



Title	Multi-granularity Optical Network Design Based on Optical Code Division Multiplexing
Author(s)	黄, 少偉
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48653">https://hdl.handle.net/11094/48653</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	黄少偉
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第22057号
学位授与年月日	平成20年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	Multi-granularity Optical Network Design Based on Optical Code Division Multiplexing (光符号分割多重に基づく多粒度光ネットワークの設計に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 北山 研一  (副査) 教授 村田 正幸 教授 滝根 哲哉 教授 井上 恭 教授 小牧 省三 教授 三瓶 政一 教授 河崎善一郎 教授 馬場口 登 教授 鶴尾 隆 教授 溝口理一郎

### 論文内容の要旨

Exponential growth of traffic from Internet Protocol (IP)-based applications has driven fast evolution of carrier network architecture in the last decade. The state-of-art of optical fiber communications system and optical signal processing techniques have advanced dramatically to enable the features, like large capacity, high-speed data transmission, and routing intelligence in the optical layer. Based upon the enhanced features in the optical layer, generalized multi-protocol label switching (GMPLS) has been presented as an integrated architecture to encompass data switching in the electrical and optical domains. Though various label-switched paths (LSPs) with different switching granularities ranging from a packet to a fiber are supported in GMPLS, LSPs based upon wavelength (also referred to the lightpaths in wavelength-routed optical networks) attract the attentions, because data switching in the optical domain and the bufferless network architecture can be achieved. However, the wavelength-routed optical networks would suffer low bandwidth efficiency if the wavelength utilization is low. This thesis focuses on providing an approach to share a wavelength in the optical domain so as to improve the network resource assignment flexibility. Optical code division multiplexing (OCDM) is deployed as the key technology to achieve this purpose. An attempt is made to provide and insight into the network architecture based upon the OCDM technology and the performance analysis from the network layer point of view.

In Chapter 2, the necessary knowledge of OCDM technology is described to provide the scenario of how the IP traffic can be delivered and switched in an OCDM-based optical network. The concept of OCDM switching is given and a specific system is described to enhance our proposal with the physical implementation feasibility.

Based upon the OCDM technology described in Chapter 2, node architecture is designed to perform data switching in OCDM-based optical networks in Chapter 3. The bufferless architecture and ultra-fast switching by the optical correlation are its main advantages over other multiplexing approaches, e.g., statistical

multiplexing and time-division multiplexing (TDM). Using the proposed node architecture, routing based upon the OCDM technology and label swapping by optical code conversion are explained. Since interferences between different channels which share a wavelength is considered as the dominant factor limiting the flexibility provided by the OCDM technology, an approximate traffic model is presented to capture the behaviors when the traffic accesses the switch and to provide a simple method taking into account the interference to evaluate the average packet error probability. Furthermore, simulations are performed to give a straightforward understanding of the multiplexing effect of the OCDM-based optical networks.

GMPLS is an integrated architecture capable of building data forwarding hierarchy. In Chapter 4, the OCDM technology is introduced to extend the tunneling capability of GMPLS to encompass fiber tunnel, waveband tunnel and lambda tunnel. Thus, a four-tier OCDM-based multi-granularity optical network is proposed. Tunnel establishment mechanism taking into account the three tunnels mentioned above is explained. From the numerical results, it can be observed that the four-tier OCDM-based multi-granularity optical network enables dramatic decrease in the blocking probability by adopting five OCDM channels to one wavelength. Impact of optical code conversion provided by the OCDM technology is evaluated by comparing to the TDM technology.

In Chapter 5, network design difficulties in transparent OCDM-based optical networks are addressed. Without optical-electrical and electrical-optical conversion, interferences between OCDM channels cannot be eliminated completely by current all-optical regeneration techniques. Therefore, the remaining interference will be propagated through the network and further deteriorate the signal quality of other existing lightpaths. The interference propagation is modeled and its corresponding propagation mechanism is explained. An unintended cycle attack problem due to this propagation is described. To detect the unintended cycle attacks under dynamic traffic conditions, an algorithm based upon the depth-first-search is proposed and a two-way resource reservation method is deployed to guarantee that new inserted lightpaths could not cause cycle attacks. Simulation results show that cycle attack problem in the transparent OCDM-based optical networks cannot be neglected. But its impact is possible to be mitigated with proper design and wavelength assignment schemes.

Chapter 6 concludes the whole thesis and summarizes the recommendations for the future works.

This thesis first addresses some important issues of the OCDM-based optical networks. Although a specific system is deployed in this thesis, the problems investigated are not limited to the particular techniques used. Most of the works are evaluated by computer simulations and through the results, valuable insights are provided to consider the OCDM technology as promising alternative extending the current GMPLS. The whole study has been partly funded by the Japan Society for the Promotion Science (JSPS).

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、光符号分割多重に基づく多粒度光ネットワークに関する研究であり、光符号分割多重技術を用いた光パスを現存の波長ルーティング光ネットワークに導入する際に設計上の必要な考慮と提案を行っている。得られた結果を要約すると、次の通りである。

- (1) 光符号を用いたパス設定には波長ルーティングに基づいたネットワークにおける固定的なデータ粒度に起因する様々な問題を解決するために、1つの波長に複数のパスを設定することにより利用率を向上させることを目指し、光符号ラベルパスと光符号分割多重パス手法を提案している。さらに、提案した光符号パスを実現するための光クロスコネクトのアーキテクチャーを示している。性能を評価する手法として、オン-オフトラフィックモデルを適用し、光符号分割多重パスでは多元接続干渉 (MAI) を主な性能劣化の原因とする近似のモデルを提案している。上記のトラフィックモデルに基づいて、提案した2種類の光パスの性能評価を行い、そ

それぞれの適用領域を明らかにしている。

- (2) 光符号分割多重パスを用い、従来の3階層交換ネットワークを拡張する。光領域で、同時に光符号分割多重、波長、波長群、ファイバの4種類のラベル交換パスを粒度として4階層の多粒度光ネットワークアーキテクチャを提案している。シミュレーションを行った結果、必要とする帯域が小さい場合など、あるパラメータ領域において、提案した4階層方式は呼損率を低く抑えることができ有効であることを明らかにしている。そして、光符号変換のもたらす呼損率の改善の検証も行っている。
- (3) 全光光符号分割多重ネットワークでは、多元接続干渉（MAI）が完全に取り除きできないため、ネットワーク内で伝搬されサイクルアタックを起こす問題がある。MAIの伝搬とサイクルアタックのメカニズムを解明し、潜在的サイクルアタックを検知できるアルゴリズムとその影響を緩和できる光符号分割多重パス設定手法を提案している。シミュレーションを行った結果、ネットワークの構造を適切に設計するのであれば、提案手法によって、サイクルアタックの影響を大幅に緩和できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、有益な成果を提供するもので、次世代の光ネットワーク分野の発展に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。