

平成 21年05月25日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006~2008  
 課題番号：18760278  
 研究課題名（和文） 次世代広帯域光倍数アクセス網のための新しいやり方の研究  
 研究課題名（英文） Study of New Techniques for Next-Generation Broadband Optical Multiple Access Networks  
 研究代表者  
 アン・T・ファン（Anh T. Pham）  
 会津大学・コンピュータ理工学部・准教授  
 研究者番号：80404896

研究成果の概要： この研究プロジェクトは次世代光多重接続網のための新しい多重化技術として、光符号分割多重（OCDM）の研究をしている。OCDM システムのパフォーマンスを高度な変調と検波体系を利用して、論理的に分析、提案している。また、新たにモデルや方式についても提案している。これはノイズや干渉、ファイバー分散のほか、実用的なシステム設計のために、重要な幾種もの条件を含む光学非線形性を包括的に研究している。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	300,000	3,900,000

研究分野： 工学  
 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： 通信方式（無線、有線、衛星、光、移動）

1. 研究開始当初の背景  
 インターネット、ブロードバンドサービス、マルチメディアコンテンツの近年の急成長はファーストマイルアクセス網における光ファイバーの利用を促進している。NTT B フレッツや Yahoo Bb 光などの、現在の光接続では、時分割多重（TDM）技術がパッシブ光ネットワーク（PON）アーキテクチャのもとで採用されている。しかしながら、TDM 技術の性質上、利用者ひとりあたりの回線速度は限られている。

波長分割多重（WDM）が何百もの利用者に超

高速通信を提供する次世代多重アクセス網にとって魅力的な技術として現れたが、このシステムの設置はまだ限られている。その主因は WDM システムが高価な機器や、極めて厳密な運用環境を必要とし、アクセス環境に好ましくないためである。

光符号分割多重（OCDM）は TDM や WDM とは違った手段を用いた多重化技術である。OCDM システムでは光ファイバーのリソース——波長や時間——は利用者間で共有されない。代わりに、全てのリソースは全ての利用者に割り当てられる。多重化は符号化信号の利用に

よって成功を収めている。上述の通り、OCDM は現状の技術よりも、超高速通信、非同期アクセス、拡張性、セキュリティ安全性や、WDM に比して廉価での提供を含む、多くの利点をもたらす。これらの利点によって、最近では OCDM は次世代光多重アクセス網の期待の星となっている。

## 2. 研究の目的

ここ 10 年ほどで、OCDM システムを実現するために数多くの取り組みがなされてきたが、未だに問題は山積している。例えば、最近の研究で OCDM の利用者数は、OBI によって大幅に減少することがわかった。具体的には、 $10 \times 1\text{Gbps}$  未満では、 $-20\text{dBm}$  の比較的高入力にも耐えうるということだ。加えて、分光や非線形性などの様々な光学現象について徹底的に理解を深める必要があるが、未だ研究の途上である。

よって、この研究プロジェクトの目的は 2 本の柱からなる。まずひとつが、ノイズや干渉を抑えることで、OCDM システムのパフォーマンスを改善させる技術について探ることである。中でも OBI の干渉に特に着目している。その方策は、パルス位置変調 (PPM) や重複 PPM, コヒーレント検出を含む高度な変調の検出技術による。

次にふたつめの柱が、ノイズや干渉、ファイバー分散、そして特に光学非線形性による様々な影響の結果について、徹底的に研究することである。その中で、実用的なシステム設計に重要な条件を考慮してシステムのパフォーマンスの分析も行っている。

## 3. 研究の方法

(1) ヘテロダイン検出受信機を活用した 2-D OCDM (光符号分割多重) システムのパフォーマンス分析: 本報告書では、プライム系列符号及びヘテロダイン検出受信機を活用した 2-D OCDM 新しい方式を提案した。システムパフォーマンスの分析は、多元接続干渉 (MAI)、光ビート干渉 (OBI)、クロストーク、受信機ノイズ等、様々なノイズおよび干渉を考慮して理論的に行われた。本分析により、この方式には使用されていた直接検出方式のパフォーマンスを大幅に向上させることが確認された。実際には使用可能なユーザ数が 10 倍程拡大され、検出感度も結構改善される。したがって、 $30\text{dB}$  のリンクロスが予測される PON ベースのアクセ

ス網環境における次世代広帯域光倍数アクセス網にこの方式が良いソリューションだと考えられる。また数値結果により、提案したシステムが受信有効光パワー  $-40\text{dBm}$  で  $10\text{Gbit/s}$  のユーザをサポートできることが判明した。その他、非同期ヘテロダイン検出方式が同期ヘテロダイン検出方式とはほとんど同じパフォーマンスで、光パワーがおおよそ  $1\text{dB}$  だけの違いがあり、その違いは LO 光パワーまたは波長数の増加で解決できる。その上、非同期ヘテロダイン検出方式の簡単な構造がある。これらの利点があるため、今度提案した 2-D OCDM システムに非同期ヘテロダイン検出方式を使用することをお勧めする。

(2) 周波数領域符号化 OCDM システムにおけるパルス位置変調 (PPM) を含む光変調技術の適用についての研究: 本研究では、パルス位置変調 (PPM) 及びヘテロダイン検出受信機を用いる 2D-OCDM 新しい方式を提案した。このシステムパフォーマンスの分析も、MAI、OBI、クロストーク、受信機ノイズ等、様々なノイズおよび干渉を考慮して理論的に行われた。以前研究した OOK 信号を用いたシステムと比べ、ユーザ数及び検出感度が結構改善された結果が出た。具体的に、 $M=4$  の場合、PPM 信号を用いたシステムが最適なパフォーマンスになる。 $M>4$  の場合、システムのパフォーマンスがほとんど改善されず、PPM 信号が長くなるにつれてシステムが複雑になるのが実状であるため、システムに  $M=4$  を使用するようお勧めする。

(3) 二次元波長ホッピング/時間拡散光符号分割多重システム (2-D WH・TS OCDM) におけるオーバーラッピングパルス位置変調 (OPPM) を含む光変調技術の適用についての研究: 2-D WH・TS OCDM 方式では、広帯域光源を使用するため、光検出器が波長の近い 2 つ以上の光波を同時に受信した場合に生じる光ビート干渉 (OBI) が問題となる。光ビート干渉がシステムパフォーマンスに極めて大きな影響を及ぼすことはこれまでに証明されている。本研究では、ヘテロダイン検出受信機及びオーバーラッピングパルス位置変調 (OPPM) を用いた 2-D WH・TS OCDM システム方式を提案した。受信機ノイズを含む主なノイズ、光ビート干渉を考慮してそのシステムのパフォーマンスの分析も論理的に行われた。パルス位置変調 (PPM) を用いたシステムと比べ、コードセットが同じの場合、OPPM's オーバーラッピングパラメタ ( $\gamma$ ) が増えればユーザ数も結構増えた

結果が出た。例えば、システムにおいてパルス位置の多様性パラメタ  $M=4$  で、 $\gamma=1$  の代わりに  $\gamma=2$  (PPMを用いたシステム)を使用する場合、最大ユーザ数が2倍以上増え、17ユーザから45ユーザに達する。そのように、 $\gamma$  が1から2に増加する場合、パルス位置の多様性パラメタ  $M=4$  で、ユーザ数  $K=32$  のシステムにおいて受信機の感度は2 dB増えた。

(4) 二次元 WH/TS OCDMA システム上での GVD の影響のモデリングと理論に基づいたパフォーマンス分析: この研究では、二次元波長ホッピング/時間拡散アクセス(2-D WH/TS OCDMA) システム上での群速度分散特性(GVD)の影響を包括的に分析するために、光ファイバー内のガウスパルス伝播を、今までにないモデルで提案している。加えて、多くのノイズや干渉、つまり多元接続干渉(MAI)や、光ビート干渉(OBI)、受信機ノイズも解析に含まれている。さらに、受信側の感度を上げるため、ヘテロダイン検出受信機を使うことを提案している。分析結果から、標準単一モードファイバー(ITU-T G. 652)を使用した場合、GVDの影響下では維持できるユーザー数は激減し、最大伝送距離——すなわち、BERが $10^{-9}$ 以下の距離ならば維持できる——も著しく短くなる。システムのパフォーマンスが限界を迎える主因は時間の歪みである。加えて、分散シフトファイバー(ITU-T G. 653)では、GVDの影響がどのように再現されるか、についても述べている。例えば、 $32 \times 1\text{Gbps}$ のユーザーのシステムでは、1ビットあたりの光エネルギーが $-5\text{dBm}$ で伝送されるとき、111kmの最大伝送距離を達成できる。

(5) 多波長光 CDM システム上での四波混合の影響の論理的分析: この研究では、四波混合(FWM)の影響下での多波長非コヒーレント光符号分割多重(MW-OCDM)システムの性能分析を論理的に行う。他の干渉やノイズ、例えば、MAIやOBI、受信機ノイズも分析に含まれる。ビット誤り率(BER)や維持可能なユーザー数、エネルギー損失を含むMW-OCDMシステムの性能のさまざまな側面から見たFWMの影響に多くが割かれている。また、数種の光ファイバー、つまり単一モードファイバー(SMF)や分散シフトファイバー(DSF)、非ゼロDSFを用い、異なる周波数領域でのシステム性能についても研究している。計算結果から、FWMの影響下ではシステムの性能は低下した。特に1チップあたりのパワーが強いときや、周波数領域が狭

いとき、DSFが使われているときに顕著である。相互相関値の記号がFWMの影響を減らすためにMW-OCDMに使われることもふれておく。

#### 4. 研究成果

研究プロジェクトは日本でも世界でも、OCDMを基礎とした光多重アクセス網の研究と発展に十分に寄与している。特にOCDMシステムのコヒーレント検出の新たな活用法を開発している。ヘテロダイン検出受信機を利用したOCDMシステムで、OBIの問題は効果的な解決をみることができている。この研究論文は『OSA (Optical Society of America Journal of Optical networking (光通信の米光学学会誌)]にて発表している。加えて、高度な変調技術を利用したOCDMシステムのパフォーマンスの改善提案はかの有名なIEEEのGlobecom'06とLEOS'07に提出している。

また、OCDMシステム上での分光の影響を調べるツールの提供も、多波長信号の新しいパルス伝播モデルとして提案した。このモデルは実用的なシステムの最適設計の助けとなるだろう。これはIEICEの学会で発表している。その他の研究についてはOSAやIEEEの機関紙を参照されたい。

最後に、多波長OCDMシステムでのFWMの影響の分析法を新たに提案した。復号過程で特筆すべきは、OCDMシステムにおけるFWM現象はWDMのような現状のものに比して、相当に複雑なことである。この方式はOCDMシステムの制約のよりよい理解を可能とする。これについてはIEICEの機関紙を参照されたい。研究の一部はIEEE Photonics Summer Topical'09での発表を受理されている。

#### 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5件)

- 1 Ngoc T. Dang, Anh T. Pham and Zixue Cheng. Beat Noise Cancellation in 2-D Optical Code-division Multiple-access Systems using Optical Hard-limiter Array (Submitted, 2009).
- 2 Ngoc T. Dang, Anh T. Pham and Zixue Cheng. Performance Analysis of Multi-wavelength OCDM Systems under

the Impact of Four Wave Mixing (Submitted, 2009).

- 3 Ngoc T. Dang, Anh T. Pham and Zixue Cheng. Performance Analysis of Spectral Amplitude Encoding OCDM Systems over Linear Dispersive Optical Channel (Submitted, 2009).
- 4 Ngoc T. Dang, Anh T. Pham and Zixue Cheng. Impact of GVD on the Performance of 2-D WH/TS OCDMA Systems using Heterodyne Detection Receiver. IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E92-A, No. 4, pp. 1182-1191, Apr. 2009.
- 5 Anh T. Pham and Hiroyuki Yashima. Performance Enhancement of 2-D WH/TS OCDM Systems using a Heterodyne Detection Receiver and PPM Signaling. OSA's Journal of Optical Networking. Vol. 6, No. 6, pp. 789-800, Jun. 2007.

[学会発表] (計 12 件)

- 1 Ngoc T. Dang, Anh T. Pham. Beat Noise Cancellation in 2-D Optical Code-division Multiple-access Systems using Optical Hard-limiter Array. Submitted to the 2009 International Conferences on Advanced Technologies for Communications (ATC' 09).
- 2 Ngoc T. Dang and Anh T. Pham. FWM Impairment in Multi-wavelength Optical Code-division Multiplexing Systems. Submitted to IEEE Globecom 2009.
- 3 Ngoc T. Dang and Anh T. Pham. Impact of Four Wave Mixing on 2-D OCDM Systems. Accepted for presentation at the IEEE Photonics Summer Topicals 2009.
- 4 Ngoc T. Dang and Anh T. Pham. Modeling the Impact of GVD on the Performance of 2-D WH/TS OCDMA Systems. In the Proc. of the IEEE Region 10 Technical Conference (TENCON' 08). Hyderabad, India, Nov. 2008.
- 5 Ngoc T. Dang and Anh T. Pham. Performance Degradation of Spectral Amplitude Encoding Optical Code-Division Multiple-Access Systems due to Group Velocity Dispersion. In the Proc. of the 14th IEEE/IEICE Asia Pacific Conference on Communications (APCC' 08). Tokyo, Japan, Oct. 2008.

- 6 Anh T. Pham and Hiroyuki Yashima. Performance Analysis of 2-D OCDM Systems using Heterodyne Detection Receiver and OPPM Signaling. IEEE 20th Annual Lasers and Electro Optics Society Meeting (LEOS' 07). Orlando, FL, USA, Oct. 2007
- 7 Anh T. Pham and H. Yashima. Performance Analysis of 2-D WH/TS OCDM System Using Prime Sequences and a Heterodyne Detection Receiver. In the Proc. of the 49<sup>th</sup> IEEE GLOBECOM. San Francisco, USA, Nov.-Dec. 2006.
- 8 Anh T. Pham and H. Yashima. Novel 2-D Wavelength Hopping/Time Spreading OCDM System using Heterodyne Detection Receiver and PPM Signaling. In the Proc. of the ICCE 2006. Hanoi, Vietnam, Oct. 2006.
- 9 Ngoc T. Dang and Anh T. Pham. Performance Analysis of 2-D OCDM Systems under the impact of Four Wave Mixing (FWM) Phenomenon. 電子情報通信学会 2009 年総合大会. 愛媛大学, 松山、愛媛, Mar. 2009.
- 10 Anh T. Pham and Ngoc T. Dang. 2-D WH/TS 光 CDMA システムのパフォーマンスに与える G V D の影響のモデル. IEICE's PN, CS, OCS Tech. Rep, 千歳、北海道。Jun. 2008.
- 11 Anh T. Pham and Hiroyuki Yashima. Performance Improvement of the Heterodyne-Detection 2-D OCDM Systems using Overlapping Pulse-Position Modulation. IEICE (電子情報通信学会) 光通信システム研究会, OCS2007-58, pp. 87-91. 九州工業大学・北九州市・福岡県。Nov. 2007.
- 12 Anh T. Pham and Hiroyuki Yashima. Performance Analysis of 2-D WH/TS OCDM Systems Using Prime Sequences and a Heterodyne Detection Receiver. IEICE Tech. Rep., CS 2006-17. 静岡大学・浜松市・静岡県。May, 2006.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]  
ホームページ等  
<http://www.u-aizu.ac.jp/~pham/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

アン・T・ファン (Anh T. Pham)  
会津大学・コンピュータ理工学部・准教授  
研究者番号：80404896

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者