

- **光時分割多重／波長多重のハイブリッド階層化ネットワークに画期的な進展**
— 相対周波数が基準化された81チャンネルの光波長群を単一光源で一括生成・伝送 —

- 平成13年9月13日

独立行政法人通信総合研究所(以下CRL、理事長:飯田尚志)は、上智大学小関健教授と共同で、光時分割多重と波長多重の階層化を行ったハイブリッド光ネットワーク用に、新たに81チャンネルの40Gbps光波長群を単一光源で一括生成・伝送する技術を開発しました。次世代フォトニックネットワークにおいて波長単位での信号切替を機能的に行い、ペタビット級ネットワークを実現するための基礎技術として期待されます。

<背景>

政府が進めるe-Japan重点計画(高度情報通信ネットワーク社会の形成に関する重点計画)では、2005年までにペタビット級ネットワーク通信の基礎技術を確立し、2010年頃を目途に実用化を図ります。現在、波長多重ネットワークの波長数の増加に伴い、その効率的な使用とトラフィック制御が研究の焦点となっています。CRLでは、ペタビット級フォトニックネットワークを機能的・効率的に実現する方式として、光時分割多重／波長多重(OTDM: Optical Time Division Multiplexing / WDM: Wavelength Division Multiplexing)を上位と下位ノードで階層化したハイブリッド階層化フォトニックネットワークを提案しています。例えば全国規模ネットワークでは、東京ー大阪といったトラフィックが集中する上位ノード間は優先順位を設定し、下位ノードをバイパスできる構成が有効です。このためには、数10波のWDMチャンネルを束ねた波長バンドと呼ばれる波長多重信号群の階層化が必須で、上位ノードトラフィックに単一光源を用いたテラビット級OTDMを割り当てるOTDM/WDMハイブリッド階層化フォトニックネットワークが効果的と考えられています。

<本成果の特長>

OTDM/WDM階層化ハイブリッドネットワークにおいては数10波のWDMチャンネルを束ねた波長バンド光信号を効率的に生成する方式が不可欠です。本成果の特長は、超高速光信号処理技術を駆使して、上位ノードにおいてOTDMを実現するため、単一光源から81チャンネルの波長バンド信号の生成を行ったことにあり、従来よりも簡便かつ厳密にWDMチャンネル間の周波数制御が行える点で実用的です。また光信号のまま40Gbpsでキャリア周波数を抑圧して信号を多重した点に新規性があります。両技術を用いることでチャンネル干渉のない広帯域光信号を生成し、8THzにおよぶC-およびL-波長バンドにおいて周波数間隔が一定の81チャンネル波長バンド信号を世界で初めて生成・伝送しました。

<今後の発展>

さらにOTDMとWDMの方式変換技術を組み合わせることでOTDM/WDMハイブリッド階層化フォトニックネットワークの実現が可能となります。2005年までにペタビット級ネットワークの基礎技術を確立すべく、さらなる超大容量化・高機能化を目指します。また、この成果を9月30日～10月4日にオランダで開催される国際会議 European Conference on Optical Communication(ECOC '01)において発表いたします。

(お問い合わせ先)

独立行政法人通信総合研究所 基礎先端部門

超高速フォトニックネットワークグループ

中條 渉

042-327-5552

【用語の説明】

【OTDM】: 光時分割多重(Optical Time Division Multiplexing)。光多重通信方式の一種。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多重通信方式。商用TDMの現状は10Gbpsで現在40Gbps化の検討が進んでいる。

【WDM】: 波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing)。光多重通信方式の一種。与えられた波長帯域を一定の波長間隔で異なる波長に分割して多数のチャンネルを割り当てる多重通信方式。商用WDMの現状は10Gbpsで160チャンネルの波長多重が行われている。

【階層化】: 下位ノードで各ユーザに割り当てられたチャンネルを複数チャンネル束ねて、上位ノードではまとめて処理する方式。

【上位ノード】: トラヒックの流れを考慮してネットワークの階層化を行う際、取り扱うトラヒック量の大きなノード。

【下位ノード】: トラヒックの流れを考慮してネットワークの階層化を行う際、取り扱うトラヒック量の小さなノード。

【周波数基準】: WDMネットワークにおいては、波長数増加に伴い、隣接WDMチャンネルからの影響を避けるべく、各WDMチャンネルの光信号のキャリア周波数の厳密な管理が求められる。送信器では伝送信号で変調された異なる波長の光が合波され送信される。波長は各チャンネルに対応して割り当てられる。信号波長は通信の国際標準化機関ITU-Tで議論され、周波数193.1THz(1,552.525nm)を基準に、100GHz(0.8nm)間隔で並んだ周波数グリッド上に波長を設定することが決定されている。WDM用光源としてはこのグリッドに一致する波長を持つ光信号送信器が必要になる。絶対周波数基準光源としては、レーザの波長を分子、原子ガスの特定波長の吸収線にロックする方法が提案されている。

【キャリア抑圧】: 時分割多重する際に、隣接信号間の位相を π シフトする事により、キャリア周波数が抑圧され、光信号に必要な周波数帯域が従来多重化方式よりも狭くできる方式。

【RZ】: return-to-zeroの略。信号“1”の時にビットフレーム内で信号値が“0”値まで戻る符号化方式。

【波長バンド】: 複数のWDMチャンネルを束ねて一括で処理を行う際に、必要となる波長帯域。波長群ともいう。

【クロスコネク】: 1.5Mビット/秒や50Mビット/秒といった高速の伝送路を收容して、64kビット/秒などの低速の回線チャンネルを任意の伝送路から任意の伝送路へ接続・分岐させる通信事業者のネットワーク伝送装置。

【Gbps】: bpsはデータ通信における情報の通信速度の単位であり、1秒間に通信することのできるビット数を表す。Gbpsは1秒間に10億ビットの情報を伝送すること。

【Tbps】: 1秒間に1兆ビットの情報を伝送すること。

【ペタビット】: Peta bps。1秒間に1000兆ビットの情報を伝送できる速度。1000万世帯が超高速インターネットアクセス網(100メガビット/秒)に同時に常時接続できる。

【40Gbps WDM】: インタフェースが收容可能であるだけでなく、波長多重(WDM)による大容量化を行う場合においても、10 Gbit/s以下の信号を波長多重する場合と比べ、少ない波長数(光源数)で大容量化が図れる利点があります。このことから、40 Gbit/s光伝送技術を用いることにより、ネットワークエレメントのマネジメントが簡素化できるとともに、高い周波数利用効率(全伝送容量/占有波長帯域幅)が得られるため、有限の光ファイバ増幅器の利得波長帯域を有効に活用することができる。

【C-バンド】: 光増幅器の性能から分けられた、光信号の波長バンドの1種。Center wavelength bandの略称。1530nm ~ 1565nm の35nm(約4.4THz)。

【L-バンド】: 光増幅器の性能から分けられた、光信号の波長バンドの1種。Long wavelength bandの略称。1565nm ~ 1625nm の60nm (約7.5 THz)。

【光ノード】: ネットワークの接続点(ノード)における様々な伝送処理において、光信号を電気信号に変換することなく光のままで行う技術。

【光信号処理】: 光信号を電気信号に変換することなく光のまま処理すること。ペタビット級の情報伝送を実現するためには必要不可欠な技術。

【スーパーコンティニューム光】: 光信号のスペクトルを光ファイバの非線形性と波長分散を利用した光信号処理により、元の信号スペクトルよりも拡散させた光。

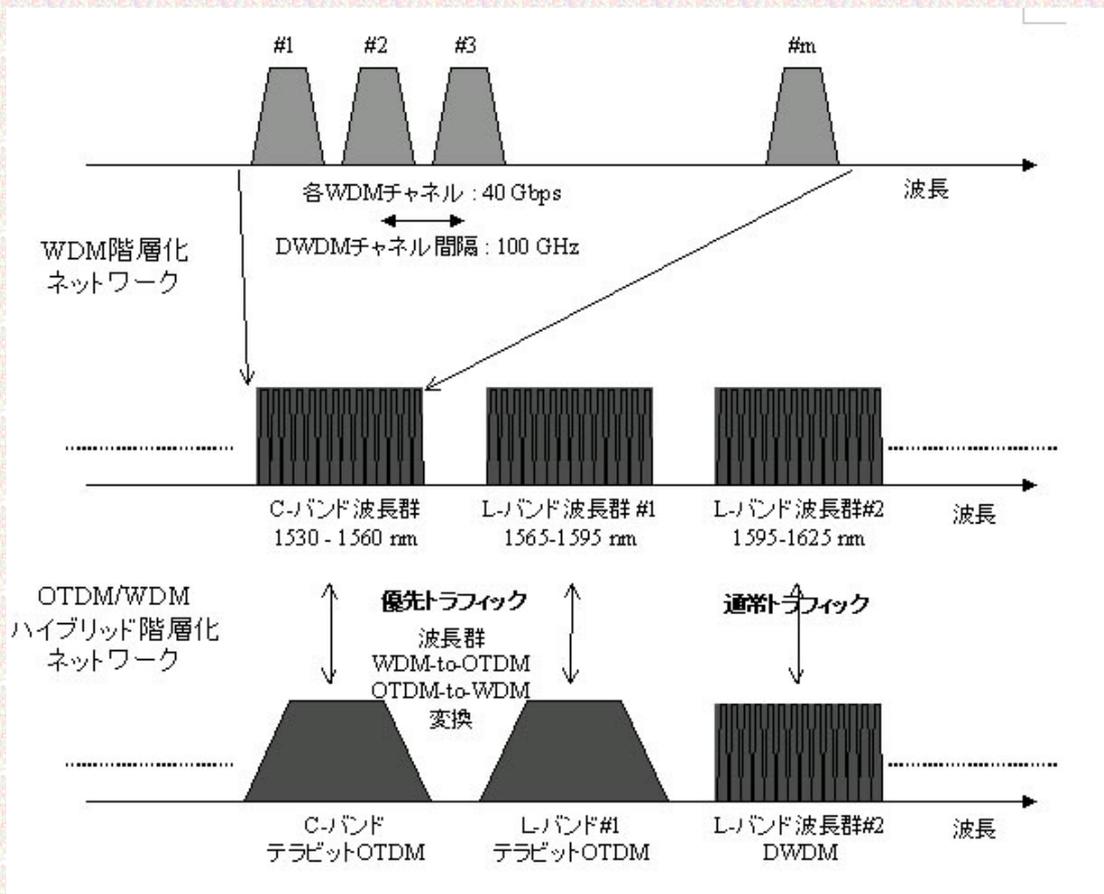


図1 波長バンド/WDMチャネルの配置

(波長バンドは波長群とも呼ばれ、複数のWDMチャネルを束ねたもの。WDM階層化ネットワークでは上位ノードでWDMチャネルを束ねて処理する。さらにOTDM/WDMハイブリッド階層化ネットワークでは、上位ノードにOTDMを割り当てる。)

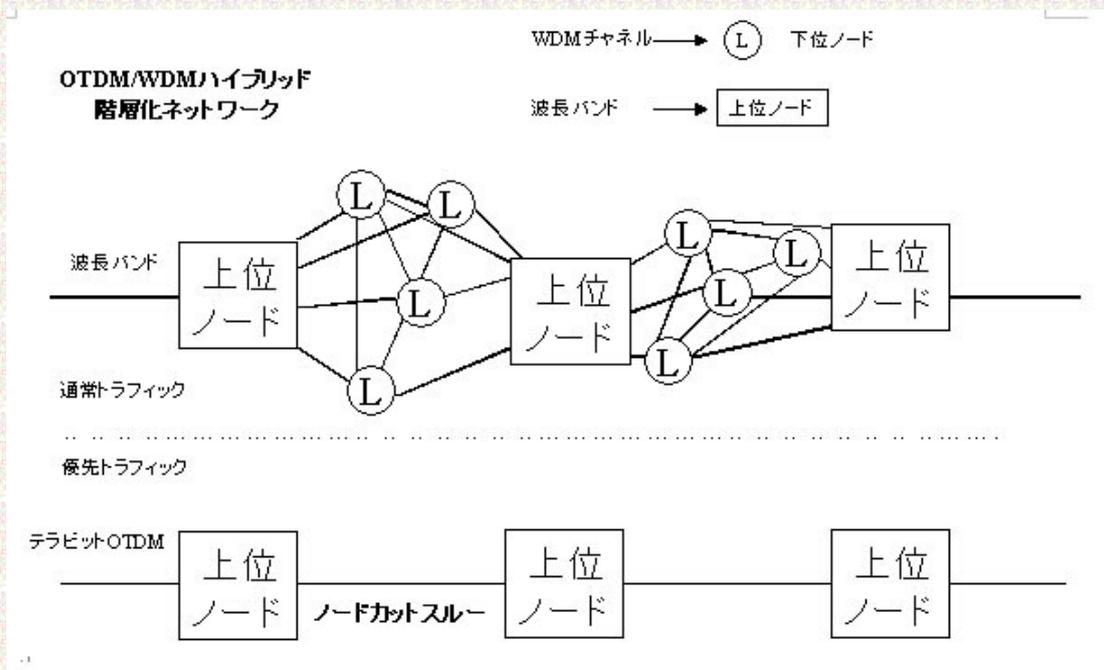


図2 階層化ネットワークの構成

(階層化ネットワークでは、東京ー大阪といったトラフィックが集中する上位ノード間は優先順位を設定し、下位ノードをカットしてバイパスする。)

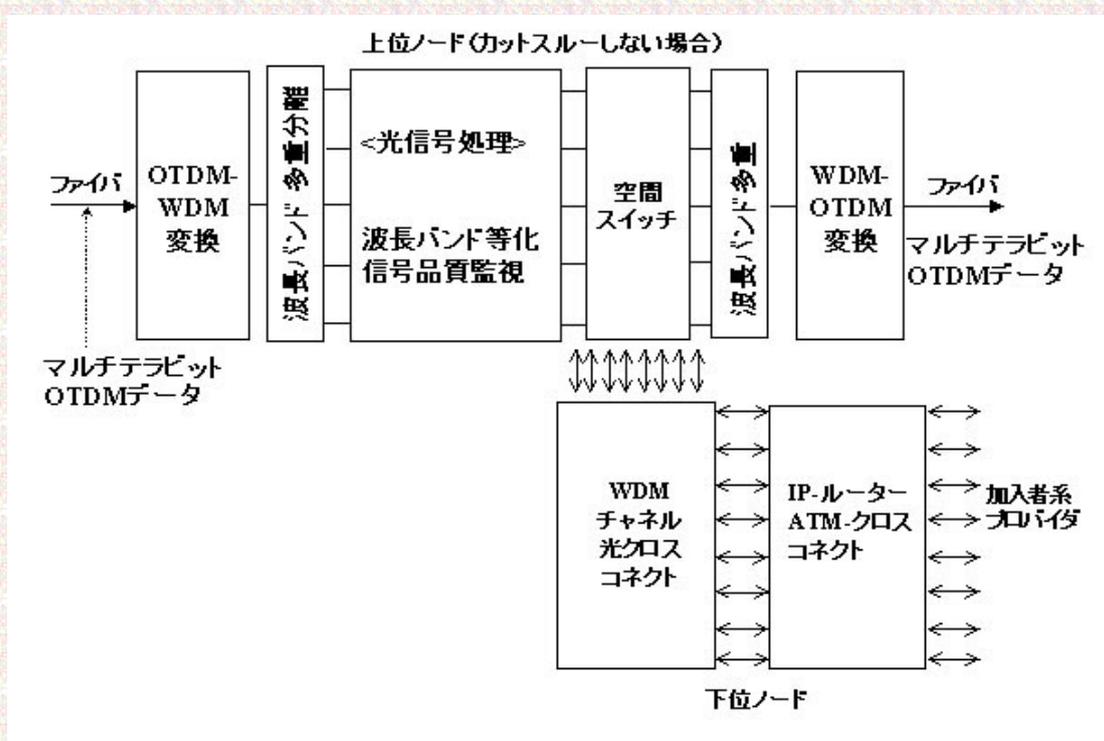


図3 OTDM/WDMハイブリッド階層化ネットワークの上位ノードの構成

(上位ノードはOTDMを用いることで、チャンネル毎に光信号品質監視を設ける制約から解放される。さらにOTDMとWDMの方式変換を行うことで上位ノードと下位ノードを接続する。)

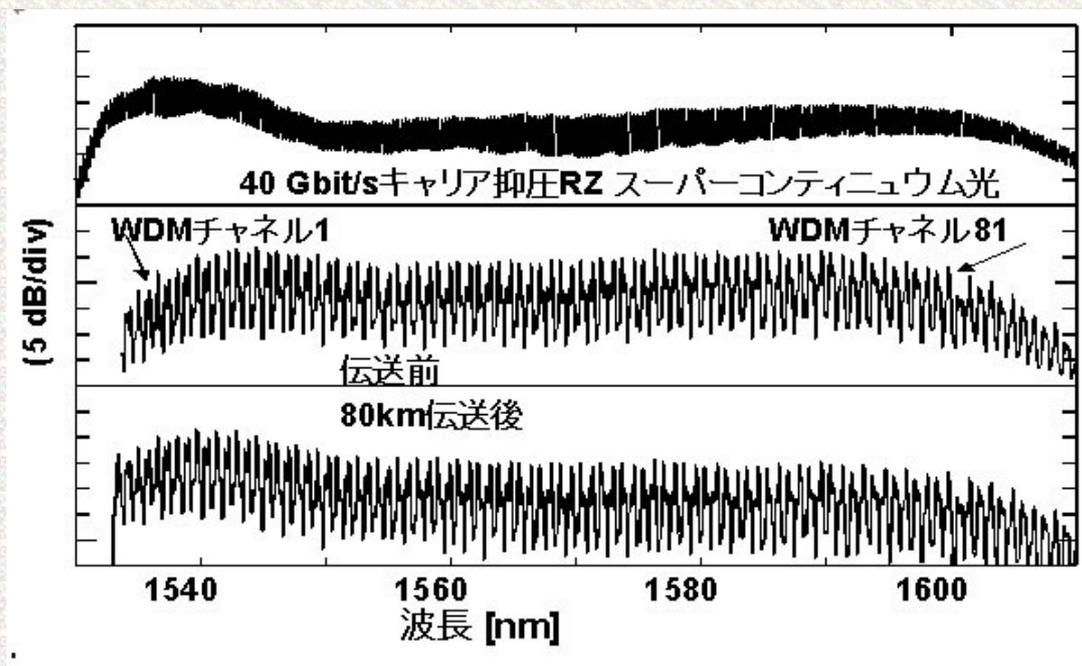


図4 単一光源による81 WDMチャンネルの相対周波数基準化キャリア抑圧RZ波長バンドの生成

(上図: 40Gbpsのキャリア抑圧信号で変調されたスーパーコンティニューム(超広帯域)光、中図: 切り出された81チャンネルの波長多重信号、下図: 80kmの光ファイバを伝送した後の81チャンネルの波長多重信号))

<補足説明>

情報・通信・ネットワークといった言葉が社会に定着し、インターネットを中心とする情報ネットワークが何の違和感もなく生活に密着する時代がすぐそこまで来ています。誰もが快適にライフラインとしての通信サービスを受けるためには、フォトニックネットワークが担うコアネットワークが大規模・大容量・高速化に柔軟に対応できるものとして発展し、ユーザサイドからコアネットワークまでをシームレスに接続することが望まれます。現在デファクトスタンダードの地位を確立したといえるInternet Protocol(IP)パケットデータは通信トラフィックの中心となることが予想されます。そういった潮流から、光伝送ネットワークの基本技術は広義のATM技術であり、ネットワークの効率化の鍵は、階層化によるノードカットスルー技術といえます。

光通信では主に光時分割多重(OTDM)や波長多重(WDM)などの光信号分離・多重方式が用いられています。OTDM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す。WDM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す。1990年代の中頃よりWDM技術が発達し、光通信の信号容量が飛躍的に増大し、現在では実験室レベルでテラビットを越える伝送が実証されています。

通信容量増大に関しては、OTDMとWDMの組み合わせにより大容量化が研究されてきました。しかしながら政府のIT政策(情報通信技術)政策にも述べられているように、今後、通信容量需要のさらなる加速が予想され、WDMをベースとする波長数の大幅な拡大が予想されます。それに伴い波長資源の効率的な使用とネットワークマネジメントが今後の研究開発の焦点になっています。日本における次世代フォトニッククロス接続システムの規模は、各県をフルメッシュで接続し東京ー大阪といったトラフィックの集中が予想される上位ノード間においては優先順位を設定し、下位ノードをバイパスできる構成が有効です。このためには、数十チャンネル単位のWDMチャンネルを束ねた波長バンドの階層化が必須で、上位ノードトラフィックに単一キャリア波長テラビットOTDMを割り当てるOTDM/WDMハイブリッド階層化フォトニックネットワークが非常に効果的です。

コアネットワークでの階層化をノードカットスルーの観点から検討しますと、階層化によるノードカットスルーは各チャンネルに光信号品質監視を設ける制約から解放され、経済的に非常に有利になります。また、数十の波長チャンネルを束ねた波長バンドのノードカットスルーは、波長バンド単位をひとつのキャリア波長による超高速OTDMで占有する事により、信号品質監視方式が簡略化され、効率的なネットワークを構成できます。ここに、OTDM/WDMハイブリッド階層化ネットワークの意義があります。CRLでは、これまで超高速光信号のOTDM/WDM双方向多重化方式変換の実証や、超高速光信号の無歪み伝送の研究を行ってきました。

光ファイバの非線形性を利用したスーパーコンティニューム(超広帯域)光は、簡便な大容量OTDM/WDM光源として研究されていますが、今回これを40Gbpsベースの波長バンド信号生成OTDM/WDM光源として応用しました。これにより、WDMチャンネル間の相対的な周波数間隔は非常に高安定化されました。また40Gbps信号としては、光信号の位相制御を施した光多重化を行い、従来よりも狭帯域なキャリア抑圧RZ信号生成を行っています。これらの超高速光信号処理技術を組み合わせることにより、約8THzの波長バンドにおいて81チャンネル波長多重信号の相対周波数基準化キャリア抑圧RZ波長バンドの生成に成功しました。通信容量需要の急激な拡大により、従来のWDMチャンネルの増大化による容量拡大だけでは経済的効率の観点からも新しいネットワークマネジメント法が要求されています。今後は、OTDM/WDMハイブリッド階層化ネットワークを導入することにより、より柔軟なペタビット級フォトニックネットワーク構築の実現に向けた研究開発を実施します。