

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560474

研究課題名(和文)光バーストスイッチングにおける光符号多元接続技術及びネットワーク符号化の適用

研究課題名(英文)Optical code division multiple access techniques and network coding for 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・准教授

研究者番号：60344967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、光バーストスイッチングの通信品質をより高め光信号処理機能を追加するために、光符号分割多元接続(OCDMA)技術による符号化を行なうことを検討した。符号化によって、中継ノードにおいて予約要求の競合があっても受信ノードにおける受信成功確率を高めることができることそして、片方向予約を可能にすることによって予約信号が送受信ノード間を往復する間何もしないでいる間にもスロット伝送が可能になることから、バースト伝送効率を大幅に改善できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this project, the use of optical code division multiple access technique was investigated for efficient, flexible, and robust optical burst switching. It is shown that by encoding optical bursts, they will pass through intermediate nodes in the core network even if burst contentions happen at the nodes, thus increasing the success probability of burst transmission.

研究分野：情報通信工学

キーワード：通信・ネットワーク工学

## 1. 研究開始当初の背景

光ネットワークは、グリッドコンピューティング、e-サイエンス、e-ヘルスケア、IPTVなどこれまでになかったアプリケーションの出現にもより、通信トラフィックは5年間で概ね1000倍と言われる割合で増大し続けており、今後の情報通信において必要不可欠な通信基盤であり、その整備は急務である。通信トラフィックの中心は、インターネットプロトコルに代表されるIPパケットであるが、IPパケットを処理するノードは2015年にはペタビット、2025年にはエクザビット級オーダーに達すると見込まれ、現在の電気処理によるノード処理では限界であり、光信号のままパケット単位でスイッチング処理を行う光パケットスイッチングが指向され、盛んに研究されている。

光伝送技術の進展により1波長当たり40Gbpsで、高密度波長分割多重(DWDM)技術により波長チャネル数が1,000波に到達し、光ファイバ1芯当たりの伝送容量がテラビット( $10^{12}$ bits)級に到達するなど伝送技術は一定の需要に応えつつある。しかしながら、これら光リンクをIPパケットの経路にあわせて動的に割り当てるための光技術が未成熟である。具体的には、パケットのヘッダを処理する間、パケットを光信号のまま格納し任意の時間で出力できる光メモリや、 $\mu$ 秒( $10^{-6}$ 秒)単位で光経路を切り替える

ことができる光素子などが必要であるが、現在の光技術では光領域におけるパケットスイッチングは実現困難な状況である。そこで、現状の光技術によっても、中継ノードにおける処理を光パケットスイッチングに近い形で実現する光交換技術として、光バーストスイッチング(OBS)が世界的に活発に研究されている。

OBSとは、送信ノードにおいて、同一目的ノード宛のIPパケットを一定の基準に従ってIPパケットよりも大きな処理単位であるバーストを生成し、このバースト単位で、光スイッチングを実現しようとする技術である。

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、一定の生成基準でバーストとして生成される。一旦バーストが生成されると、送信ノードAは、そのバースト転送に必要な経路情報や時刻情報をもつ制御パケットとよばれる制御信号を生成する。制御パケットは、バースト転送に先行して、バースト経路に沿って目的ノードまで送信される。この制御パケットを受けた中継ノードでは、送信ノードからバーストが送信される時刻やその長さに基づいて、その中継ノード上をバーストが実際に通過する時間に相当する波長割当時間(図1:ノード上の塗りつぶした区間)だけ波長を予約する。中継ノードは、そのノードにおける波長予約が成功すると、経路に沿った次ノードに向けて制御パケットを送信し、その制御パケットを受け取った中継ノードもまた、同様の予約処理を行なう。一方、送信ノードは、この予約処理が、送信ノードから目的ノードまで繰り返され、バースト転送に必要な波長予約が行われる時間(図1:オフセット時間)が経過すると、送信ノードから目的ノードBまでの予約された波長を光信号のまま通過していくことができる。このようにOBSでは中継ノードにおけるバッファや複雑な経路計算をするための光電変換が不要となり、光伝送の高速性を活かした光スイッチングが可能となる利点がある。

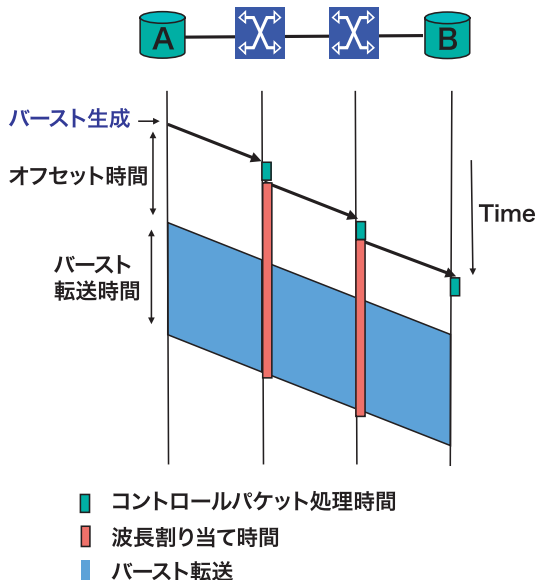


図1:制御パケットとバーストの転送ダイアグラム

## 2. 研究の目的

本研究課題の目的は、上記研究開始当初の背景の項で述べた通り、送信ノードにおいてIP層からパケットが到着してから、目的ノード



#### 4. 研究成果

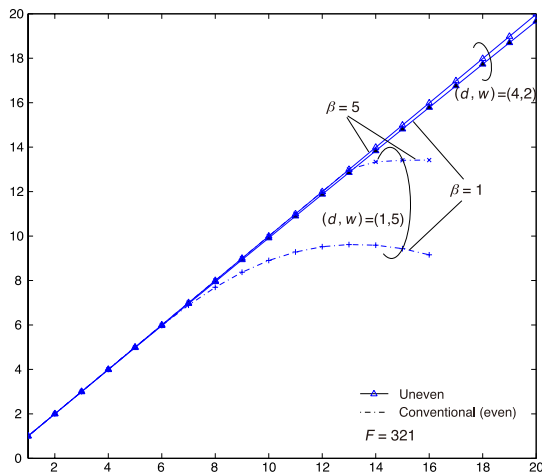


図3：不均等パルス強度拡散方式 $(d,w)=(4,2)$ と従来方式 $(d,w)=(1,5)$ におけるノード数 $m+1$ に対する衝突確率

図3に不均等パルス強度拡散方式 $(d,w)=(4,2)$ と従来方式 $(d,w)=(1,5)$ におけるノード数 $m+1$ に対する衝突確率を示す。このとき、符号長 $F=321$ であり観測ビット数 $\beta=1$ と5である。図より、 $\beta=1$ のとき、本研究課題の方式は従来方式より衝突確率が低いことがわかる。この理由はチャンネル検知において検出されないチップ数が減少するからである。従来方式ではチャンネル検知によって検出されるチップ数は最大で $m \times w$ であるのに対して、本研究課題の方式では検出されるチップ数は少なくとも $m$ に減少させることができる。

実際、低強度パルスが互いに衝突することによってしきい値以上に達する場合があります、検出されるチップ数は $m$ チップ以上となる場合があるが従来方式よりもはるかに少ない。また、 $\beta=5$ のとき、ノード数 $m > 13$ において提案方式はビット衝突確率 $10^{-3}$ を維持しているのに対して従来方式では急激に上昇してしまうことが分かる。これはチャンネル検知において検出されるチップ数が増加することにより、送信タイミングが発見できなくなるからである。

送信ノードはデータ送信前に行うチャンネル検知で検出されるチップ数が多い場合、送信タイミングが発見できず結果として失敗となる確率が増加する。

一方、提案方式は従来方式よりしきい値以上であると検出されるチップ数が少ないので送信タイミングが発見できないことによる急激な上昇が見られず、これらのことから本研究課題の有効性が確認できる

#### 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 Takaya Yamazato, Masayuki Kinoshita, Shintaro Arai, Eisho Souke, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, Koji Kamakura, and Hiraku Okada, "Image motion and pixel illumination modeling for image sensor based visible light communication," IEEE J. Select. Areas Commun. vol. 33, 2015 (to be published).
- ② 大平祐生, 荒井伸太郎, 圓道知博, 山里敬也, 岡田啓, 藤井俊彰, 鎌倉浩嗣, "LEDと高速度カメラを用いた可視光通信における劣化画像からの信号復号手法," 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-B, 2015年 (採録決定) .
- ③ 天野裕太, 鎌倉浩嗣, 山里敬也, "イメージセンサを用いた可視光通信における Alamouti型時空間符号化," 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-B, no. 3, pp.307-318, 2015年. (査読有)
- ④ 大村明寛, 山里敬也, 岡田啓, 藤井俊彰, 圓道知博, 荒井伸太郎, 鎌倉浩嗣, "車両走行時における振動を考慮した路車間可視光通信 システムにおける測距精度向上手法," 電子情報通信学会論文誌, vol.J97-B, no.8, pp.695-696, 2014年. (査読有)
- ⑤ Shoichiro Matsumoto and Koji Kamakura, "Interference avoidance using uneven intensity spreading scheme for OCDMA," IEICE Transactions on Communications, vol. E95-B, no. 11, pp.3445-3455, 2012. (査読有)

〔学会発表〕 (計9件)

- ① Katsunori Ebihara, Koji Kamakura, and Takaya Yamazato, "Layered Space-Time Coding Using LED Array for Image-Sensor-Based Visible Light Communications," Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC2015), London, UK, June 9, 2015.
- ② Tomotaka Kawakami and Koji Kamakura, "Modified TDMA-Based MAC Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks," Proceedings of the 12th IEEE International Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services (MUCS2015), part of PerCom 2015, pp.93-98, St. Louis, Missouri, USA, March 23, 2015.
- ③ Masayuki Kinoshita, Takaya Yamazato, Hiraku Okada, Toshiaki Fujii, Shintaro Arai, Tomohiro Yendo, and Koji Kamakura, "Motion modeling of mobile transmitter for

- image sensor based I2V-VLC, V2I-VLC, and V2V-VLC." 2014 GLOBECOM Workshop, pp. 450–455, Austin, TX, USA, December 8, 2014.
- ④ Katsunori Ebihara, Koji Kamakura, and Takaya Yamazato, "Spatially-modulated space-time coding in visible light communications using 2 x 2 LED Array," Proceedings of 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and systems (APCCAS'14), pp. 320–323, ANAインターコンチネンタル石垣リゾート (沖縄県石垣市), November 19, 2014.
- ⑤ Yuki Goto, Isamu Takai, Takaya Yamazato, Hiraku Okada, Akitoshi Fujii, Shoji Kawahito, Shintaro Arai, Tomohiro Yendo, and Koji Kamakura, "BER characteristic of optical-OFDM using OCI," Proceedings of 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and systems (APCCAS'14), pp. 328–331, ANAインターコンチネンタル石垣リゾート (沖縄県石垣市), November 19, 2014.
- ⑥ Masayuki Kinoshita, Takaya Yamazato, Hiraku Okada, Toshiaki Fujii, Shinro Arai, Tomohiro Yendo, and Koji Kamakura, "Channel fluctuation measurement for image sensor based I2V-VLC, V2I-VLC, and V2V-VLC," Proceedings of 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and systems (APCCAS'14), pp. 332–335, ANAインターコンチネンタル石垣リゾート (沖縄県石垣市), November 19, 2014.
- ⑦ Koji Kamakura and Bertrand Ducourthial, "Experimental validation of cooperative approach near road side units," Proceedings of 2014 IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC2014), pp. 1010–1015, Nicosia, Cyprus, August 7, 2014.
- ⑧ Yuta Amano, Koji Kamakura, and Takaya Yamazato, "Alamouti-type coding for visible light communication based on direct detection using image sensor," Proceedings of 2013 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'13), Atlanta, GA, USA, December 11, 2013.
- ⑨ Shoichiro Matsumoto and Koji Kamakura, "Two-Level Signaling for IPACT in passive optical networks," 2012 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2012), Honolulu, Hawaii, USA, vol.1, pp. 581-585, October 29, 2012.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kama.cs.it-chiba.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鎌倉 浩嗣 (Koji Kamakura)

千葉工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：60344967

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし