2, \dots, 31$) とし、光送信電力 $P_{sa}=0 \text{ dBm}$ (平均) では、サブキャリア周波数が最大周波数の $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ の特性に余裕はないが、ビット誤りは発生しない。 $P_{sa}=4 \text{ dBm}$ (平均) とすれば、全てのサブキャリア周波数に対して、アイ開口率 45% 以上の安定した伝送特性が得られることが分かる。

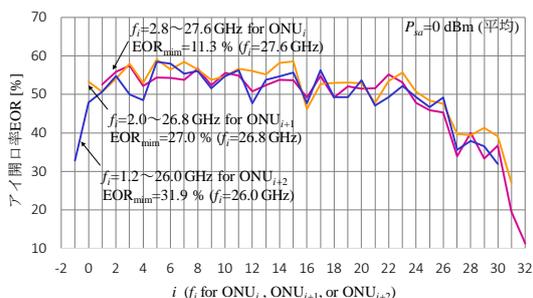


図 7 サブキャリア周波数に対するアイ開口率(クリップ送信方式・方法 2)

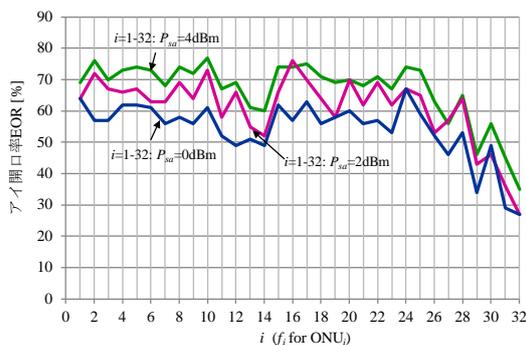
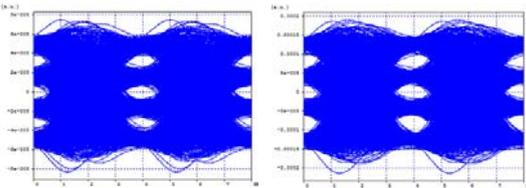


図 8 光送信平均電力に対するアイ開口率特性(クリップ送信方式・方法 3)



(a) $P_{sa}=0 \text{ dBm}$ (EOR 27%) (b) $P_{sa}=4 \text{ dBm}$ (EOR 45%)

図 9 $f_{31}=26.0 \text{ GHz}$ の $P_{sa}=0, 4 \text{ dBm}$ のアイパターン

③ 2~21km 異なる伝送距離の評価結果と考察

ONU 32 台と OLT の伝送距離が図 10 のように 2 km~21 km で異なる SDM-PON の評価結果を示し、考察を加える。クリップ送信方式の 3 つの方法はほぼ同様の結果なので、ここでは方法 3 について述べる。また、 ONU_i に対しサブキャリア周波数 $f_i=2.8+0.8(i-1)$ ($i=1, 2, \dots, 32$) として評価した。

光送信電力 P_{sa} (平均) を次の 3 通りの場合で評価した。(i) ONU 32 台全てに対して $P_{sa}=4 \text{ dBm}$ の場合。(ii) $\text{ONU}_1 \sim \text{ONU}_{16}$ に対して $P_{sa}=0 \text{ dBm}$, $\text{ONU}_{17} \sim \text{ONU}_{32}$ に対して $P_{sa}=6 \text{ dBm}$ の場合。(iii) $\text{ONU}_1 \sim \text{ONU}_{16}$ に対して $P_{sa}=4 \text{ dBm}$, $\text{ONU}_{17} \sim \text{ONU}_{32}$ に対して $P_{sa}=6 \text{ dBm}$ の

場合。このときのアイ開口率(EOR)を図 11 に示す。図 11 より、(i)の場合、 $\text{ONU}_1 \sim \text{ONU}_{30}$ ($f_1=2.8 \text{ GHz} \sim f_{30}=26.0 \text{ GHz}$) では $\text{EOR}=42\% \sim 81\%$ となり符号識別上余裕のある特性といえる。しかし、距離が 21 km となる ONU_{31} , ONU_{32} ($f_{31}=26.8 \text{ GHz}$, $f_{32}=27.6 \text{ GHz}$) では、各々 $\text{EOR}=29\%$, 20% と厳しくなり、あまり余裕がない。ただし、 ONU_{32} 台全てに対して、 2×10^4 ビットの送信信号と受信信号をビットごとに照合して、ビット誤りが無いことを確認している。前述のように、最大周波数として $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ を考えればよいので、最悪の EOR は 29% である。(ii)の場合、 ONU_{16} が最も厳しく $\text{EOR}=38\%$ である。これは、 $P_{sa}=0 \text{ dBm}$ の ONU_{16} (12km) の信号がサブキャリア周波数の隣接する $P_{sa}=6 \text{ dBm}$ の ONU_{17} (13 km) の信号の影響を受けたと考えられる。(iii)の場合では、 ONU_{31} , ONU_{32} ($f_{31}=26.8 \text{ GHz}$, $f_{32}=27.6 \text{ GHz}$) について、各々 $\text{EOR}=45\%$, 33% であり、 $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ までを考えればよいので、余裕のある特性が得られる。 $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ に対する(i), (iii)の場合のアイパターンを図 12 に示す。

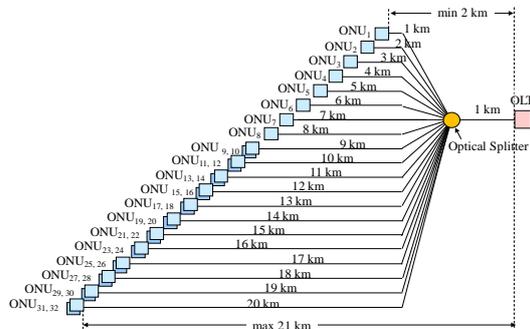


図 10 ONU32 台に対する異なる伝送距離条件

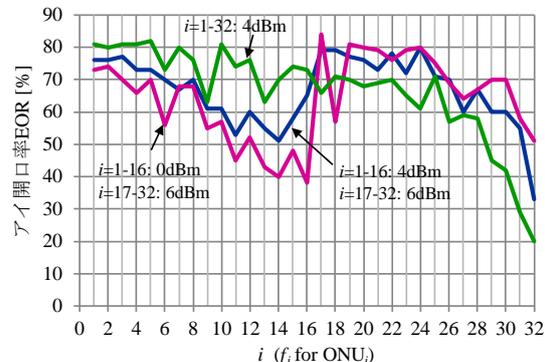
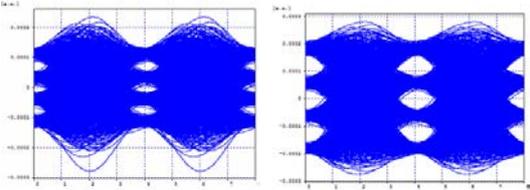


図 11 光送信平均電力に対するアイ開口率特性(クリップ送信方式・方法 3)



(a) (i)の場合 (EOR 29%) (b) (iii)の場合 (EOR 58%)

図 12 21km, $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ のアイパターン

以上の結果、送信電力を ONU 一律にする場合、 $P_{sa}=4 \text{ dBm}$ (平均) では $f_{31}=26.8 \text{ GHz}$ のとき $\text{ERR}=29\%$ で、 f_{31} より低い周波数のとき $\text{EOR}=40\%$ 以上で伝送は可能である。 $P_{sa}=6$

dBm (平均)では、より安定した特性が得られる。ここで、送信電力は低い方が望ましいので、距離に応じて適切に送信電力を変更するのが有効である。20 km 同一距離の場合、光送信電力 $P_{sa}=4$ dBm (平均)であれば全ての ONU で EOR=45%以上となることが分かっているので、距離 21 km に対して $P_{sa}=4$ dBm (平均)を割り当て、距離 L [km]に応じて $P_{sa}=4.0-0.34 \times L$ [dBm]となるように光送信電力を制御することが有効である。すなわち、SDM-PON にレンジング機能を導入し、距離に応じて光送信電力を変更することが有効である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 28 件)

- ① 竹浦裕生, 上田裕巳, “クリップ送信方式・BPF 法を用いた SDM-PON の上り伝送特性,” 2017 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-47, 2017 年 3 月 25 日, 名城大学, 天白キャンパス (愛知県名古屋市).
- ② 横谷温子, 上田裕巳, “クリップ送信方式・BPF 遅延振幅反転加算法を用いた SDM-PON の上り伝送特性,” 2017 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-46, 2017 年 3 月 25 日, 名城大学, 天白キャンパス (愛知県名古屋市).
- ③ アディバ ビンティ マズワ, 栗山宜巳, 上田裕巳, “高速応答と高安定特性を有する 10 Gbps 光バースト受信部の構成法—2 つの伝達関数の自動切り替え方式と回路構成法—,” 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2016-121, 2017 年 2 月 23 日, 彦根勤労福祉会館 (滋賀県彦根市).
- ④ Hiromi Ueda, "Transmission Performance for SDM-PON Using Biased Signal Sending Scheme," The 31st International Conference on Information Networking (ICOIN 2017), January 12, 2017, Da Nang, Vietnam.
- ⑤ ダルハー ブヤンジャラガル, 上田裕巳, “SDM-PON におけるバイアス送信方式による上り伝送特性,” 電子情報通信学会 通信方式研究会, CS2016-23, 2016 年 7 月 8 日, 平良港ターミナルビル (沖縄県宮古島).
- ⑥ Adibah Binti Mazwar, Takashi Kuriyama, and Hiromi Ueda, "10 Gbps Optical Burst Mode Receiver with Fast Response and High Stability," IEEE International Conference on Communications (ICC 2016), CQRM, May 24, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia.
- ⑦ ダルハー ブヤンジャラガル, 栗山宜巳, 上田裕巳, “SDM-PON におけるバイアス送信方式とクリップ送信方式の光電力評価,” 2016 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-41, 2016 年 3 月 17 日, 九州大学 伊都キャンパス (福岡県福岡市).
- ⑧ ダルハー ブヤンジャラガル, 上田裕巳, “バイアス送信方式を用いた ONU 32 台に対する上り SDM-PON の伝送特性,” 2016 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-40, 2016 年 3 月 17 日, 九州大学 伊都キ

ャンパス (福岡県福岡市).

- ⑨ 小俣祐次, 上田裕巳, “クリップ送信方式 / 一括遅延振幅反転加算法による ONU32 台上り SDM-PON の伝送特性,” 2016 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-39, 2016 年 3 月 17 日, 九州大学 伊都キャンパス (福岡県福岡市).
- ⑩ 森山雅仁, 上田裕巳, “クリップ送信方式 / BPF 遅延振幅反転加算法による ONU32 台上り SDM-PON の伝送特性,” 2016 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-38, 2016 年 3 月 17 日, 九州大学 伊都キャンパス (福岡県福岡市).
- ⑪ 柴田真志, 小林遼哉, 上田裕巳, “OFDM-PON における伝送特性—10Gbps 下り方向,” 電子情報通信学会, 通信方式研究会, CS2015-62, 2015 年 12 月 3 日, 神戸大学 (兵庫県神戸市).
- ⑫ 清水沙紀, 上田裕巳, “SDM-PON における上り伝送特性—波長間隔 200GHz, サブキャリア周波数間隔 1GHz の場合,” 電子情報通信学会, 通信方式研究会, CS2015-46, 2015 年 11 月 12 日, ホテル大雪 (北海道上川郡).
- ⑬ Hiromi Ueda, and Toshinori Tsuboi, "Transmission Performances of SDM-PON Using Clipped Signal Sending Scheme," 10th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2015), SS-3-2, August 5, 2015, Colombo, Sri Lanka.
- ⑭ 柴田真志, 上田裕巳, “OFDM-PON における下り側の伝送特性,” 2015 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-58, 2015 年 3 月 13 日, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市).
- ⑮ 清水沙紀, 上田裕巳, “SDM-PON における異なる伝送距離の 24 Gbps 伝送特性,” 2015 年電子情報通信学会 総合大会, B-8-55, 2015 年 3 月 13 日, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市).
- ⑯ Hiromi Ueda, and Toshinori Tsuboi, "Subcarrier Digital Modulation based Passive Optical Network Using Clipped Signal Sending Scheme," IEEE International Conference on Communications (ICC 2014), ONS, June 12, 2014, Sydney, Australia.
- ⑰ 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 (広島県広島市).

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 : 8 0 3 6 7 2 0 0