

平成21年4月10日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760262  
 研究課題名 (和文) 光バーストスイッチングへの光符号分割多元接続技術の適用  
 研究課題名 (英文) Applications of Optical Code Division Multiple Access Techniques to Optical Burst Switching  
 研究代表者  
 鎌倉浩嗣 (KAMAKURA KOJI)  
 千葉工業大学・情報科学部・助教  
 研究者番号：60344967

## 研究成果の概要：

光信号処理による特色を活かした方式として、OBS ネットワークにおけるバースト競合を解決するために光符号分割多元接続 (OCDMA: Optical Code Division Multiple Access) 技術を用いた光信号処理を付加する解決方法を確立することである。光バースト信号を予め OCDMA による符号化することで、空間という新しい次元の信号空間を光信号領域で作る方法を提案することにより、複数のバーストが同時刻に同一の光波長を転送されても、受信ノードの復号処理によって、混在した光信号の中から、符号を手がかりに、希望のバースト信号を正しく受信することを可能にすること。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	480,000	3,780,000

## 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：OBS, OCDMA, 符号化

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 次世代高速光通信網の実現に欠かせないスイッチング方式として、光バーストスイッチング (OBS: Optical Burst Switching) が注目されている。ADSL, FTTH の普及によるアクセス網の高速・大容量化にともない、これらを束ねる基幹ネットワークの高速化は必要不可欠である。波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) などの光伝送技術の進歩によって、インターネットのノード間の伝送速度は、商用でも 1Tb/s を超え、実験室で 10Tb/s に迫るなどその需要

にこたえつつある。しかしながら、中継ノードにおける IP パケットの経路制御などのルーティング処理が、電子回路の速度限界に迫っており、電気処理によるルーティング処理が光ファイバの伝送容量を生かしきることができず、次世代光 IP ネットワークを実現する上でボトルネックとなっているという問題がある。

(2) そこで、この電気処理を経ることによるボトルネックを解消し、今後のトラフィック需要を満足するために、ルーティングなど通信網の分岐点に届いた光信号を、光のままスイッ

チングする OBS への注目が集まっている。現在電気処理されている中継ノードでの処理を光学段で行うスイッチング方式は、2つに大別できる。一つは、光信号を波長単位でパスとして切り替える光波長スイッチング方式と、もう一つは、光信号に変調されたパケットを光のままパケット単位でスイッチングする光パケットスイッチング方式である。光波長スイッチング方式は、MP $\lambda$ S (Multi-Protocol Lambda Switching)とも呼ばれ実用段階に入りつつある一方、光パケットスイッチング方式は、光メモリや $\mu$ 秒 ( $10^{-6}$ ) オーダーの高速なパス切り替え可能なデバイスの必要性から、現在の光技術では実現困難な状況にある。したがって、OBSは、光波長スイッチングよりも高速なパス切り替えを可能としながら、現状の光技術で光パケットスイッチングに近い光スイッチングを実現する方式として、光波長スイッチング方式と光パケットスイッチング方式の中間的な光スイッチング方式として、世界的に活発にその実現に向けて研究が行われている。

(3) OBSとは、同一経路をもつ複数のIPパケットを集めて大きなバーストを生成し、そのバーストと呼ばれるパケットより大きな単位で光スイッチングを実現する技術である。図1に示すように、送信ノードAに到着したIPパケットは、一定の規則によって集められてバーストとして生成される。

一旦、送信ノードでバーストが生成されると、

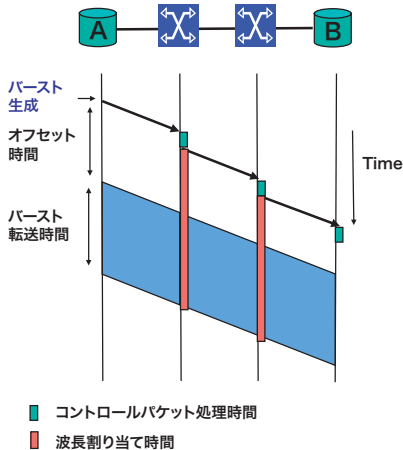


図 2

は、経路情報に基づいて、図1に波長割当時間として示されるように、必要な光帯域をバーストの到着までに予め予約することで、オフセット時間経過後に、送信ノードから送出されるバースト自身は、光信号のまま予約された経路を目的ノードまで通過していくことができる。したがって、原理的には、中継ノードにおけるバッファリングや複雑な光制御や光電変換が不要となり、光通信の高速性を活かしたスイッチングが可能となる。

(4) しかしながら、中継ノードにおいて複

数の制御パケットの到着によって経路予約

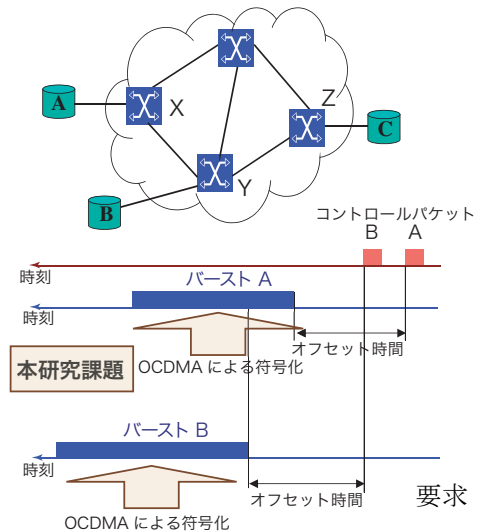


図 1

が重複する(バースト競合)という問題が生じる。例えば、図2に示すように、送信ノードAから目的ノードCまで、中継ノードXとYの帯域を予約しながら、送信ノードAからのバーストAが転送されるとき、送信ノードB(バーストB)からのコントロールパケットとの予約が、中継ノードYにおいて競合している。つまり、バーストAとバーストBとの転送時間が、重複しているために、いずれか一方のバーストのみが転送許可され、他方の予約要求は破棄される。図2の場合、コントロールパケットAの方が、Bよりも先に中継ノードYに到着したことを表しているのので、First-in First outによれば、バーストBに対する予約が破棄される。このように、予約要求したことにバースト競合が起こった場合、いずれか一つのバーストのみに波長は割当てられ、競合に破れたバーストは棄却される。バーストが棄却されると、その上位レイヤにあるIP層ではパケットが到着しないことを意味し、ネットワーク遅延が増大する。したがって、OBSの実現には、この遅延を低減する有効なバースト競合解決手段が必要不可欠であった。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究課題の目的は、光信号処理による特色を活かした方式として、OBSネットワークにおけるバースト競合を解決するために光符号分割多元接続(OCDMA: Optical Code Division Multiple Access)技術を用いた光信号処理を付加する解決方法を確立することにある。本研究課題の特色は、図2に示されるバースト信号を予めOCDMAによる符号化することで、このバースト競合問題を解決しようとするものである。符号空間という新しい次元の信号空間を光信号領域で作ることにより、複数のバーストが同時刻に同一の光波長を転送されても、受信ノードの復号

処理によって、混在した光信号の中から、符号を手がかりに、希望のバースト信号を正しく受信することを可能にする点にある。

(2) これまでのバースト競合問題に対する解決方法としては、電気通信技術で既に知られたものを光領域へ演繹したものであった。つまり、光バッファリングによる方法、または代替光パスによる迂回ルーティングによる方法で、バースト競合が起こったとき、時間的にもしくは波長的にずらすことにより、衝突を回避するものであった。前者は、光メモリ技術が実用段階にないため光学段で行うことが難しく、光電変換を経て電気処理を行う方法では、その変換処理がやはりボトルネックとなってしまう問題が残る。

(3) 一方、後者の迂回ルーティングは、迂回による伝搬遅延や、迂回した先の経路でのネットワーク負荷の上昇を招き、結果として棄却率が上がってしまうなど、両方法とも本質的な解決には至らないでいた。

(4) これらと比較して、本研究課題で確立しようとする解決方法は、符号化という信号処理を施すことで、バースト競合時においてもそれらの同時転送可能にするという機能を追加しようという新しい系訣方法であり、符号化をしておくことで、むしろ衝突を許して、受信ノードにおいてバースト衝突の影響をなくそうとする独創的なものであり、これまでにない衝突回避技術としての学術的意義も大きい。また、従来の解決方式はいずれも中継ノードにおいて競合を解決するものであり、現在の光技術では実現が極めて複雑な制御を要するものとなるが、本研究課題のOCDMAによる競合解決方式によれば、送信ノードにおける符号化と受信ノードにおける復号処理によって行われるので、原理的に中継系においては全く複雑な制御を必要としないという従来までには得られなかった効果を得ることができる。

(5) その結果、中継ノードでは、単に、符号化されたバースト信号をただ光のまま転送しさえすればよく、光ネットワークの簡素化が図られ、この簡素化により、コストの面で導入が困難であったエリアへの光ネットワーク化が促進されると同時に、次世代のネットワークに要求されるネットワークの透明性が確保されるといった効果も期待される。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究課題は、効率的に研究を進めるため、OCDMAによる光信号処理の追加によりOBSのバースト競合問題解決を次の2つの課題に分けて取り組んだものである。

(2) [バースト信号のOCDMAによる符号化・復号処理部分に関する課題] 現在、大容量で通信品質の高い光多元接続技術が求められており、特に、OCDMAは、そのほとんどがパ

ッシブな光デバイスで構成されること、全系で同期や波長制御を必要としないことなどの利点から、他の光多元接続技術よりも経済的に、大容量高品質なネットワークシステムを構築できることが期待される。しかしながら、同期および波長制御を不要な反面、各符号間相互の相互相関に起因する多元接続干渉を制御しなければ通信品質は劣化してしまう問題がある。

そこで、バースト競合時に生じる多元接続干渉の影響を効率良く除去する方式を誤り訂正符号の利用によって除去することを検討し、そのためのOCDMAによる符号化・復号処理部分を詳細に検討した。光通信が強度変調直接検出に基づいていることから、バースト競合時の干渉信号がOCDMA通信路を非対称誤り通信路にすることを既に明らかにしていたので、まず、非対称誤り訂正符号の利用により多元接続干渉の除去を検討した。

次に、非対称誤り訂正符号は、大きな訂正能力を持たせようとする、その符号化・復号化アルゴリズムが極めて困難になることが予想されたが、符号化・復号化アルゴリズムが簡易な対称誤り訂正符号の利用により、効率よく多元接続干渉の影響を除去する方式を提案しその有効性を示した。

(3) [OBSの通信品質要求に関する課題と題した研究課題] OBSネットワークの重要な課題のもう1つにサービス品質差別化があり、そのための方式としてさらに、オフセット時間を追加する追加オフセット方式が知られているが、この方式は、中継ノードでの予約処理がFirst-In First-Outで行われることに着目し、優先性の高いバーストへ予め長いオフセット時間を付与する方式である。長いオフセット時間が与えられると中継ノードにおいても、コントロールパケット到着からバースト転送が開始されるまでの実際のオフセット時間も長くなるので、結果として、中継ノードにおける帯域予約がバースト転送時間に対して早まる効果が生じ、その結果として、予約成功確率を高めることができる。この方式は、主にJETアルゴリズムと併用して用いられてきた。しかしながら、Horizonはそのアルゴリズムの簡単さから、制御パケットの高速処理を行えるので有効だが、サービス品質差別化のために追加オフセット方式を併用するとバースト棄却率が悪化してしまう問題があった。この理由は、追加オフセット方式では各バーストに、その優先度に応じて異なる初期オフセットを持たせるため、各バーストが持つ実効オフセットの差が大きくなるためであることをつきとめた。この状況下では、長い実効オフセット時間を持つバーストによって長い無効時間が作られやすくなる。一方、実効オフセットが短いバーストが存在するので、それらが無効時間

への予約要求を行う機会が増えてしまう。無効時間への予約要求は棄却されるので、全体のバースト棄却率は増大してしまうので、Horizonにおける有効なサービス品質差別化方式を考える必要があった。

(4) また、追加オフセット方式には、初期オフセットの増加はバースト送信開始までの待ち時間の増加を意味するため、追加オフセット方式では優先性の高いバーストほど遅延が増加する問題がありかつこの方式はマルチホップ環境下で用いるとバーストの優先性が経由したホップ数に応じて変化してしまう問題があった。実質オフセットの長さが中継ノードを経由するごとに減少するので、バーストの優先性もそれともななって低くなるからであった。このため、優先性の高いバーストであっても多数のホップを経由した後は優先性の低い予約要求によって棄却され、優先順位の逆転が生じてしまう問題があった。更に、送受信間のホップ数はバースト毎に異なるので、適切な追加オフセット時間を算出するのは困難であった。

#### 4. 研究成果

(1) 光バーストスイッチング(OBS)におけるバースト競合を解決するために符号分割多元接続(CDMA)技術を用いたメディアアクセス制御技術を確立するものである。光CDMAを用いたOBSネットワークに適したIPパケットからバーストが生成方法送受信方法、フレームの形式、干渉除去、誤り制御方式などの構成例を提案し、数値解析、シミュレーションを通して基礎技術を具体化した。提案方法の特色は、光信号を符号化することで、符号空間という新しい次元の信号空間を光領域で作ることにより、複数のバーストが同時刻に同一の光波長を転送されることを可能にしたところにある。申請者の提案方式は、従来のような電気通信技術で既に知られたものを光領域へ適用したのではなく、符号化によって同時転送可能にし、結果として衝突の影響をなくそうとする独創的なものと評価されており、衝突回避技術としての学術的意義が大きい。また、提案する光CDMAによる制御によれば、送信ノードにおける符号化と受信ノードにおける復号によってのみ行われるので、従来のような中継ノードにおいて複雑な制御を必要としない利点が多い。中継ノードでは符号化されたバースト信号をただ光のまま転送しさえすればよく、この簡素化により、コスト面で導入が困難であったエリアへの光ネットワーク導入が期待される効果がある。研究成果として、光CDMAによりバーストが並列伝送された際に問題となる多元接続干渉の影響を誤り訂正符号の適用を検討する研究と、バーストの優先クラスを制御する優先制御方式を検討し、一般的なトラフィック分布

を仮定し、均一トラフィック環境化において優先制御方式による優先制御が可能であることを示し、国外において評価を得た。これらの成果は2007年6月に電子情報通信学会論文誌で発表した。

(2) OBSネットワークにおけるバースト競合を解決するために、研究計画書の通り、光CDMA技術を用いた光信号処理を付加する解決方法を検討した。具体的には、光バースト信号を予めOCDMAによる符号化することで、空間という新しい次元の信号空間を光信号領域で作る方式を提案し、複数のバーストが同時刻に同一の光波長を転送されても受信ノードの復号処理によって混在した光信号の中から符号を手がかりに、所望のバースト信号を正しく受信することができるものである。そのため、計算機上で通信路をシミュレートし、実際の光CDMAを実験した場合に値する精度で、バースト送信した際の棄却率や、所定のバースト棄却率以下を維持するために必要な光電力などを見積棄却率特性に差を持たせることができることを明らかにした。これらの成果は2008年12月に開催の国際会議 International Symposium on Information Theory and its Applications において研究発表を行った。

#### 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1件)

①. Takashi Kodama, Koji Kamakura, and Ken'ichiro Yashiro, "Service Differentiation Scheme Using Two Horizons for Horizon Based OBS Networks," IEICE Transactions on Communications, vol.E.90-B, no. 6, pp.1374-1380, June 2007, 査読有り [学会発表] (計1件)

①. Hiroyuki Noguchi and Koji Kamakura, "Effect of One-way Mode of Hybrid Reservation on Slotted Optical Burst Switching Networks," Proceedings of 2008 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2008), December 8th, 2008, Auckland, New Zealand, 査読有り

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鎌倉 浩嗣 (KAMAKURA KOJI)  
千葉工業大学・情報科学部・助教  
研究者番号：60344967