

ラマン増幅を用いた PSK 光アクセスの 伝送特性に関する研究

2019SC001 青木陸徒

指導教員：奥村康行

1 研究背景

現在、私たちが使用している光アクセスネットワークでは、人口密度の高い地域のユーザを効率よく収容するためにパッシブダブルスター (PDS) 型のトポロジが採用されている。光アクセスネットワークにおける通信量は、スマートフォンや IoT 機器などの普及によって年々増加している。参考文献[1]では、世界人口に占めるネットワークのユーザ数が 2018 年から 2023 年までに 51% から 66% までに増加し、1 人あたりのデバイス数および接続数の平均は 2.4 から 3.6 までに増加するとされている。このことからトラフィックが日々増加し続けていることがわかる。また、技術の発展によって信号の送受信に伴う変調方式が変わりつつある。従来の方式は OOK (On Off Keying)、新しい方式は PSK (Phase Shift Keying) となる。トラフィックの増大に対応するためには PSK を用いたうえで収容ユーザ数を最大化し、より効率よくネットワークを使用できる状態にする必要がある。

2 先行研究と技術課題

技術課題についてと自分の研究と先行研究との差異について述べる。

2.1 技術課題

OLT (Optical Line Terminal) は通信局側に設置され、ONU (Optical Network Unit) は各家庭などに設置される。これらの装置は光ファイバによって接続されている。光ファイバのスプリッタによって分岐した時、光ファイバの伝送路長を長くしたときに ONU の受信電力が低下するという問題があり、ネットワークの収容ユーザ数を増やすにはこの問題を解決する必要がある。

2.2 先行研究との差異

先行研究[2]は、図 1 ラマン増幅を適用したネットワークのように光ファイバの分岐点にラマン増幅を用いることによって ONU の受信電力の低下を補うという研究である。

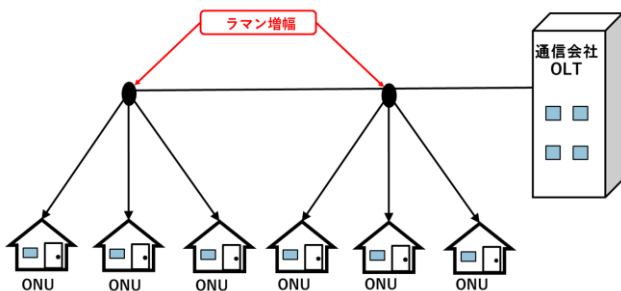


図 1 ラマン増幅を適用したネットワーク

本研究では、ラマン増幅を適用したうえで従来の変調方式である OOK ではなく新しい変調方式である PSK の一つである QPSK をもちいて伝送特性を計測する。OOK では 1 つのシン

ボルで 1, 0 の 1bit の信号を送信する。PSK は位相を複数のパターンに分けて一度に伝送できるデータを多くできる。Q-PSK の場合、1 つのシンボルで 00, 10, 11, 01 の 2bit の信号を送信することができる。そのため、OOK よりも Q-PSK のほうが一度に多くの情報を送信できる。ラマン増幅は信号光が通過する光ファイバに、合波器を通じて励起光源から高出力のレーザを入射し信号光を増幅させるというものである。光ファイバが長ければ長いほど利得が得られる。本研究は、QPSK を用いた際にラマン増幅を適用した場合の特性改善効果を調べるために行う。

3 シミュレーション

OptSim を用いて Q-PSK を用いた送信部と受信部を構成し、受信側の信号スペースダイアグラムの振幅の大きさをみて受信電力が低下を確認した。

3.1 シミュレーション条件

ONU、OLT の構成を図 2、システム構成を図 3 に示す。また、シミュレーション条件を表 1 に示す。

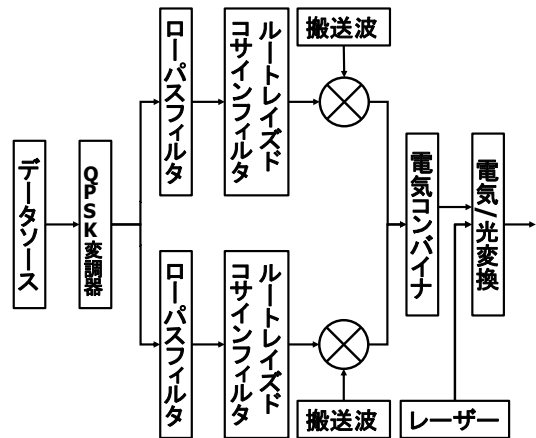


図 2 ONU の構成

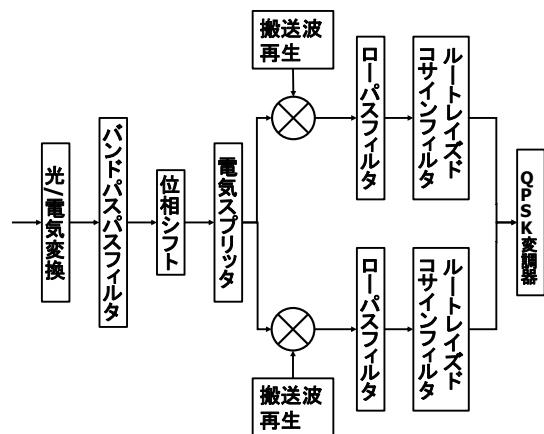


図 3 OLT の構成

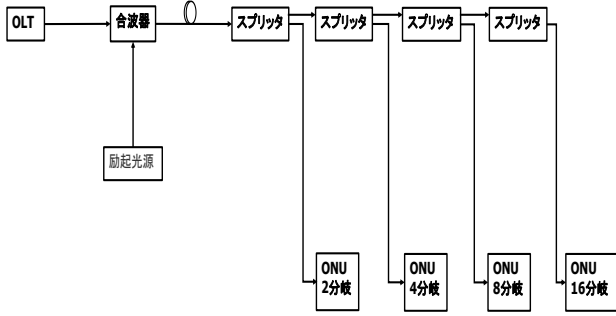


図4 伝送路の構成

今回のシミュレーションはラマン増幅を適用しなかった際と適用した際の伝送特性を調べるために行う。信号スペースダイアグラムの振幅の大きさが大きくなるほど受信電力が大きく、小さくなるほど出力電力が小さくなる。信号スペースダイアグラムの振幅の大きさが、十分に小さくなることを確認するために、スプリッタを4つ用いて光ファイバを最大で16分岐させた。今回のシミュレーションでは送信部から受信部までの光ファイバの距離を5km, 10km, 15kmの3つの場合で計測する。

表1 シミュレーション条件

通信システム	帯域系
データ変調方式	Q-PSK
伝送路長	5,10,15Km
基本光波長	1550nm
ビットレート	5Gbps
変調周波数	2.5GHz
ラマン増幅	ありとなし両方で行う
分岐数	最大16
測定ポイント	PSK復調器

3.2 シミュレーション結果

ラマン増幅を用いた場合と用いなかった場合にスプリッタで光ファイバを最大で16分岐させた伝送路を構成した場合の受信部の信号スペースダイアグラム、スプリッタや光減衰器によって光の受信電力を低下させたときの誤り率を計測した。受信部の信号スペースダイアグラムが、伝送路が分岐することで小さくなること、ラマン増幅によって増大することを示すために、図4に光ファイバが15kmで分岐していない時の信号スペースダイアグラム、図5に光ファイバが15kmで8分岐した時の信号スペースダイアグラム、図6にQPSKを用いた際の誤り率特性、表2にラマン増幅による増幅率と特性改善効果を示す。

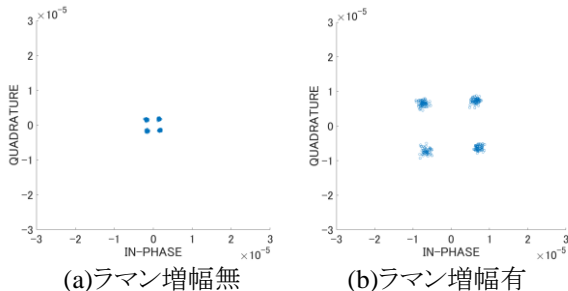


図4 分岐していない受信部の信号スペースダイアグラム

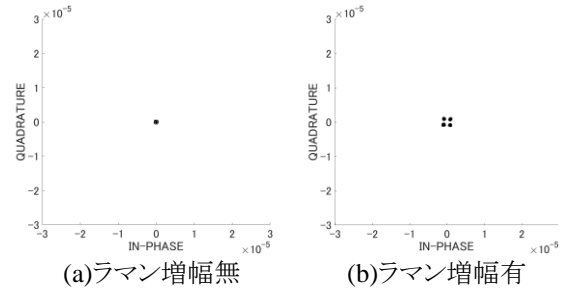


図5 8分岐した時の信号スペースダイアグラム

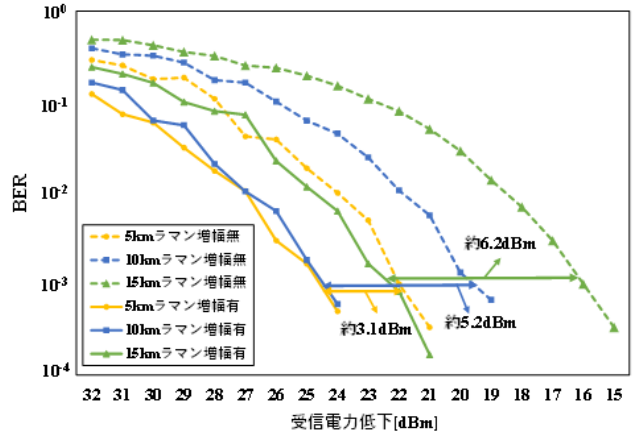


図6 QPSKを用いた際の誤り率特性

表2 ラマン増幅による増幅率と特性改善効果

	増幅率	特性改善効果
5km	約3dB	約3.1dBm
10km	約5dB	約5.2dBm
15km	約6.24dB	約6.2dBm

ラマン増幅を適用すると増幅率は、光ファイバが5kmの時は約3dB, 10kmの時は約5dB, 15kmの時は約6.24dBとなった。また、ラマン増幅を適用すると誤り率の改善率は、光ファイバが5kmの時は約3.1dB, 10kmの時は約5.2dB, 15kmの時は約6.2dBとなった。

4 おわりに

ラマン増幅を適用しなかった場合と適用した場合のシミュレーションを行った。結果として、ラマン利得は光ファイバが5kmの時は3dB, 10kmの時は5dB, 15kmの時は6dB程増加した。増幅率も同等の値を得ることができ、誤り率の改善率もほぼ同等の値を得ることができた。以上より、QPSKを用いてラマン増幅を適用することは有効であることが確認できた。

参考文献

- [1] Cisco Annual Internet Report - Cisco Annual Internet Report Highlights Tool,” Cisco, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/air-highlights.html>, accessed September 16, 2022.
- [2] 五十嵐 稔, 原 一貴, 胡間 遼, 可児 淳一, 吉田 智暁, ” 分布ラマン増幅および不等分岐光スプリッタを用いたバス型光アクセスネットワークの収容ユーザ数最大化に関する検討,” 信学技報, CS2021-70, pp.13-18, Jan.2022.