

QPSK 方式を用いた光アクセスにおける 伝送ペナルティの評価

2020SC048:森 雄大 2020SC042:松久 匠

指導教員:奥村 康行

1 はじめに

現在, FTTH(Fiber To The Home)という光ファイバを用いた高速インターネットサービスが普及している. そこで, 多くの通信事業者は, 単一の OLT(Optical Line Terminal)に光スプリッタで通信路を多重・分岐させることによって, 複数の ONU(Optical Network Unit)を接続した PON(Passive Optical Network)システムを利用している. その中で, 光アクセスシステムと映像配信システムを共存化させるといったシステムが注目を集めている. 光強度や伝送距離の拡大に伴う伝送ペナルティの影響を分析し, 上記システムにおける光通信をさらに長延化させていくことが強く見据えられている. 本研究では, 既存の変調方式を用いたシステムにおける伝送ペナルティを分析することにより, その有用性を検証する.

2 システム共存に関する先行研究[1]

本研究では, 先行研究で利用されている共存化システム[1]を参考にした. 通信回路構成としては, GE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)及び 10G-EPON(10Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)といった光アクセスシステム, RF(Radio Frequency)-Video といった映像配信システムを共存させたものを扱っていた. また, 本研究では, OLT から ONU への下り方向の通信を扱うものであり, 図 1 に先行研究における共存化システムの構成図を示す.

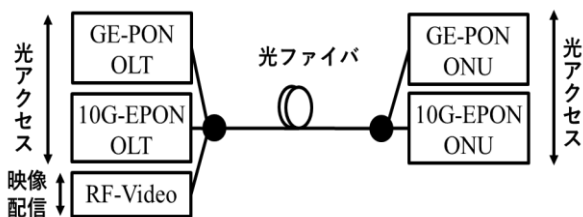


図 1 共存化システムの構成図[1]

先行研究では, 上記の 3 システムの共存化システムにおける各システムの干渉による伝送ペナルティの影響を光ファイバに入射させる光強度や光ファイバ長を変化させることにより評価していた. 伝送ペナルティの評価指標としては, 以降に示す波長分散やクロストークによる信号特性の劣化が挙げられる.

光ファイバを用いた信号伝送では, 異なる波長の光において伝送速度の違いが原因として干渉が起こる. この際に, 送信信号と受信信号との間に遅延が生じるような現象を波長分散という. また, ある伝送路における通信を考えると, 他の伝送路からの波長の介入が発生することがある. この際の信号品質の劣化を引き起こす現象をクロストークという. この現象は, 伝送路が隣接して配置されていることが原因として発生することが多い.

先行研究における結果として, 波長分散の影響が支配的な要因となっていて, クロストークの影響は限りなく小さいものとなっていることがわかっている.

3 シミュレーション

本研究の主目的としては, 前述した共存化システムと同等の通信環境で QPSK 信号を再現し, 波長分散やクロストークの影響を分析していくことにある. また, 一般的に利用されていない波長帯における BER 評価を行うことによって, 実際に利用可能な波長帯を検討することにある.

QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)変調技術とは, 搬送波の位相を切り替えることによって信号を区別して伝送する PSK(Phase Shift Keying)といったデジタル変調方式の 1 つであり, 2ビットのデジタル信号を区別して伝送することが可能である. この変調方式の利点としては, シミュレーションの値と理論値との比較がしやすいことが挙げられ, 通信システムとしての妥当性を十分に担保できるために, この変調方式を採用した. 本研究のシミュレーションで扱う QPSK 信号におけるグレイコードの割り当てを図 2 に示す.

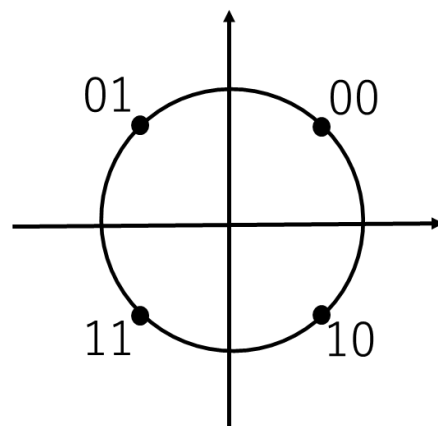


図 2 QPSK 信号におけるグレイコードの割り当て

3.1 電気・光変換回路における伝送確認

まずは、ガウス雑音を入れていない状態の電気・光変換回路において、アイパターン及び信号スペースダイアグラムを表示させるシミュレーションを行うことにより、QPSK 信号が理想的な形で伝送できることを確認した。その上で、ガウス雑音を入れた状態の電気・光変換回路において、様々な波長帯を用いて誤り率を表す指標の BER (Bit Error Rate) を測定するシミュレーションを行い、理論値との比較を行うことにより、実際に通信システムとして利用可能なものであるかを考察した。シミュレーション環境には MATLAB 連携させた OptSim のを利用して、QPSK 変復調時の処理及び BER の算出処理を MATLAB、その他の回路における処理を OptSim で行っている。回路構成を全体図、OLT 側及び ONU 側に分けて図 2 に示す。また、シミュレーション条件の詳細を表 2 に示し、観測できたアイパターン及び信号スペースダイアグラムを光ファイバ長ごとに分けて図 3, 4 に示す。

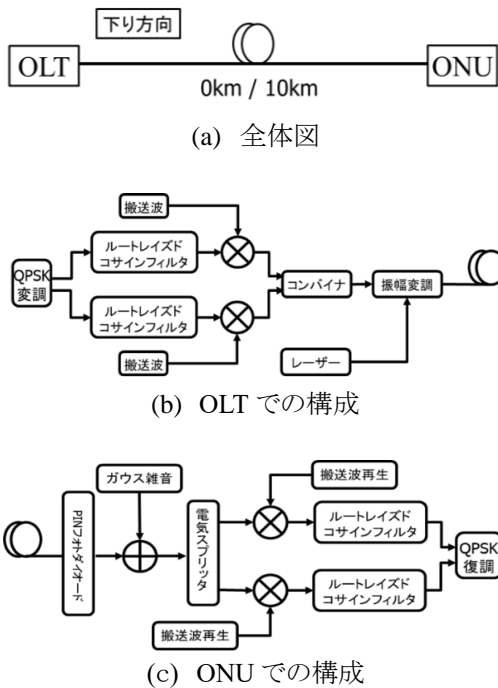


図 2 電気・光変換回路の回路構成

表 1 シミュレーション条件

シミュレーション内容	条件
ユーザ速度	1 Gbps
ONU 台数	1 台
シンボルレート	0.5 Gsps
光ファイバ長	0 km / 10 km
光波長	1550 nm
光周波数	199.86 THz
搬送波周波数	10 GHz
フィルタ帯域幅	0.5 GHz
ロールオフファクタ	0.5

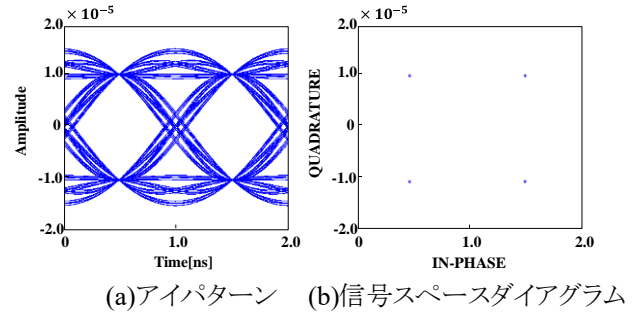


図 3 光ファイバ 0km における伝送特性

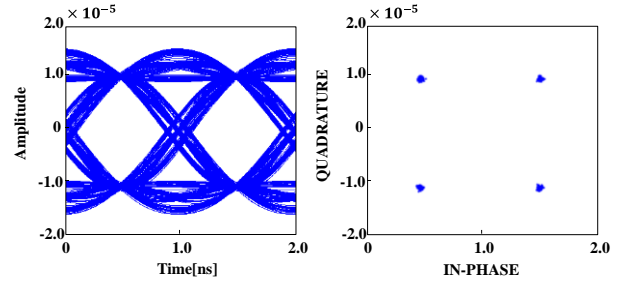


図 4 光ファイバ長 10 km における伝送特性

図 3, 4 より、光ファイバ長 0 km の場合に比べて、光ファイバ長 10 km におけるアイパターンと信号スペースダイアグラムには、多少の滲みが生じていることが確認できた。そのために、光ファイバ長を伸ばしていくほど信号の乱れも大きくなって行くことが考えられる。そのために、光ファイバに通すと、波長分散の影響が生じていくことが考察できる。本節では、ガウス雑音を入れていない状態で QPSK 信号を理想的な形で伝送できることが確認できた。次節では、ガウス雑音を入れた状態において考察を進める。

3.2 様々な波長帯域における BER の測定

次に、ガウス雑音を入れた状態で電気・光変換回路において BER を算出するシミュレーションについて説明する。BER は信号と雑音との電力比を表す値である SNR (Signal to Noise Ratio) に基づいて BER の理論値[2]と比較しながら計測を行った。今回のシミュレーションでは、1545nm, 1570nm, 1590nm の 3つの波長で、0km, 10km, 20km の 3つの光ファイバ長を扱う。全体図の回路構成を図 5 に示す。ただし、OLT 側及び ONU 側の回路構成は図 2 と同様のため省略している。シミュレーション条件の詳細を表 2 に示す。また、観測できた BER のグラフを光ファイバ長ごと分けて図 6~8 に示す。

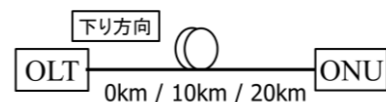


図 5 ガウス雑音を入れた電気・光変換回路の回路構成

表2 シミュレーション条件

シミュレーション内容	条件
ユーザ速度	1 Gbps
ONU 台数	1 台
シンボルレート	0.5 Gbps
光ファイバ長	0 km / 10 km / 20 km
光波長	1545 nm / 1570 nm / 1590 nm
光周波数	199.86 THz
搬送波周波数	10 GHz
フィルタ帯域幅	0.5 GHz
ロールオフファクタ	0.5

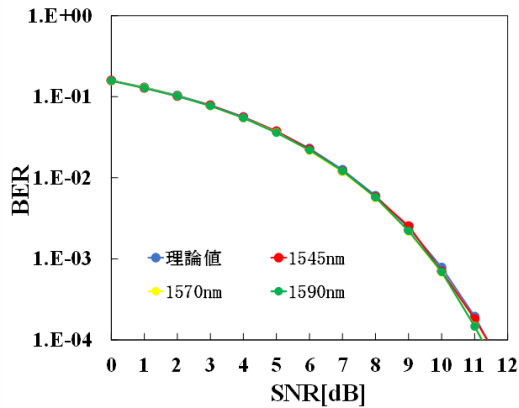


図6 光ファイバ長 0 km における BER

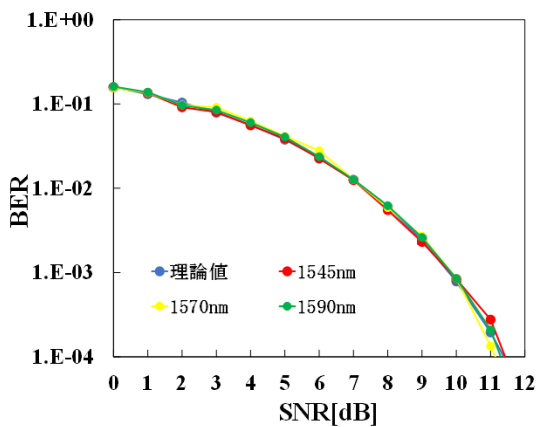


図7 光ファイバ長 10 km における BER

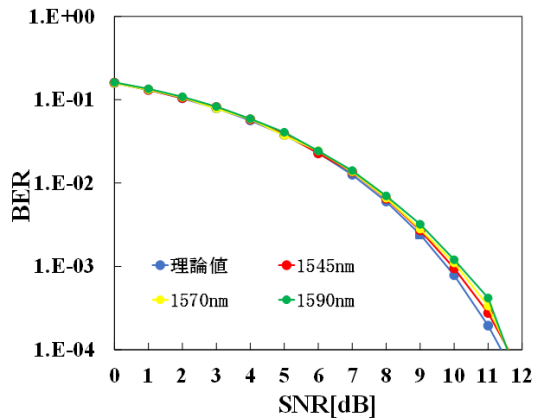


図8 光ファイバ長 20 km における BER

波長分散の影響が 10km より短いファイバ長では、あまり見られないが 20km では、影響が強くみられる。

3.2 QPSK 信号伝送における光スペクトル解析

QPSK 信号伝送における電気スペクトル、アイダイアグラム、信号スペースダイアグラム、光スペクトルを解析し、BER の値を算出するシミュレーションを行うことにより、波長分散による影響を検討した。回路構成を簡略的に表すと、OLT 側では 3.1 節の図 3 の(a)と同様の回路構成になり、ONU 側では図 3 の(c)ようになる。また、シミュレーション条件の詳細を表 3 に示し、OLT 側の電気スペクトル、ONU 側の電気スペクトル、信号スペースダイアグラムとアイパターンを図 9~13 に示す。また観測できた BER を図 14 に示す。

表3 シミュレーション条件

シミュレーション内容	条件
ユーザ速度	1 Gbps
ONU 台数	1 台
シンボルレート	1.0 Gbps
光ファイバ長	0 km / 5km / 10 km / 15km / 20 km
光波長	1570 nm
光周波数	199.86 THz
フィルタ帯域幅	1.0 GHz
ロールオフファクタ	1.0

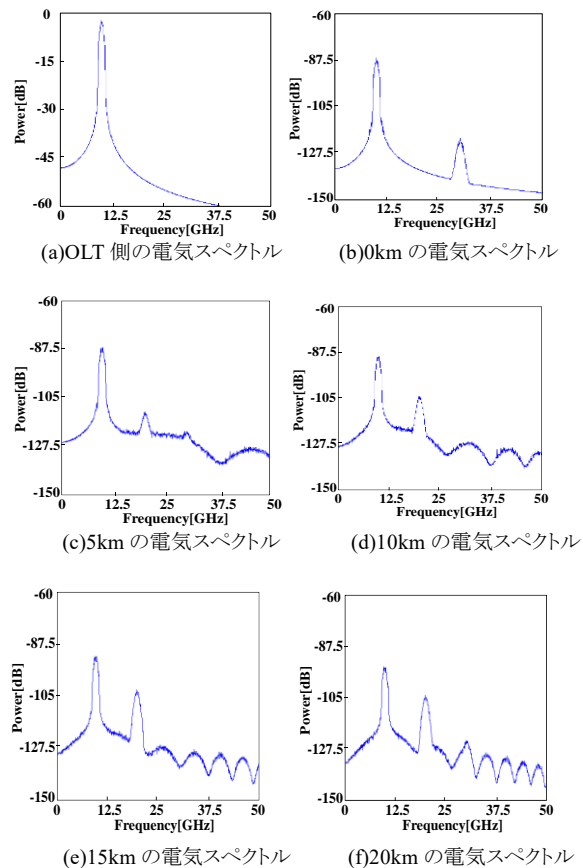


図9 電気スペクトル

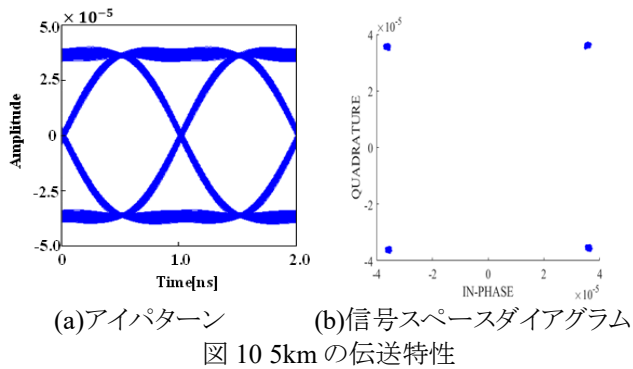


図 10 5km の伝送特性

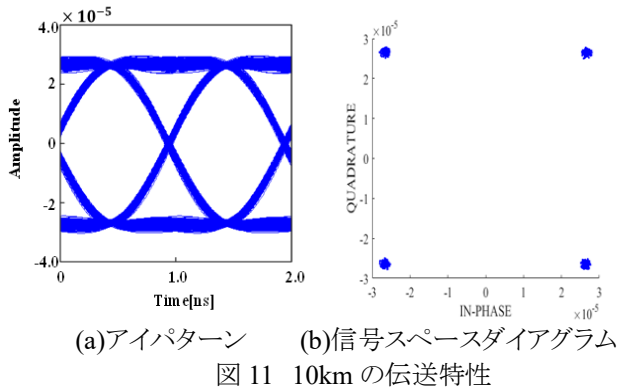


図 11 10km の伝送特性

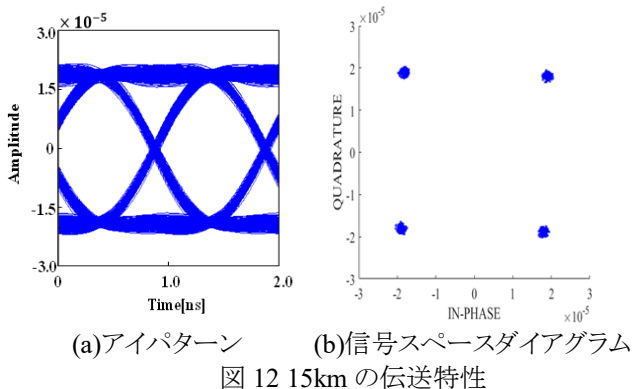


図 12 15km の伝送特性

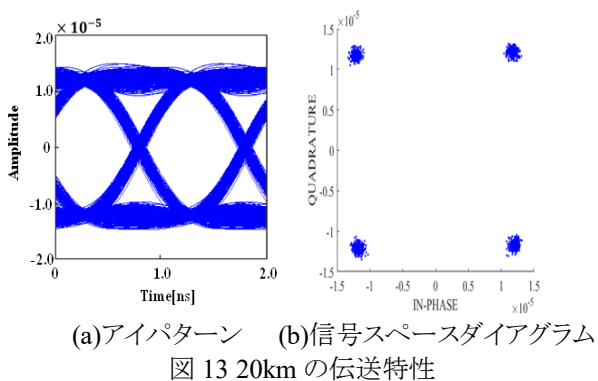


図 13 20km の伝送特性

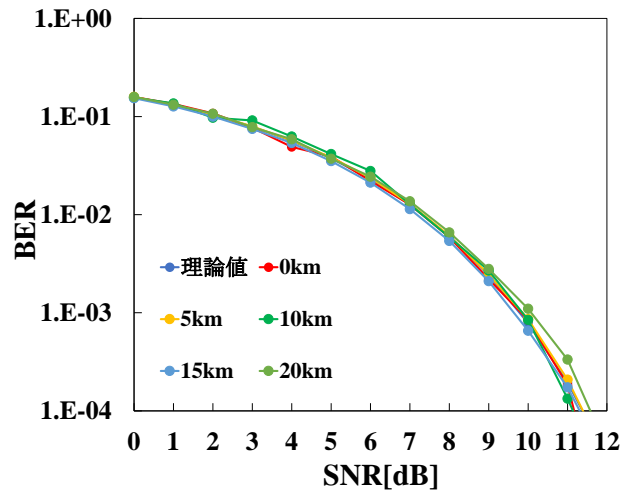


図 14 複数の光ファイバ長における BER

図 9 の電気スペクトルを見ると、まず、OLT 側の電気スペクトルと ONU 側の電気スペクトルで ONU 側で大きく電力が減衰していることがわかり、伝送距離を延ばすほど波長分散の影響が強くなり、電力も減衰していることがわかる。またスペクトルも乱れることがわかった。

図 10～13 の伝送特性をみると、5km のときには、アイパターン、信号スペースダイアグラムににじみが生じていないが、伝送距離を延ばすほど、にじみが生じてきており、20km になると波長分散の影響が強くなって、伝送特性に大きくにじみが生じていることがわかる。

図 14 の BER を見ると、0km、10km では、波長分散の影響があまり見られなかった。15km 以上になると、波長分散の影響が強くみられることがわかる。10km のときの SNR が 3,4,5,6 のとき理論値とずれているのは、とるビット数が足りていなかったからと考えられる。

4 おわりに

本研究では、波長分散による伝送ペナルティの影響について分析した。今回は、一般的に利用されていない波長帯 1545nm、1570nm、1590nm で光ファイバ長を延ばすほど、波長分散の影響が強くなることがわかった。今後の課題として、クロストークの影響を分析していくことが挙げられる。

参考文献

- [1] 原一貴, 田口勝久, 谷口友宏, 西原普, 浅香航太, 鈴木謙一, 新居丈司, 大高 明浩, “1G,10G,NG-PON2,及び映像配信システム共存下における線形/非線形クロストークの影響検討, 信学技報, vol. 117, no.156, CS2017-28, pp. 77-82, Jul. 2017.
- [2] 神谷幸宏, “MATLAB によるデジタル無線通信技術,” コロナ社, 東京, 2009.