

平成 17 年度 卒業論文

高速波長変換出力の光スペクトル合成方式の研究

学籍番号 0122022

中本 亮一

電子工学科 光エレクトロニクス講座

指導教官 上野芳康 助教授

提出日 平成 18 年 2 月 28 日

概要

現在の商用システムにおいて光信号を電気信号に変換してから再び光信号にしている。光信号のままで波長変換する全光波長変換の提案、実証が活発に行われている。全光波長変換の方法として、光フィルタを用いた方法が報告されている。

光パルスの時間波形はフーリエ変換の関係より、任意のスペクトルの重ね合わせで表される。時間波形をスペクトルの重ね合わせで得ることをスペクトル合成と呼び、フェムト秒の半値幅を持つ光パルスの実験結果も報告されている。

本研究ではスペクトル合成することにより全光波長変換するシミュレーションを行った。

さらにキャリアクーリング現象による波形歪を改善する合成フィルタを設計し、擬似ランダム信号での動作を検証した。

目次

第1章 序論	1
第2章 本研究の背景	
2.1 本研究の技術分野	2
2.2 光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing ,OTDM)	2
2.3 全光波長変換器	3
2.3.1 波長変換器 (Delayed Interferometer Signal-wavelength Converter, DISC)の原理	3
2.3.2 ゲート動作の基本方程式	7
第3章 本研究の目的と方法	
3.1 スペクトル合成による全光波長変換	8
3.2 スペクトル合成のシミュレーション方法	8
第4章 スペクトル合成結果	
4.1 マツハツェンダー干渉計を用いた場合	10
4.2 バンドパスフィルタとバンドストップフィルタを用いた場合	23
4.3 スペクトル合成の実験構成案	
4.3.1 液晶空間光変調器を用いた実験構成	29
4.3.2 回折格子とスペクトル合成分解能	29
第5章 キャリアクーリング現象を考慮したスペクトル合成	
5.1 キャリアクーリング現象とは	32
5.2 強度スペクトルと位相スペクトル最適にするスペクトル合成	35
5.3 擬似ランダム信号でのスペクトル合成	43
5.4 周波数分解能が信号周波数より大きいときのスペクトル合成	47
第6章 結論	52
参考文献	53
謝辞	54
付録 スペクトル合成サブルーチン	55

序論

現在の商用システムにおいて光信号を電気信号に変換してから再び光信号にしている。しかし、この方法では電子的にキャリア寿命などの物理的制限要因により、光通信の高速性が十分に生かされない。そこで、光信号のままで波長変換する全光波長変換の提案、実証が活発に行われている。全光波長変換の方法として、波長変換器(Delayed Interferometer Signal-wavelength Converter, DISC)を用いる方法[1,2]、光フィルタを用いた方法が報告されている。[3,4,5]

光パルスの時間波形はフーリエ変換の関係より、任意の光の重ね合わせで表される。時間波形を分光し、周波数成分ごとに振幅、位相スペクトルを調節し、合波して任意の時間波形を得ることをスペクトル合成と呼び、フェムト秒の半値幅を持つ光パルスの実験結果も報告されている。[6]

本研究ではスペクトル合成することにより全光波長変換するシミュレーションを行った。

第2章 本研究の背景

2.1 本研究の技術分野

近年、インターネットによる動画配信などにより伝送容量が増大しており、通信ネットワークの大容量化の需要が非常に高くなってきている。光ファイバーを使った光通信は広帯域、低減衰、無漏話、無誘導といった高品質の通信が可能であり、電気通信で実現されていたものが光ファイバーを使った光通信に置き換われつつある。

現在用いられている商用システムの光通信の伝送速度は 100Mb/s ~ 10Gb/s であるが、これらはすべて光信号を電気信号に変換して、信号処理を電子回路で処理している。その際の光信号から電気信号に変換する過程で余計なエネルギーを消費する。さらに電子回路の動作限界周波数は半導体の電子移動度によって決まり、伝送速度が 40Gb/s 以上である伝送には適さないといった欠点がある。この伝送速度以上で伝送するための全光信号処理の研究が進んでおり、100Gb/s ~ 400Gb/s の伝送速度を実現している。

2.2 光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing ,OTDM)

近年のインターネットの急速な発展に伴い、伝送容量は大幅に増加している。このため、ネットワークの容量を画期的に増加させる光多重通信方式の開発が求められている。現在の光ネットワークでは波長多重(Wavelength Division Multiplexing,WDM)や光時分割多重(Optical Time Division Multiplexing ,OTDM)などの光多重通信方式が広く用いられている。波長多重は、与えられた波長帯域を一定の波長間隔で分割して多数のチャンネルを割り当てる方式である。光時分割多重では、同じ波長の光信号を時間で分割し多数のチャンネルに割り当てる方式である。

今後の伝送容量の増大に WDM 技術のみで対応しようとするれば、必然的にチャンネル数の大幅な増加は避けられず、それに伴って精密な波長制御や情報通信ネットワークの監視、制御技術などの問題が懸念されている。そのため、WDM 技術のみに頼らず、Tb/s 級の伝送容量の OTDM 技術との適切な併用が求められている。

第6章 結論

本研究では、MZI を用いたスペクトル合成方法から、消光比が大きい波長変換信号が得られる条件を求めた。次にバンドパスフィルタを用いたときの、波長変換出力がどのようなになるかシミュレーションした。次にスペクトル合成実験構成図を考案し、周波数分解能について考察した。その結果、液晶空間光変調器を用いた実験では、10 GHz の分解能を得るには、レンズの焦点距離を 1m 程度にしなければならないことがわかった。

次に簡単なモデルからキャリアクーリング現象を再現し、理論解析結果の波形と実験結果の波形がよく一致していることを確認した。キャリアクーリング現象による、波形歪みを抑制する合成フィルタを設計し、合成フィルタで擬似ランダム信号を波長変換したときの、シミュレーションをした。その結果、0 信号雑音が増加し、消光比が 17.3dB とクロック信号の時と比べて悪くなることがわかった。

AWG,液晶空間光変調器などの素子を用いた実験による実証が今後の課題である。

参考文献

- [1] Yoshiyasu Ueno, Shigeru Nakamura, Kazuhito Tajima, "Nonlinear phase shifts induced by semiconductor optical amplifiers with control pulses at repetition frequencies in the 40-160GHz range for use in ultrahigh-speed all-optical signal processing," JOSAB, vol. 19, no. 11, pp. 2573-2589, Nov. 2002.
- [2] Yoshiyasu Ueno, Shigeru Nakamura, Kazuhito Tajima, "Spectral Phase-Locking in Ultrafast All-Optical Mach-Zehnder-Type Semiconductor Wavelength Converters," JJAP, vol. 38, no. 11A, pp. 1243-1245, November. 1999
- [3] Juerg Leuthold, Dan M. Marom, Steven Cabot, James J. Jaques, Roland Ryf, and C. Randy Giles, "All-Optical Wavelength Conversion Using a Pulse Reformatting Optical Filter," Journal of Lightwave Technology, vol. 22, no. 1, pp. 186-192, Jan. 2004.
- [4] M.L. Nielsen, B. Lavigne, B. Dagens "Polarity-preserving SOA-based wavelength Conversion at 40 Gbit/s using bandpass filtering" ELECTRONICS LETTER vol 39, no. 18, pp. 1334-1335, Sep. 2003
- [5] Koichi Takiguchi, Toshimi Kominato, Hiroshi Takahashi, Tomohiro Shibata and Katsunari Okamoto, "Flexible pulse waveform generation using a silica waveguide based spectrum synthesis circuit," Proc. Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC 2004) Tu15
- [6] Marc M. Wefers, Keith A. Nelsen "Analysis of programmable ultrashort waveform generation using liquid-crystal spatial light modulators" vol 12, no. 7, pp. 1343-1362, July. 1995
- [7] J. Mørk, T.B. Berg, M.L. Nielsen and A.V. Uskov, "The Role of Fast Carrier Dynamics in SOA Based Devices," IEICE TRANS. ELECTRON., vol E87-C (7) pp. 1126-1133, July. 2004.

謝辞

本研究を進めるに際し、懇切なるご指導を賜りました上野芳康助教授に深く感謝をします。理論解析研究では修士課程 2 年の鈴木励氏、昨年度卒業生の豊田将志氏のご意見、助言を受け研究活動に大いに役立てることができました。また上野研究室の皆様は常日頃より、研究に対する有益なご意見、助言、激励を受け、研究活動の大きな励みとなりました。