

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	グリーン ICT 社会インフラを支える超高速・高効率コヒーレント光伝送技術の研究開発
研究機関・部局・職名	東北大学・電気通信研究所・准教授
氏名	廣岡 俊彦

【研究目的】

国内のインターネットトラフィックは1 Tbit/sを超え、現在も年率40%の勢いで増加を続けており、グローバル規模での情報量の急増が問題になっている。エネルギー消費を抑えつつ情報爆発に対応可能な超大容量光通信網を実現するためには、周波数利用効率（単位周波数幅の中で伝送可能な通信速度）を如何にして増大させ、省資源化・低消費電力化を図るかが重要な課題となっている。そこで本研究は、グリーン・イノベーションの牽引力として、光の高速性とコヒーレンスという特徴を最大に利用した究極的な性能を有する光通信の実現を目的とする。具体的には、超短光パルスの振幅および位相に同時に情報を乗せ、さらに光時分割多重(OTDM: Optical Time Division Multiplexing)方式を導入することにより、超高速且つ高効率な光伝送技術を実現することを目的とする。本技術は、光の領域で時間多重を行うことから、電子デバイスの処理限界を超える超高速伝送が低い消費電力で実現できる点が特徴である。それと同時に、振幅と位相を多値変調することにより周波数利用効率が格段に向上し限られた周波数資源を有効に利用できる。その結果、基幹光通信システムの省エネルギー化ならびに高効率化に大きく貢献することができる。さらに、この方式は単一チャンネルで1 Tbit/sを超える高速伝送を比較的低速な光・電子デバイスで実現することができることから、経済性に優れた伝送システムである点も大きな特徴である。このように本研究を通じて、グリーン・イノベーションの牽引力として、光の高速性とコヒーレンスという特徴を最大に利用した究極的な性能を有する光通信の実現が期待される。以上のような世界最高性能の高速・高密度伝送システムの構築を通じて、大容量化と低消費電力化の間のトレードオフを解消し、容量限界の打破と消費電力の削減に挑戦することが本研究の目標である。

本研究で新たに実現する超高速・高効率光伝送方式の基本概念を図1に示す。色の異なる光パルスは、それぞれ異なった位相情報と振幅情報を有する超短光パルス列であり、これらを光領域で多重化して高速パルスの多値伝送を実現する。従来の超高速光パルス伝送では、その変調方式はバイナリーもしくは最大でも1シンボルあたり2ビットの多値度であった。一方本伝送方式では周波数を安定化させた光パルスを用い

直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation) と呼ばれる方式によりその振幅と位相の両方に多値の情報を乗せることによって超多値化を図る。例えば 64 (=2⁶) QAM は 1 シンボルで 6 ビットの情報を表現できることから、バイナリー信号と同じ帯域で 6 倍の情報伝送 (すなわち 6 倍の周波数利用効率) が可能となる。この 64 QAM 変調を OTDM 伝送に適用すると、シンボルレートが 160 G であっても伝送速度は 160

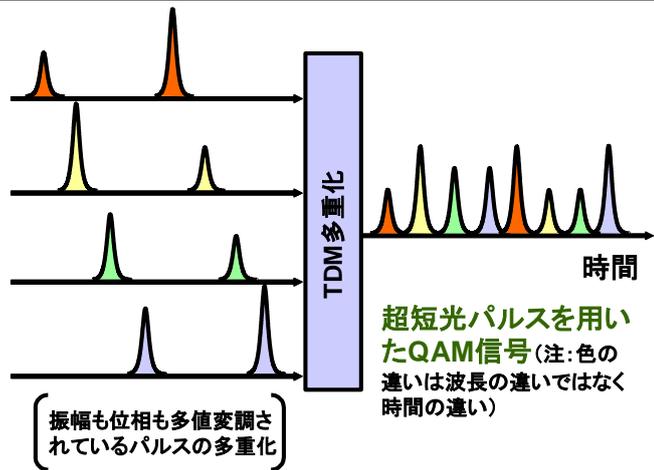


図1 OTDM と QAM の融合による低消費電力な超高速超多値伝送

Gsymbol/s×6 bit/symbol = 960 Gbit/s (偏波多重と組み合わせると 1.92 Tbit/s) となり、1~2 Tbit/s 級の超高速伝送を比較的低速な伝送技術で実現することができる。

このような新しい光伝送技術を実現するために、本研究では我々がこれまで取り組んできた超高速 OTDM ならびに超多値コヒーレント QAM に関する技術的蓄積をもとに、コヒーレント超短光パルス発生、超高速パルスの高精度光位相同期、OTDM-QAM 信号の高感度コヒーレント検波ならびにデジタル信号処理などの要素技術を開発する。これらを結集させて、OTDM-QAM 信号による単一チャネルテラビット伝送を実証し、超高速・高効率光伝送の基盤技術を確立する。具体的には、OTDM-QAM 信号の S/N 特性、波長分散・偏波分散に対するトレランス、ならびに非線形光学効果による信号歪みなどの伝送特性を実験および解析により詳細に評価・検討し、テラビット長距離伝送に最適なパルス波形、シンボルレートならびに多値度を明らかにする。最終的には、従来の 10 Gsymbol/s を大幅に凌駕する 160 Gsymbol/s 以上のシンボルレートならびに 64 値以上の多値度により、1 波長あたりテラビットの伝送をこれまでの 10 倍以上の効率で実現することを目標とする。

【総合評価】	
○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】	
①	総合所見
<p>新たな超高速・高効率光伝送技術を実現することを目的とし、OTDM と QAM を組み合わせたコヒーレント光伝送技術により、1.6 Tbit/s の伝送容量を従来の 10 倍以上となる 160 Gsymbol/s のシンボルレートで実現し、単一チャネル 1.92 Tbit/s の速度で 150 km の伝送に成功した。また、サブピコ秒の超短光パルスを用いて、シンボ</p>	

ルレート 640 Gsymbol/s、多値度 4 の方式により、2.56 Tbit/s の速度で 300 km の超高速伝送にも成功した。さらに、光ナイキストパルスが、従来用いられてきたガウス型光パルスを大幅に上回る伝送性能を達成できることを実証し、超高速光伝送に最適な光パルスであることを世界で初めて明らかにしたことは、本研究の大きな成果である。

本伝送は電子デバイスの処理限界を超える伝送速度でありながら、10 GHz 程度で動作する電子デバイスとパッシブな光デバイスだけで実現している。このように高速 OTDM と多値 QAM の融合は、従来の並列方式に比べ超高速光伝送システムの低消費電力化に大変有効であり、経済性の点からも優れた伝送技術であると言え、グリーン・イノベーションに貢献するものと考えられる。

② 目的の達成状況

・ 所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

RZ (Return-to-Zero) と呼ばれるガウス型形状のコヒーレントな光パルスをシンボルレート 160 Gsymbol/s に時間多重し、これを 64 QAM で多値変調・偏波多重することにより、単一チャネル 1.92 Tbit/s の速度で 150 km の伝送に成功し、上記 (1) で掲げた所期の目標を達成した。また、サブピコ秒の超短光パルスを用いて、シンボルレート 640 Gsymbol/s、多値度 4 の DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 方式により、2.56 Tbit/s の速度で 300 km の超高速伝送にも成功している。さらに、シンボルレートの高速化に伴い、超短パルス伝送には光ファイバの偏波分散 (PMD: Polarization Mode Dispersion) による伝送限界が存在することを実験および解析により見出し、シンボルレートと多値度の間には最適な組み合わせが存在することを明らかにした。この伝送限界を克服するための取り組みとして、新しい光パルス「光ナイキストパルス」による超高速・高効率 TDM 伝送技術を提案し、超高速伝送に最適なパルスであることを示した。本パルスにより、テラビット長距離伝送が従来の RZ パルスを大幅に上回る伝送性能で達成できることを明らかにし、研究当初予期しなかった極めて重要な成果が得られた。

② 研究の成果

・ これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が (ある ・ ない)

・ ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が (創出された ・ 創出されなかった)

・ 当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

OTDM と QAM を組み合わせたコヒーレント光伝送技術により、1.6 Tbit/s の伝送容量を従来の 10 倍以上となる 160 Gsymbol/s のシンボルレートで 150km の伝送に成功し、さらに、サブピコ秒の超短光パルスを用いて、シンボルレート 640 Gsymbol/s、多値度 4 の方式により、2.56 Tbit/s の速度で 300 km の超高速伝送にも成功している。これは本技術の優位性を示している。

さらに光ファイバの偏波モード分散 (PMD に伴う超短パルスの伝送限界を明らか

にし、これを克服するための取り組みとして光ナイキストパルスの適用を考えた。これは当初の目的にはなかったもので、従来用いられてきたガウス型光パルス方式の限界を大幅に上回る伝送性能を達成できることを伝送実験で実証し、超高速光伝送に適した光パルスであることを見出した。これは本研究の先進性を示すものであり、超高速伝送には超短光パルスが不可欠という既成概念を覆した新しい方向性を示し、超高速光通信のブレークスルーを示したと言える。

③ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

光通信における周波数利用効率向上に大きく貢献する研究成果を上げており、海外を含むいくつかの研究機関でも既に関連研究が始まっており、超高速光通信分野の進展に寄与することが期待できる。

本研究成果によりテラビット級の高速伝送が可能となることから、基幹光通信システムの高効率化に寄与することが期待される。

④ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

目的達成のための研究人員が確保されており、各研究者は高い専門技量を有しており優れた成果を上げつつある。研究実施体制は適切である。

雑誌論文 査読有り 13件 (内、招待論文 1件)、査読無し 1件)、会議発表 専門家向け 28件 (うち招待講演 4件)、一般向け 2件)、図書 1件、知的財産権の出願・取得 出願中 3件、新聞・一般雑誌等の掲載 5件、これら、研究成果の積極的な公表や発信は適切に行われた。また、東北大学内でのサマーサークル、中学、高校への講習、出前授業等を行い国民との科学技術対話は適切に実施されている。