

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820146

研究課題名(和文)1テラビット毎秒を超える超高速光アクセス網の研究

研究課題名(英文)Study on over 1-Tbit/s ultra high-speed optical access networks

研究代表者

岡村 康弘 (Okamura, Yasuhiro)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・助教

研究者番号：90706996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：参照光時間インターリーブ多値光変調方式を適用した波長分割光多重伝送システムによる1テラビット毎秒を超える高速光アクセス網の実現可能性を数値シミュレーションにより見出した。位相同期多波長光源の使用による波長チャンネル間クロストーク低減の効果を理論的に明確にした。また、インターリーブ信号の分散耐性改善を目的として参照光振幅拡大法を提案した。IQ信号に比べて参照光振幅を4倍に拡大することで、分散耐性が従来の2倍に改善される事を数値シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要(英文)：WDM transmission of M-ary modulated signals interleaved with reference light (henceforth referred to as interleaved signals) is numerically studied to verify feasibility of over 1-Tbit/s ultra-high speed optical access systems with the interleaved signals. Availability of an optical phase-locked multi-carrier source on WDM transmission systems are theoretically considered. The electric field enhancement of reference light is proposed and improves dispersion tolerance of the interleaved 16QAM signals by twice as much as the conventional signals.

研究分野：工学

キーワード：通信方式(無線、有線、衛星、光、波動)

1. 研究開始当初の背景

携帯型情報端末および広帯域を要する動画配信サービスの普及により、インターネットトラフィックは増加の一途をたどっている。これに対応するためには、主要なブロードバンド回線である光ファイバ通信網の高速・大容量化が必須である。大陸間および大都市間を接続する基幹系光ファイバ網においては、コヒーレント光送受信技術とデジタル信号処理技術を適用したデジタルコヒーレント方式によって伝送速度 100 ギガビット毎秒のシステムが実用化されたが、エンドユーザが広帯域な通信サービスを楽しむには通信事業者と加入者間を接続する光アクセス網においてもコヒーレント光送受信技術の適用が必要である。

しかし、光アクセス網においては装置の低消費電力化・低コスト化が厳しく要求される。デジタルコヒーレント方式を光アクセス網に適用する場合、消費電力の比較的大きい高速デジタル処理の使用、信号の受信に高額かつ高性能な光及び電気デバイスを多数必要とする事が実用化を目指す上で課題であった。また、デジタルコヒーレント方式に波長分割多重(WDM)方式を組み合わせる場合、受信器に波長チャンネルごとに波長の異なる光源を要する。これにより波長チャンネルごとに受信器が個別仕様になり、システムの保守・運用、更に経済性の観点から実用化に向けて大きな障壁になる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、インターリーブ方式を適用した WDM システムによる 1 テラビット毎秒超の光アクセス網の長距離(50 km)光ファイバ伝送の実現可能性を見出すことにある。

デジタルコヒーレント方式と異なるコヒーレント光送受信技術の一つに参照光時間インターリーブ多値光変調方式(以後、インターリーブ方式)がある。この方式では、受信器が光遅延干渉計とバランス光検出器から構成され、デジタル処理を用いることなく多値光変調信号の復調が可能である。このため、インターリーブ方式はデジタルコヒーレント方式に比べて低消費電力性や、受信器構成が簡素なために経済性に優れる。また、インターリーブ方式に WDM 方式を組み合わせる場合にも波長チャンネルによって受信器構成は変わらない。これらのことより、インターリーブ方式を適用した WDM 伝送は、実用に耐える経済性、保守・運用性を有しつつ超高速な光アクセス網を実現できる可能性がある。本研究では、参照光時間インターリーブ多値光変調信号の WDM 伝送の実現可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) デジタルコヒーレント受信による光源位相雑音の実測(実験): WDM 伝送において生ずる波長チャンネル間クロストークにおい

て、光源位相雑音の影響を確認するには光源位相雑音の数値シミュレーションモデルの妥当性を確認する必要がある。そこで、コヒーレント受信により線幅 100 kHz の波長可変光源の電気スペクトルを実測し、スペクトル形状の比較を行った。

(2) 位相同期多波長光源の適用による波長チャンネル間クロストーク劣化の抑圧(解析): インターリーブ信号の WDM 伝送システムに位相同期光源を適用することで波長チャンネル間クロストークの抑圧が期待できる。そこで位相同期光源を用いた場合と個別光源を用いた場合について、インターリーブ 16QAM 信号の WDM 伝送シミュレーションを行い、受信信号の比較を行った。

(3) インターリーブ信号の WDM 伝送特性の調査(解析): 総伝送容量 1.32 Tbit/s の 10 Gbaud インターリーブ 16QAM 信号 x 33 波 WDM 伝送について、位相同期多波長光源を適用した場合について数値シミュレーションにより検討した。光ファイバ中で生じる効果は、非線形シュレディンガー方程式をスプリットステップフーリエ法により解く事でシミュレートし、50 km 伝送後の受信信号を確認した。

(4) インターリーブ信号の波長分散耐性の改善(解析): 本研究開始当初は、受信端における適応信号処理アルゴリズムを用いたインターリーブ信号伝送劣化補償を検討の予定であった。しかしデジタル信号処理を適用した場合、インターリーブ方式の特徴である低消費電力性、低遅延性が損なわれるため、これに代わってアナログ的にインターリーブ信号の伝送品質を改善する参照光振幅拡大法を提案した。インターリーブ 16QAM 信号の単一波長チャンネルの光ファイバ伝送シミュレーションを通し、提案方式による伝送距離延伸の効果について検討した。

4. 研究成果

(1) 光源位相雑音の実測

公称線幅 100 kHz の波長可変光源の位相雑音を測定した。局部発振光には線幅 2 kHz の外部共振器型レーザーを用い、局部発振光と波長可変光源の周波数差を約 2.4 GHz としてコヒーレント検出を行なった。検出した電気信号の中間周波数スペクトル、数値シミュレーションモデルにより生成した線幅 100 kHz を有する CW 光パワースペクトルを図 4.1.1 に示す。

実験結果、数値シミュレーション結果ともに、ローレンツ関数状のスペクトルが得られており、数値シミュレーションは実験結果と概ね一致したと言える。

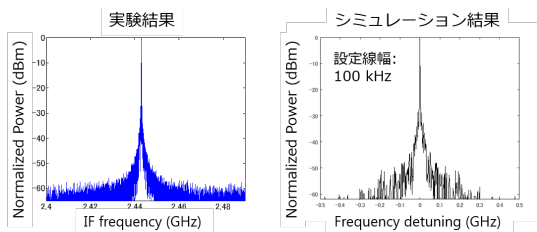


図 4.1.1 線幅 100 kHz の光源 IF スペクトル
左:実測。右:数値シミュレーション

(2)位相同期光源適用による WDM 伝送時の波長チャンネル間クロストークの低減

インターリーブ QPSK 信号の 3 波 WDM 伝送シミュレーションを行い、位相同期光源適用時と個別光源適用時の比較を行なった。個別光源の場合には線幅を 1 MHz に設定した。位相同期光源の場合には線幅を 0 Hz とし、光源間の位相同期を模擬した。波長チャンネル間隔は 50 GHz とし、波長チャンネル間クロストークの影響を最も受けるセンターチャンネル λ_3 の受信信号を確認した。伝送光ファイバはシングルモード光ファイバ(長さ:20 km、波長分散@ λ_3 :0 ps/nm/km)を用いた。結果を図 4.2.1 に示す。

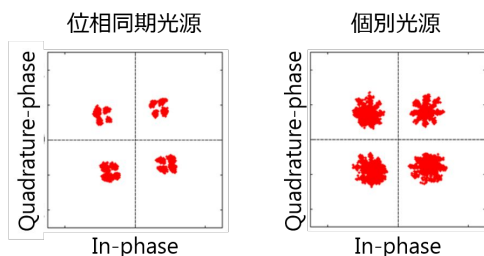


図 4.2.1 受信信号コンスタレーション。左:位相同期光源。右:個別光源(線幅 1 MHz)

信号点の広がりから明らかなように、位相同期光源の適用により、信号点の乱れが抑えられている。このことから、WDM 伝送における多波長光源に位相同期光源を用いる事で、波長チャンネル間クロストークが抑圧できる可能性があることがわかった。

(3)インターリーブ 16QAM 信号の 33 波 WDM 伝送シミュレーション

インターリーブ方式を適用した WDM システムによる 1 テラビット毎秒超の光アクセス網の長距離(50 km)光ファイバ伝送の実現可能性を検討するため、40 Gbit/s インターリーブ 16QAM 信号の 33 波 WDM(総伝送容量 1.32 Tbit/s)伝送シミュレーションを行なった。(2)の検討の結果から光源は位相同期光源を想定した。伝送光ファイバはシングルモード光ファイバ(長さ:50 km、波長分散@ λ_{17} :17.1 ps/nm/km、分散スロープ:0.06 ps/nm²/km、非線形係数:1.2 /W/km)を用い、受信器前には分散シフトファイバを用いて分散補償を行なった。WDM 配置間隔は 100 GHz とし、1 波当たりの伝送光ファイバ入射光パワーは -5.6 dBm とした。

最も非線形劣化を受けるセンターチャンネル λ_{17} の受信信号を確認した。結果を図 4.3.1 に示す。識別可能な 16QAM 信号のコンスタレーションが得られている事が確認でき、インターリーブ方式を適用した WDM システムによる 1 テラビット毎秒超の光アクセス網の長距離(50 km 超)光ファイバ伝送の実現の可能性を見出すことができた。

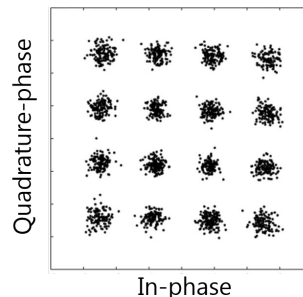


図 4.3.1 インターリーブ 16QAM x 33 波 WDM 伝送におけるセンターチャンネル(λ_{17})の受信信号コンスタレーション

(4)参照光振幅拡大法によるインターリーブ信号の波長分散耐性の改善

参照光振幅拡大法は、インターリーブ信号の復調において位相基準となる参照光の電界振幅を、位相情報の含まれる IQ 部に比べて拡大する(図 4.4.1)。この方法を適用する事により、伝送路中に参照光とその隣接シンボルの干渉によって生ずる参照光の乱れが低減可能となり、インターリーブ信号の波長分散耐性を改善することができる。

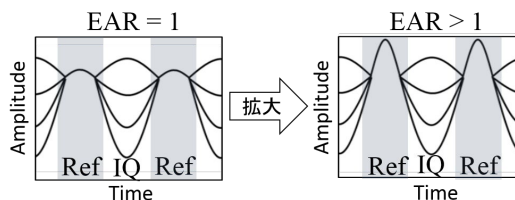


図 4.4.1 参照光振幅拡大法適用前(左)、適用後(右)のアイパターン

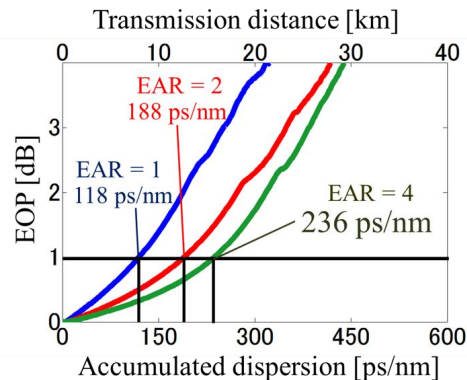


図 4.4.2 累積分散対アイ開口率劣化

参照光振幅拡大法の有効性を確認するため、40 Gbit/s インターリーブ 16QAM 信号の光ファイバ伝送シミュレーションを行なっ

た。光ファイバのパラメータは、信号光波長における分散 15 ps/nm/km、分散スロープ 0.06 ps/nm²/km、損失 0.3 dB/km、非線形係数 1.21 /W/km とし、ファイバ長を 0 から 40 km まで変化させた。信号光のファイバ入射電力は 0 dBm とした。参照光と IQ 部の電界振幅比を EAR と定義し、EAR を 1(参照光と IQ 部の電界振幅比が同じ)から 4 まで変化させ、それぞれの分散耐性をアイ開口劣化(EOP)により受信信号品質の評価を行なった。結果を図 4.4.2 に示す。

累積分散(横軸)が大きくなるにつれて、EOP が大きくなり、信号品質が劣化している。許容される EOP を 1 dB としたとき、EAR = 1 の時の累積分散が 118 ps/nm であったのに対し、EAR = 2 の時は 188 ps/nm、EAR = 4 の時には 236 ps/nm と分散耐性が改善した。これにより、参照光振幅拡大法の適用により、インターリーブ信号の分散耐性改善の可能性が示された。

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 9 件)

岡村 康弘, 石村 直敬, 埴 雅典, 高田 篤, 参照光時間インターリーブ多値光変調方式を適用した シンボル同期波長分割多重伝送における非線形クロストーク劣化, 社団法人 電子情報通信学会総合大会, 2016 年 3 月 15 日, 九州大学(福岡県福岡市)

石村 直敬, **岡村 康弘**, 埴 雅典, 高田 篤, 参照光時間インターリーブ 16QAM 伝送における参照光振幅拡大による分散耐性の改善, 社団法人 電子情報通信学会光通信システム研究会, 2016 年 1 月 22 日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

岡村 康弘, 石村 直敬, 埴 雅典, 高田 篤, 参照光時間インターリーブ多値光変調方式を適用した波長分割多重・光アクセス網, レーザー学会学術講演会第 36 回年次大会, 2016 年 1 月 10 日, 名城大学(愛知県名古屋市)

岡村 康弘, 石村 直敬, 三井 優輔, 埴 雅典, 高田 篤, Influence of Chromatic Dispersion on Optical Transmission of 16QAM Signals Interleaved with Reference Light, 20th Microoptics Conference, 2015 年 10 月 27 日, 福岡国際会議場(福岡県福岡市)

石村 直敬, **岡村 康弘**, 埴 雅典, 高田 篤, インターリーブ伝送における参照光振幅拡大による分散劣化の低減, 社団法人 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2015 年 9 月 8 日, 東北大学(宮城県仙台市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

岡村 康弘 (OKAMURA, Yasuhiro)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス

研究部・助教

研究者番号 : 90706996