



Title	Time-Interleaved Multi-Channel and Multi-Format Signal Regeneration Based on Four-Wave Mixing in a Fiber
Author(s)	Nor, Shahida Mohd Shah
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/59172">https://hdl.handle.net/11094/59172</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	ノル シャヒダ モハマド シャー Nor Shahida Mohd Shah
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 5 5 2 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	Time-Interleaved Multi-Channel and Multi-Format Signal Regeneration Based on Four-Wave Mixing in a Fiber (ファイバ中の四光波混合を用いた時間インターリーブ複数チャネル・複数形式信号再生)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 井上 恭 (副査) 教 授 北山 研一 教 授 滝根 哲哉 教 授 小牧 省三 教 授 馬場口 登 教 授 三瓶 政一 教 授 鷲尾 隆 教 授 溝口理一郎 准教授 松本 正行

## 論 文 内 容 の 要 旨

This thesis presents my study on all-optical regeneration based on four-wave mixing (FWM) in a highly nonlinear fiber (HLNF) for time-interleaved multi-channel and multi-format signals. All-optical regeneration based on Kerr nonlinearity in a HNLf that works ultra-fast can be used to refine the shape of high bit-rate signals. However, simultaneous all-optical multi-channel regeneration in a nonlinear medium is quite challenging to realize due to nonlinear interchannel crosstalks. Another challenge is regeneration of phase-shift keying (PSK) signals. Regenerators designed for conventional on-off keying (OOK) signals are usually not suited for PSK signals due to introduction of phase distortion. It is expected in the future that OOK and differential PSK (DPSK) signals will be transmitted in a same fiber. All-optical regeneration that can process the multi-format signals simultaneously is desirable. In this thesis, simultaneous multi-channel and multi-format signals regeneration in a HNLf is demonstrated. FWM is used as signal reshaping, while, channels are time-interleaved to avoid crosstalk. The thesis consists of five chapters that are organized as follows:

Chapter 1 is the introduction of the thesis. A brief introduction of all-optical regeneration is given. Motivations and significance of the study are explained.

In Chapter 2, nonlinearities in fiber are reviewed. Principles and types of all-optical regeneration in general and FWM-based regeneration in particular are described.

In Chapter 3, simultaneous all-optical multi-channel return-to-zero (RZ) OOK signal regeneration based on second-order FWM in a single HNLf is studied. Interchannel crosstalk, especially cross gain saturation and interchannel FWM, is avoided by properly time-interleaving. A preliminary experiment for  $2 \text{ ch} \times 10 \text{ Gbit/s}$  signal shows simultaneous noise reduction of the two channels and good agreement with a numerical analysis. Numerical investigation on  $2 \text{ ch} \times 40 \text{ Gbit/s}$  operation using the parameters in the experiment shows that the regeneration can improve qualities of both channels. For a large channel number and a higher data speed, several parameters need to be adjusted to avoid interchannel crosstalks.

In Chapter 4, simultaneous amplitude-noise reduction of time-interleave-multiplexed OOK and DPSK

signals is experimentally studied. Signal amplitude is equalized based on saturation of four-wave mixing in a fiber, whereas the signal wavelength is unchanged and the signal phase is preserved. Investigation is done in a condition that degraded signal is input to a regenerator and the output is launched through a transmission fiber. Amplitude-noise reduction eliminates build-up of nonlinear noise during the transmission in favour of DPSK signal. OOK signal performance is also improved when zero level noise is not degraded.

In Chapter 5, an adaptive delay control to maintain time-interleaving condition required for multi-channel all-optical signal regeneration based on saturation of FWM is demonstrated. The delay control utilizes the optical power at a particular wavelength after the nonlinear fiber that is affected by interchannel FWM in the fiber. In an experiment for  $2 \times 10 \text{ Gbit/s}$  RZ-DPSK signals where the time separation between the input channels is intentionally changed randomly, the delay control works well and error free detection after transmission is obtained.

Finally, Chapter 6 draws the conclusions by summarizing the main results of the thesis. It also outlines future works that can be undertaken in this area.

## 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

基幹系通信網における情報伝送量は指数関数的な増大を続けており、それに対応するべく、光ファイバ通信の伝送容量を増大させる努力が続けられている。大容量システムにおいて、高速光信号を高い品質を保ったまま長距離にわたって伝送するためには、信号に加わる雑音を伝送途上で除去する光信号再生技術の適用が有効である。これまでに検討されてきた全光信号再生方式の多くは、単一波長、単一変調形式の信号を対象とするものであったが、今後は、多波長かつ位相変調を含む複数変調形式の信号を処理できる全光信号再生器の必要性が高まると予想される。

本論文は、光ファイバ中の非線形効果の一つである四光波混合を用いた複数波長チャネル・複数変調形式信号再生に関する研究の成果をまとめたものである。主な成果を要約すると次のようになる。

(1) ファイバ中の四光波混合において、信号光の電力を大きくしていくと、信号光、ポンプ光、およびアイドラ光間の電力移行の方向が変わり、出力信号電力が飽和する現象が生ずる。この効果を利用することによって、入力信号の振幅揺らぎを抑制する信号再生機能を実現できる。この効果に伴うポンプデプレッションは信号光パルス近傍のみに生ずるため、ポンプ光が連続光の場合、信号パルス列を時間インターリーブすることによって、1本のファイバと一つのポンプ光を用いて多チャネルの信号を独立に振幅再生することができる。本研究では、この多チャネル同時振幅再生効果を実験および数値シミュレーションで実証している。具体的には

i) 2チャネル×毎秒10ギガビットのOOK信号の再生実験を行い、両チャネルのパワーペナルティの低減を観測している。高次の四光波混合を用いることによって信号の消光比が改善されることを観測している。

ii) 信号パルス幅および非線形ファイバの分散スロープの値を最適化することによって、3チャネル×毎秒40ギガビットのOOK信号再生が可能なことを数値シミュレーションによって確認している。

iii) 毎秒10ギガビットのOOK信号およびDPSK信号の同時再生実験を行い、変調形式が異なる複数チャネルの同時振幅再生が可能であることを実証している。

(2) 伝送後の信号に対して時間インターリーブ多チャネル同時振幅再生を行うためには、時間インターリーブを適応的に行う必要がある。複数チャネルのパルスに時間重なりが生ずる場合に発生する四光波混合成分をモニタ信号として利用することを提案し、この四光波混合光の電力を最小化するようにチャネル間の時間遅延を制御することによって適応的な時間インターリーブングを達成できることを、2チャネル×毎秒10ギガビットのDPSK信号再生・伝送実験により実証している。

以上のように本論文は、光ファイバ中の四光波混合を用いた全光振幅再生に関する多くの有用な知見を与えており、情報通信工学ならびに非線形ファイバ光学の発展に大いに寄与するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。