

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360186

研究課題名（和文）

超高速非線形光信号処理のための強度揺らぎ補償に関する基礎研究

研究課題名（英文）

Study on Signal Intensity Stabilization for Ultra-fast Optical Signal Processing

研究代表者

小西 毅 (KONISHI TSUYOSHI)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90283720

研究成果の概要（和文）：光通信ネットワークでは、伝送、増幅、スイッチング等の処理により光信号の各ビット間に強度揺らぎが生じる。本研究では、この光信号の強度揺らぎの補償において、強度揺らぎ補償範囲の拡大および強度安定化の高精度化を目指し、その機能をもとにした高繰り返し信号に対する適用可能性、強度安定化の信号を後続の光信号処理に利用可能性の検討を進めた。その結果、40Gbpsの信号への対応（シミュレーション）および自己周波数シフト発生の安定化（実験）を実現し、これらの成果を論文および学会において発表した。

研究成果の概要（英文）：In optical communication networks, intensity fluctuation in optical signals is a critical issue through various processing such as transmission, amplification, switching. To solve this issue, we tried to improve performance of an optical limiter in dynamic range of fluctuation and compensation accuracy. In addition, we examined applicability to high repetition signal and nonlinear signal processing. As a result, we achieved a 40-Gb/s and highly accurate intensity limiting with a single Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) for low-power-consumption driving intensity limiting.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2011年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：超高速光学，光信号処理，応用物理，応用光学

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：フォトニックネットワーク，情報通信工学，先端的通信，先端機能デバイス，光スイッチ

1. 研究開始当初の背景

(1) 光通信ネットワークでは、伝送、増幅、スイッチング等の処理により光信号の各ビット間に強度揺らぎが生じる。これら光信号の強度揺らぎは信号の S/N 比を悪化させ、デ

ータの誤り率を増加させるため、補償を行う必要があった。さらに、光通信ネットワークには経路スイッチングやクロック抽出等に非線形信号処理が数多く採用されることが予測され、それらの信号処理によって生じる

より大きな強度揺らぎを補償することが求められていた。

(2) 光通信における光信号の強度揺らぎを補償するため、これまでさまざまな光強度揺らぎ低減技術が提案されてきていた。中でもファイバの非線形光学効果による強度依存スペクトルパターン変化とスペクトルフィルタリングを用いた手法は高速動作、安定動作、系の簡便性といった点で有力な手法であると考えられていたが、その強度揺らぎ補償範囲は報告されているもので3dB程度と限界があった

2. 研究の目的

本研究では、上述の光信号の強度揺らぎの補償において、強度揺らぎ補償範囲の拡大および強度安定化の高精度化を目的とした。従来の強度依存スペクトルパターン変化の最適化の研究がシミュレーションによる時間波形またはスペクトル分布の個別の解析を中心としたアプローチであるのに対し、本研究は、時間と周波数の両方に関係した変化を捉えることのできる時間一周波数分布を用いた独創的なアプローチとして位置づけられる。現在、ファイバ内での非線形光学効果の理解は、非線形シュレーディンガー方程式を用いた伝搬距離ごとの時間波形またはスペクトル分布の個別解析を中心としたアプローチが一般的である。一方、申請者は、リアルタイムな超高速時間一周波数分布の計測手法の研究を通して、瞬間瞬間の時間と周波数の両方に関係した多次元的な解析が光パルスの振る舞いを理解する上で非常に有効であることを経験してきた。そこで、本研究では、強度依存スペクトルパターン変化の最適化を目的として、時間一周波数分布による可視化を用いて時々刻々変化する超短光パルスの振る舞いの解析を活用して、この光信号の強度揺らぎの補償において、強度揺らぎ補償範囲の拡大および強度安定化の高精度化を目指し、その機能をもとにした高繰り返し信号に対する適用可能性、強度安定化の信号を後続の光信号処理に利用可能性の検討を進めることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 単純なバンドパスフィルタリングに対して最適なスペクトルパターン変化を得るために、計算機シミュレーションによる時間一周波数分布の変化の観察を用いたスペクトルパターン変化の強度依存メカニズムの

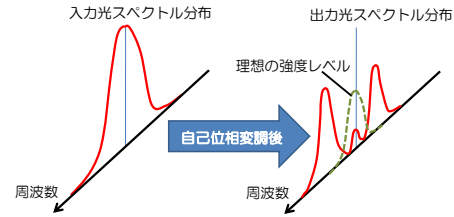


図1 自己位相変調による問題点

検証に基づく、自己位相変調現象の最適化制御を試みた。

具体的には、単純なバンドパスフィルタリングを用いた光信号の強度揺らぎの補償方法では、自己位相変調現象による入力強度の増加による中心周波数成分の減少を用いている。(図1) しかし、一般には中心周波数成分の減少の効果が強すぎるにより、自己位相変調現象後の出力光強度レベルが理想の強度レベルよりもはるかに小さくなってしまったために、対応可能な入力光強度レベルのダイナミックレンジが非常に狭くなってしまったという大きな課題を抱えている。そこで、対応可能な入力光強度のダイナミックレンジを飛躍的に拡大するために中心周波数成分の減少の効果を制御することが重要な課題となっている。そこで、時間一周波数分布表示のアシストによる解決法の抽出を試みた。

(2) 強度依存スペクトルパターンの実現可能なバリエーションおよびそれらに対応可能なスペクトルフィルタリング機能を検証する。両者の検証結果を互いにフィードバックさせることにより、光信号の強度揺らぎの補償における最適化を通じた強度揺らぎ補償範囲の拡大および強度安定化の高精度化を目指した。

具体的には、①入力信号に対するさまざまな波形整形後の強度依存スペクトルパターンの実データの蓄積、②さまざまな強度依存スペクトルパターンに対するスペクトルフィルタリングの最適化、③強度依存スペクトルパターン制御とスペクトルフィルタリングの統合を大きな検討項目とした。

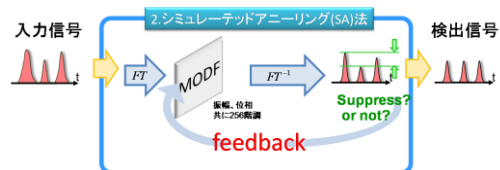


図2 スペクトルフィルタリングの最適化

4. 研究成果

(1) 自己位相変調現象の最適化制御による方法では、時間一周波数分布の変化の観察を用いたスペクトルパターン変化の強度依存メカニズムに基づき (図3), 入力時間波形の制御による安定した強度依存スペクトルパターン生成によるアプローチの検討および入力時間波形の制御による特徴的な強度依存スペクトルパターン生成によるアプローチの検討を進めた. (図4) その結果, 特に高精度化に関して, 安定した強度依存スペクトルパターン生成によるリミッタ機能が得られた. (図5) それらの検討結果を国際会議の招待講演などで発表した.

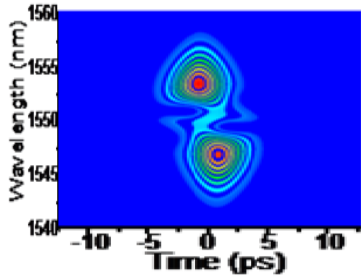


図3 時間一周波数分布観察

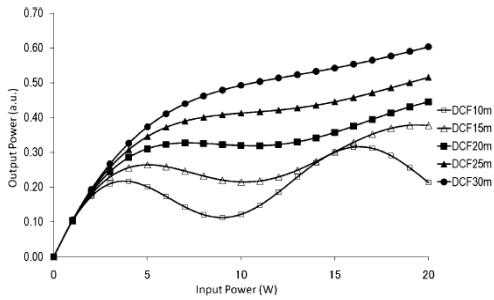


図4 最適化制御検討時の透過特性

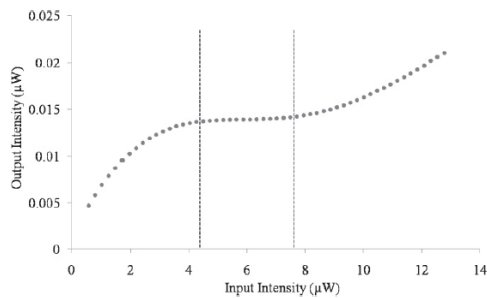


図5 最適化後の透過特性

(2) スペクトルフィルタリング機能の最適化については, 波長フィルタリングと強度依存スペクトルパターン生成の双方をバランスよく機能させることにより (図6), 強度揺らぎ補償範囲の拡大および強度安定化の高精度化を検討した. (図7)

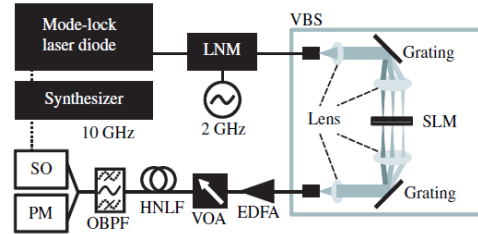


図6 検討用システム

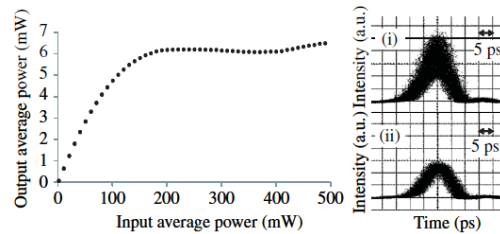


図7 高精度化後の透過特性

更に高いビットレートへの適用と接続する非線形光信号処理の安定化の検討を進めた. その結果, 特に 10Gbps を超える高ビットレートの信号に対する検討に関して, 40Gbps の信号に対するリミッタ機能をシミュレーション実験により確認した. (図8)

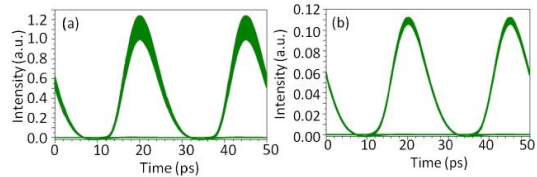


図8 40Gbps 信号に対するリミッタ効果 (左: 補償前, 右: 補償後)

また, 接続する非線形光信号処理として, 波長変換やスーパーコンティニューム光発生のための種光パルスの安定化の効果の検討を進め, 信号処理の安定化への適用可能性を明らかにした. 図9に波長変換に適用した実験結果の例を示す.

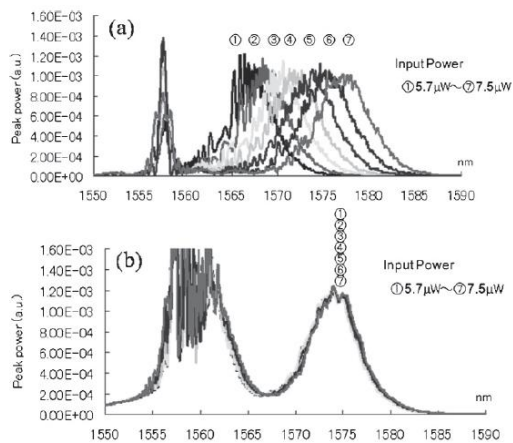


図9 非線形信号処理でのリミッタ効果
((a) : 補償前、(b) : 補償後)

入力強度によって大きく揺らいでいた補償前の変換波長が、補償後に安定していることがわかる。

本研究の成果より、当初の目的である対応可能な入力光強度のダイナミックレンジの飛躍的な拡大だけでなく、高繰り返し信号に対する適用可能性、強度安定化の信号を後続の光信号処理に利用可能であることなどを明らかにし、これらの成果を論文および学会において発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① K. Kawanishi, F. Drouet, K. Itoh, T. Konishi, "Highly Accurate Compensation Technique for 10-GHz Pulse Intensity Fluctuation Using SPM-Based All-Optical Intensity Limiter," *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, 24, 119-121 (2012).
- ② T. Konishi, K. Kawanishi, "Adaptive intensity stabilization of ultra-short optical pulse for optical measurement and metrology," *Proc of SPIE*, Vol.7849, 0H-1-6(2010).
- ③ K. Kawanishi, T. Konishi, H. Goto and K. Itoh, "Stabilized generation of wavelength conversion by using high-accurate self-phase modulation based all-optical limiter," *Optical*

Review, Vol.18, 124-127(2010).

- ④ T. Konishi, "Diversity of optical signal processing led by optical signal form conversion," *J. Phys.: Conf. Ser.*, Vol.20, 012013-1-2(2010).
- ⑤ H. Goto, T. Konishi, K. Itoh, "Simultaneous amplitude and phase modulation by a discrete phase-only filter," *Optics Letters*, Vol.34, 641-643(2009).
- ⑥ H. Goto, T. Konishi, K. Itoh, "Efficiency Improvement of Optical Pattern Recognition in Ultra-Fast All-Optical Intensity Equalizer," *Optical Review*, 16, 180-183(2009).

[学会発表] (計9件)

- ① 川西健太郎, 小西毅, "自己制御型光パルス強度揺らぎ補償技術によるスーパーコンティニューム光発生安定化に関する検討," *Optics & Photonics Japan 2011*, 2011年11月29日, 大阪大学.
- ② 川西健太郎, 小西毅, 伊東一良, "40-GHz光パルス列における自己位相変調の平衡状態を利用した低消費電力および高精度全光リミッタの検討," 電子情報通信学会2011総合大会, 2011年3月17日, 東京都市大学.
- ③ T. Konishi, K. Kawanishi, "Influence of Amplitude Distortion in Optical Code Decoding," 5rd International Workshop on OPS and OCDMA December 7, 2010 (Chengdu, China)
- ④ T. Konishi, K. Kawanishi, " Adaptive intensity stabilization of ultra-short optical pulse for optical measurement and metrology," *Photonics Asia 2010* October 19, 2010 (Beijing, China) .
- ⑤ T. Konishi, K. Kawanishi, "Stabilization of Wavelength Conversion Using High-Stable Optical Limiting Based on Self-Phase Modulation," 12th International Conference on Transparent Optical Networks June 29, 2010 (Munich, Germany) .
- ⑥ K. Kawanishi, T. Konishi, H. Goto, K. Itoh Study on stabilized generation of optical nonlinear effect by using highly accurate SPM - based all-optical

limiter," 7th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication April 6, 2010 Yokohama, JAPAN.

- ⑦ Tsuyoshi KONISHI," All Optical Analog-to-Digital Conversion: Principle and Recent Progress," The 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2009) October 8 - 10, 2009 Shanghai, China
- ⑧ Tsuyoshi KONISHI," Diversity of optical signal processing led by optical signal conversion," The 2009 Euro American Workshop on Information, Optics (WIO2009) July 20 - 24, 2009 Paris, France.
- ⑨ Tsuyoshi KONISHI," Advanced optical limiting function based on effective understanding of physical phenomena," The 11th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON2009), Tu.B1.1 June 28 - July 2, 2009 Azores, Portugal.

〔図書〕 (計 0 件)

特になし.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

特になし.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-photonics.mls.eng.osaka-u.ac.jp/mlsphpg/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 毅 (KONISHI TSUYOSHI)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 90283720

(2) 研究分担者

該当せず.

(3) 連携研究者

該当せず.