

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360182

研究課題名 (和文) 光信号歪みの 2 次元性に着目したアドホックな歪み補償に関する研究

研究課題名 (英文) Study on optical ad-hoc distortion compensation based on its 2-dimensionality

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：

本研究では、ネットワークの光化において伝送・処理後の光信号の信頼性を確保するために、光信号が被る様々な歪みの持つ時間および周波数の二次元性に着目して研究を行い、時々刻々変化するアドホックな歪みを持つ高いビットレートの光信号列に対する歪み補償に関する原理の確認に成功した。また、国内および米国における関連特許の受理により、権利化に成功するとともに、その独自性が国際的にも認められた。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2006 年度 | 4,000,000 | 1,200,000 | 5,200,000 |
| 2007 年度 | 4,800,000 | 1,440,000 | 6,240,000 |
| 2008 年度 | 5,700,000 | 1,710,000 | 7,410,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,500,000 | 4,350,000 | 18,850,000 |

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

フォトニックネットワークの実現を目指したネットワークの光化を更なる推進には、伝送・処理後の光信号の信頼性を確保するために、光信号が被る様々な歪みを補償する技術の開発が重要となる。特に複数パスのトラフィックエンジニアリングを必要とされるノードにおいて、集まる光パルスが経由する複数のパスはある範囲内で想定可能である。しかし、各到着パルスが実際に経由するパスは通信状況により時々刻々変化するため、各到着光パルスは時々刻々変化するアドホック

な歪みを持つことになる。エレクトロニクス技術による歪み計測・制御を利用している現在の歪み補償技術では、高いビットレートで変化するこのような歪みに対応することのできる従来技術は皆無であった。

2. 研究の目的

本研究課題全体の目的は、“時々刻々変化するアドホックな歪みへの対応が可能な歪み補償技術の開発”である。具体的な目的として、次の2つの項目を設定した。

(1) 柔軟な歪み補償の実現
 複数の歪みが時々刻々変化するアドホックな歪み信号の到着に対応を可能とする柔軟な歪み補償技術の確立を目指す。

(2) 高ビットレートの歪み補償技術の確立
 信号のビットレートの高速化とノードでのトラフィックの複雑化に伴う歪みの変化レートの高速化に対応可能な高ビットレートの歪み補償技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、次の相補的な全く新しい2つのアプローチによる検討を行った。図1に各研究アプローチの説明図を示す。

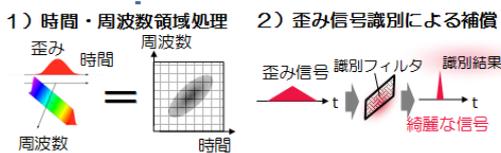


図1 研究アプローチの説明図

(1) アプローチ1：“2次元的な並列処理による光パルスの処理・制御”を特徴とする歪みを一意的に表現可能な時間一周波数領域で扱う方法をお検討した。任意歪みへの対応の実証とデバイスでの光損失の課題解決を念頭に研究を進めた。

(2) アプローチ2：“相関処理による信号識別＝歪み補償であることに着目”した点を特徴とする、現在のチャップドファイバブラッググレーティング (CFBG) 等の周波数フィルタ技術に付加的な並列処理を導入した方法を検討した。低光損失、低コスト実現の実証と、対応可能な歪み信号数の制限の課題解決を念頭に研究を進めた。

さらに、本研究では、目的達成のために、光損失、対応可能信号数の項目において相補的な特徴を持つ両アプローチの併用も視野に入れて、両アプローチの検討を同時並行して進めた。

4. 研究成果

(1) アプローチ1について

①基本原理：時間一周波数領域で歪みを補償する方法が任意の歪みへ対応できることを実験により実証した。図2に歪み補償の基本原則図を示す。ここでは、典型的な歪みとして波長分散を被った被補償光を考える。被補償光は非線形光学結晶におけるゲート信号との和周波発生過程により、各時間ごとに鉛直方向に振り分けられる。その後、回折格子を通過させることで、各波長成分が水平方向に振

り分けられる。その結果、図2に示すように、分散した被補償光を構成していた各波長成分

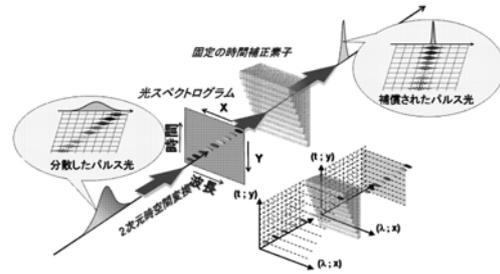


図2 歪み補償の基本原則 (アプローチ1)

り基準となる時間からの時間差によって決まる空間位置にそれぞれの時間差を伝播方向に保ったまま出力される。そのため鉛直方向に沿って基準となる時間からの時間差を補正するように設置された補償素子を通過するだけで、各波長成分を同一時刻に集めることが可能となる。分散した信号の各波長成分は常に基準となる時間からの時間差とその波長によって一意的に決定される空間位置へと出力されるため、分散状態が変化しても、補償素子を再調整することなく各波長成分を同一時刻に集めることができる。

②検討内容 (信号の2次元展開)：図3に分散量を徐々に変えていったときに得られた歪みを一意的に表現可能な時間一周波数分布の変化の様子を示す。

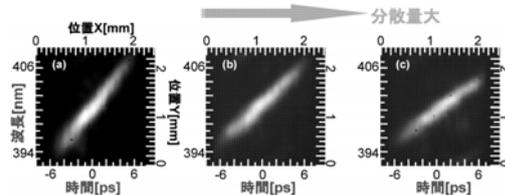


図3 時間一周波数分布の変化の様子

図3の結果から、被補償光の波長分散量を増加させた場合に分散量に応じた時間差に対応した空間位置へと各波長成分が展開・出力されていることが確認できる。この結果から各空間位置で固定の時間差を補償する素子を展開・出力後の空間面に配置することにより、固定の時間補償素子により歪みを補償可能な状態になっていることが確認できる。

③検討内容 (歪み補償)：歪み補償実証実験では、任意の歪みに対応できるように、より高分解能かつ損失の少ない時間補正素子として階段状ミラーを採用した。図4に実証実験系の外観図を示す。光源には、チタンサファイアレーザーより出力されたパルス幅 100fs, 中心波長 800nm, 繰り返し周波数 82MHz の超短光パルスを用いた。時間補償素子としての階段状ミラーには、反射型ブレード回折格子

を利用した。また、非線形光ゲートとしては、B. B. 0 結晶を用いた。

図5に補償前の時間波形および時間補償素子通過後の時間波形の計測結果を示す。図2の時と同様に波長分散を加えていくことにより被補償光の時間波形を変化させて入力した場合、時間補償素子通過後の波形がすべて均一に1ps程度に補償されていることが図5の一連の結果から確認できる。



図4 実証実験系の外観

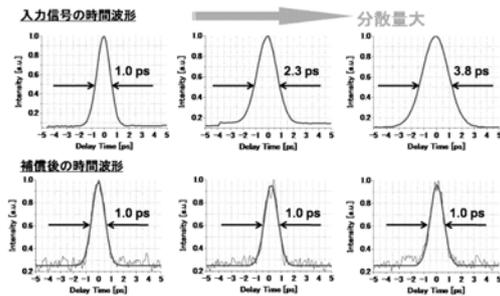


図5 時間一周波数分布の変化の様子

(2) アプローチ2について

①基本原理：現在の周波数フィルタ技術で実現可能な相関処理による信号識別が歪み補償と等価であることに着目し、複数の歪み信号の時々刻々変化するアドホックな到着に対応可能な歪み補償用の全く新しい周波数フィルタの設計を試みた。図6にその基本原理を示す。

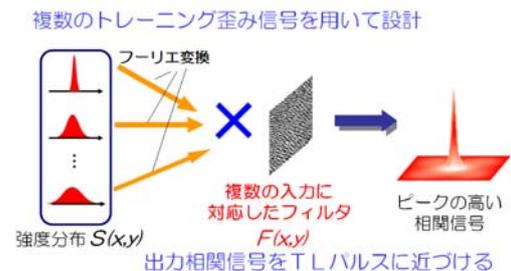
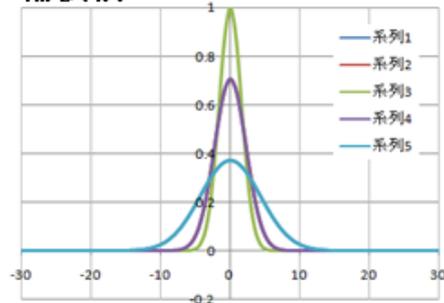


図6 歪み補償の基本原理 (アプローチ2)

②検討内容：対応可能な歪み信号の範囲は、フィルタの設計に用いる歪み範囲とトレーニング歪みの多様性によって決まる。これまでの光ラベル信号認識に関する研究の知見から、一つの周波数フィルタで識別可能な信号の多様性には限界があり、用いる周波数フィルタの性能を中心に検討を行った。

複数のトレーニング歪みを含む被補償信号を用意し、それらの入力に対して等しくフーリエ限界パルスが相関出力として出力されるように、フィルタの最適化を繰り返し計算により実施した。最適化アルゴリズムには、Simulated Annealing method (焼きなまし法)を用いた。実際の実現性を考え、設計フィルタのレベル数はバイナリとして計算を行った。図7に補償前後の時間波形の計算結果を示す。

補償前



補償後

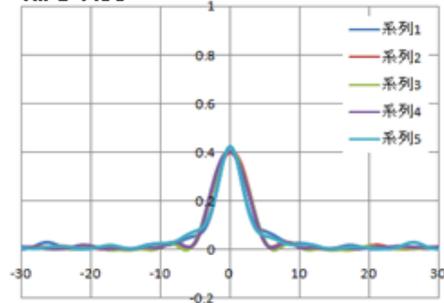


図7 正負の複数分散歪みを持ったパルスに対する補償能力の確認

図7の結果より、被補償光の波長分散歪み量を正から負に変化させて(パルス幅にして、3~12ps程度)入力した場合でも、設計したフィルタから出力される相関出力時間波形のパルス幅がすべて均一に5ps程度に補償されていることが図7の一連の結果から確認できる。

(3) 得られた成果について

本研究で得られた結果より、研究の目的のところで述べた(1)複数の歪み信号の時々刻々変化するアドホックな到着に対応可能な歪み補償技術の確立および(2)高ビット

レート歪み補償技術の確立の両方の原理確認に成功した。但し、補償可能な時間分解能と損失については、非線形光時間ゲートおよび補償素子に実用化における課題が残る。国内外での位置付けとインパクトについては、国内および米国における関連特許の受理により、権利化に成功するとともに、その独自性が国際的にも認められた。

今後の展望としては、今後のネットワークの高ビットレート化の動向に合わせ、実用化における課題の解決を試みながら、100Gbpsまでの信号レートでの歪み補償において、現在、中心的な位置を占めている電気的な分散補償技術の速度的な限界を補っていくポスト技術として育成していくことが重要となると考える。

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 17 件)

- ① H. Goto, T. Konishi, and K. Itoh, "Efficiency Improvement of Optical Pattern Recognition in Ultra-Fast All-Optical Intensity Equalizer" *Opt. Rev.*, vol. 16, no. 2, pp180-183, 2009. (査読有)
- ② T. Kato, T. Konishi, and K. Itoh, "All-Optical Analog-to-Digital Conversion System with a Spatial Coding Method Using Designed Filter" *Opt. Rev.*, vol. 16, no. 2, pp184-187, 2009. (査読有)
- ③ H. Goto, T. Konishi, and K. Itoh, "Simultaneous amplitude and phase modulation by discrete phase-only filter" *Opt. Lett.*, vol. 34, no. 5, pp641-643, 2009. (査読有)
- ④ H. Goto, T. Konishi, and K. Itoh, "Ultrafast All-optical Intensity Stabilizer Based on Self Phase Modulation-Induced Spectral Pattern Change and Optical Pattern Recognition," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**, 8834 (2008). (査読有)
- ⑤ H. Goto, T. Konishi, and K. Itoh, "An all-optical limiter with high accuracy thresholding based on self-phase modulation assisted by preparatory waveform conversion," *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, **10**, 095306 (2008). (査読有)
- ⑥ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh: "Resolution Improvement of All-Optical Analog-to-Digital Conversion Employing Self-frequency Shift and Self-Phase-Modulation-Induced Spectral Compression," *IEEE J. of Sel. Top. Quantum Electron.*, **14**, 724-732 (2008). (査読有)
- ⑦ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh: "All-Optical Analog-to-Digital Conversion Using Optical Delay Line Encoders," *IEICE Trans. Electron.*, **E90-C**, 479-480 (2007). (査読有)
- ⑧ T. Konishi, T. Nishitani, and K. Itoh: "Performance analysis of ultra-fast all-optical analog-to-digital converter using optical multiple-level thresholding module based on self-frequency shift in fiber," *IEICE Trans. Electron.*, **E90-C**, 405-408 (2007). (Invited) (査読有)
- ⑨ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh: "All-optical M-ary ASK signal demultiplexer based on a photonic analog-to-digital conversion," *Opt. Express*, **15**, 17025-17031 (2007). (査読有)
- ⑩ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh: "Optical coding scheme using optical interconnection for high sampling rate and high resolution photonic analog-to-digital conversion," *Opt. Express*, **15**, 15812-15817 (2007). (査読有)
- ⑪ T. Oonishi, T. Konishi, and K. Itoh, "Fabrication of Phase Only Binary Blazed Grating with Subwavelength Structures Designed by Deterministic Method Based on Electromagnetic Analysis" *Jpn. J. Appl. Phys.* **46** 5435-5440 (2007). (査読有)
- ⑫ T. Oonishi, T. Konishi, and K. Itoh, "Deterministic design of binary phase-only blazed grating with subwavelength features under limitation on spatial resolution of fabrication technique" *Appl. Opt.* **46** 5019-5026 (2007). (査読有)

- ⑬ T. Oonishi, T. Konishi, and K. Itoh, "Design and Evaluation of Computer Generated Hologram with Binary Subwavelength Structure Designed by Deterministic Process" *Opt. Rev.* 14 334-338 (2007). (査読有)
- ⑭ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh. "All-optical analog-to-digital conversion using optical interconnection for gray code coding" *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 6353, art. no. 63530H (2006). (査読有)
- ⑮ T. Nishitani, T. Konishi, and K. Itoh. "Wavelength- and time-division reconfigurable optical add/drop multiplexer (ROADM) using a time-space conversion and a MEMS optical switch" *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 6353, art. no. 63530E (2006). (査読有)
- ⑯ Wanji Yu, Akio Mizutani, Hisao Kikuta, and T. Konishi, "Reduced wavelength-dependent quarter-wave plate fabricated by a multilayered subwavelength structure," *Appl. Opt.*, **45**, 2601-2606 (2006). (査読有)
- ⑰ T. Konishi, Y. Oshita, K. Itoh: "Ultrafast optical distortion equalizer using time-frequency domain processing," *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, **24**, 2693-2700 (2006). (Invited) (査読有)

[学会発表] (計 11 件)

- ① T. Konishi, and H. Goto, "New Tool for Response Characteristic Test of Optical Device: Optical Spectrogram Scope," *International Conference on Photonics in Switching* 2008, 2008. 8. 7, Sapporo(2008). (Invited)
- ② T. Konishi, and H. Goto, "Response characteristics test of ultra-fast optical devices with optical spectrogram scope (OSS)," 10th Anniversary International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2008), 2008. 6. 24, Athens, (2008). (Invited)
- ③ T. Konishi, "All optical processing and monitoring technologies," *SEON* 2008, 2008. 6. 20, Porto (2008). (Invited)
- ④ R. Itoh, T. Konishi, Y. Yonetani, and K. Itoh, "Arbitrary Wavelength- and Time-Selective Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (RODAM) using Two-Dimensional Time-Space Conversion and a MEMS Optical Switch," 6th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, ODF' 08, 2008. 6. 11, Taipei (2008).
- ⑤ T. Kato, T. Konishi, T. Nishitani, and K. Itoh, "All-optical analog-to-digital conversion using a designed spatial coding filter," 6th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, ODF' 08, 2008. 6. 11, Taipei (2008).
- ⑥ H. Goto, T. Konishi, T. Nishitani, and K. Itoh, "Amplitude-Phase Modulation Technique using Phase-Only Filter for Optical Intensity Equalizer," 6th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, ODF' 08, 2008. 6. 10, Taipei (2008).
- ⑦ T. Konishi, "Monitoring of O-CDMA Codes using Time-Frequency map," *International Joint Workshop on OCDMA and OPS* 2007, 2007. 11. 7, Tokyo, (2007) (Invited)
- ⑧ T. Konishi, "Ultra-fast Optical Signal Processing Using Optical Time-Space Conversion," *The 7th Pacific Rim Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO/PR)* 2007, 2007. 8. 28, Seoul, (2007). (Invited)
- ⑨ T. Konishi, "Optical Label Recognition assisted by Optical Signal Processing," *International Joint Workshop on OCDMA and OPS* 2006, 2006. 12. 5, Beijing (2006) (Invited)

- ⑩ R. Itoh, T. Konishi, K. Itoh,
“Arbitrary Wavelength- and
Time-Selective Reconfigurable
Optical Add/Drop Multiplexer
(ROADM) Using a Time-Space
Conversion and a MEMS Optical
Switch,” European Conference on
Optical Communication (ECOC 2006),
2006.9.27, Canne (2006).
- ⑪ T. Nishitani, T. Konishi and K. Itoh,
“Demonstration and Evaluation of
all-optical M-ary ASK signal
Demultiplexer Based on Photonic
Analog-to-digital Conversion,”
European Conference on Optical
Communication (ECOC 2006),
2006.9.28, Canne (2006).

〔図書〕(計1件)

著者：Tsuyoshi KONISHI,

出版社名：Nova Science Publishers,

書名：Laser, Optics and Electro-Optics
Research Trends

発行年及び総ページ数：2007, pp.1-22

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 2 件)

名称：超短光パルス信号の分散補償方法
およびその装置

発明者：小西 毅, 伊東一良, 一岡芳樹,
尾下善紀

権利者：独立行政法人科学技術振興機構
番号：4027858

取得年月日 2007.10.19

国内外の別：国内

名称：Chirp indicator of ultrashort
optical pulse

発明者：Tsuyoshi KONISHI

権利者：Osaka University

番号：US7379186 B2

取得年月日 2008.5.27

国内外の別：国外

〔その他〕

特に無し

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

特に無し

(3) 連携研究者

特に無し