

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：13401
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2010～2011
課題番号：22760277
研究課題名（和文） 大規模 WDM 網における光信号劣化を考慮した分散制御型光パス設定方式
研究課題名（英文） Distributed Lightpath Establishment based on Physical Impairments in Large-Scale WDM Networks
研究代表者
橘 拓至（TAKUJI TACHIBANA）
福井大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20415847

研究成果の概要（和文）：本研究では、大規模 WDM 網において、光信号劣化を考慮して動的に光パスを設定するために、強化学習を用いた動的な光パス設定方式を提案した。まず最初に、光信号劣化を改善するために、強化学習の状態集合・行動集合・報酬関数を定義し、定義した情報を使用することで、光信号劣化を考慮しながら公平性改善・サービス差別化が実現できることを示した。さらに、強化学習で使用する状態数と行動数を大幅に削減し、本方式の実装を容易にした。最後に、GMPLS プロトコルとの連携についても検討を行なった。

研究成果の概要（英文）：In this research, in large-scale WDM networks, we proposed a dynamic lightpath establishment method based on physical layer impairments. This method utilizes reinforcement learning technique. We first defined a state set, an action set, and reward function for the reinforcement learning in order to improve the physical impairments. Then, we proposed a method that can improve fairness and provide the service differentiation based on physical layer impairments. Moreover, we reduced the number of states and actions that are used for the reinforcement learning for the easy implementation. Finally, we considered the interaction between the proposed method and GMPLS protocol.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：通信ネットワーク技術

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：フォトニックネットワーク、情報通信工学、機械学習、光パス、光信号劣化

1. 研究開始当初の背景

近年、大規模 WDM 網において光信号劣化

(Physical layer impairment) を考慮して光パスを設定する研究が、国内外で盛んに行

われている (Hayashi2008, Ramamurthy1999, Cugini2004). これらの研究では, 光パスの信号劣化が事前に決定された閾値を下回らないように, 光パスの設定経路・使用波長・設定可否が決定される. さらには, 光信号劣化情報を, 光パス設定に使用される GMPLS プロトコルで伝送する方式が提案されたことにより (Sambo2006), 光信号劣化を考慮した分散制御型動的な光パス設定法の確立が期待されている.

また, 従来の動的な光パス設定では, 光パス設定棄却率に関するサービス差別化・公平性改善の実現も重要であり, 様々な方式が提案されている. それゆえ今後は, 光信号劣化を考慮しながら, サービス差別化・公平性改善を実現することが必要不可欠である.

その一方で, 光信号劣化も考慮した動的な光パス設定方式は未だ確立されていない. この主な理由としては, 光信号劣化情報を GMPLS プロトコルで伝送する方式が比較的新しい研究成果であるという点が挙げられる. さらには, 分散制御環境では大規模 WDM 網全体の情報を使用できず, 網内の限られた情報のみを用いて光パスを設定しなければならない, 上記の方式を実現することが困難であるという点が挙げられる.

2. 研究の目的

申請者は過去の研究において, サービス差別化や公平性改善を実現する動的な光パス設定の研究を展開し成果を得てきた. これらの研究では, 光パス設定棄却率のみに注目していたが, GMPLS で光信号劣化情報を伝送する手段が提案されたことから, 光パス設定棄却率だけでなく光信号劣化も考慮した動的な光パス設定が重要であるとの考えに至った. さらに, 申請者が現在取り組んでいる研究において, 網全体の情報が未知である不確実な環境では光パス設定の分散制御に強化学習が有効であるという結果を得ていることから, 従来の問題点を解決するために強化学習を利用する着想に至った.

そこで本研究では, 強化学習を用いて分散制御型光パス設定法の確立を目指す. ここで, 本方式では, 光信号劣化を考慮できるように新たな強化学習法を一から提案する. 具体的には, 強化学習で用いる状態 s , 行動 a , 報酬関数 R に対して光信号劣化情報を導入し, 各ノードは学習によって出力リンク・使用波長・設定可否を決定できるように発展させる. また, 強化学習手法として Q 学習だけでなく, TD 学習を含めた他の手法の利用も検討する. さらには, 提案方式と GMPLS プロトコルを連携させた実装実験を行なうために, GMPLS プロトコルと提案方式の連携方法についても検討する.

3. 研究の方法

本研究では, 2010 年度において, まずは近年ロボットの 2 足歩行などに用いられている強化学習を, 光信号劣化を考慮した光パス設定に応用する. 光信号劣化を強化学習に適用した研究はこれまで行われていないため, 本方式では, 使用する状態集合 S , 行動集合 A , 報酬関数 R の定義について一から検討する.

図 1 は, 状態 $s \in S$ 及び行動 $a \in A$ の検討案を示している. 状態 s は出力リンク i で被る信号劣化値を用いて表し. ノードはこの状態 s に加えて, 設定要求を受けた光パスの目的ノード情報とこれまでに被った信号劣化値の情報を強化学習コンポーネントに送る. 一方, 行動 a はどの出力リンクを使用するか (または棄却するか) を示し, 状態 s に対する最適行動 a^* は報酬関数 R を使って報酬が大きくなるように決定される. その後, ノードは a^* に従って光パス設定要求を出力リンクに伝送する (または受け入れ拒否を返信する).

確立した光パス設定方式を, モンテカルロシミュレーションで評価する. シミュレーションでは, 光パス設定遅延と設定棄却率に加え, 本方式が有効となるために要する学習時間も調査する. また, 提案方式を実ネットワークで使用する場合には学習時間の短縮が必要不可欠であるため, 学習時間を短縮するために図 1 の状態 s , 行動 a の定義を再検討する. 具体的には, 状態数と行動数の削減を目指す. また, 本研究および先行研究では強化学習手法として Q 学習の利用を検討しているが, より高速な強化学習手法への拡張も検討する.

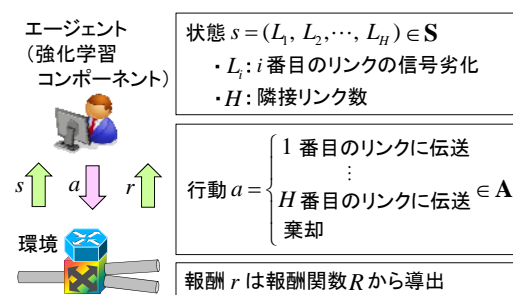


図 1 光信号劣化を考慮した強化学習

2011 年度は, 昨年度に確立した方式を, サービス差別化および公平性改善も実現できるように拡張する. サービス差別化に関しては, 申請者らの先行研究で用いた強化学習法を適用する. もし適用できなければ, 光信号劣化とサービス差別化が同時に実現できる

ように、状態・行動・報酬関数を再検討する。ここで、公平性改善に関しては、分散制御環境での実現が困難であることが知られている。これは、各ノードが伝送ホップ数の正確な情報を持たず、またボトルネックリンクの存在も未知なためである。このような不確定な環境では強化学習が有効であるが、強化学習を用いた公平性改善方式はこれまでに提案されていない。そこで、まずは強化学習を使って公平性だけを改善する方式を確立し、シミュレーションで性能評価を行う。

確立した上記 3 つの方式を基にして、信号劣化・サービス差別化・公平性改善を同時に考慮した強化学習法、及び光パス設定方式を確立する (図 2 参照)。

<p>リンク i の状態: s_i $s_i = (M_1, \dots, M_D, N_1, \dots, N_E, I)$ <ul style="list-style-type: none"> • M_j: クラス j の設定数 • D: サービスクラス数 • N_j: 経過ホップ数 j の • E: 最大ホップ数 <p style="text-align: center;">光パス設定数</p> </p>
<p>リンク i に対する行動: a_i</p> $a_i = \begin{cases} \text{クラス } u, \text{ ホップ } v \text{ の光パスだけ受け入れる} \\ \vdots \\ \text{全クラス, 全ホップを受け入れる} \\ \text{棄却} \end{cases}$

図 2 拡張方式における状態・行動の定義

本方式の性能をシミュレーションで評価し、各ノードで長時間の学習が必要であることが判明した場合には、状態数・行動数を削減するために状態 s ・行動 a を再定義する。さらに、設定パラメータの影響を入念に調査し、得られた結果から方式の更なる改良を目指す。また、確立した光パス設定方式を光スイッチに実装し、WDM 網上での実装実験を行うことを目指す。現在、先行研究の方式を実装中であり、その際に得られる経験が本研究の実装実験に役立つことが期待できる。

4. 研究成果

最初に、強化学習を用いた分散型光パス設定法の有効性を示すために、公平性改善に対する強化学習の効果を調査する。本評価では、NSFnet における性能評価を行なう。ここで、ネットワークのノード数は 14 で、各ノードに波長変換機能がないとする。また、各リンクの波長数を 5 とする。

このネットワークの各ノードに対して、光パスの設定要求がポアソン到着すると仮定する。到着した設定要求の目的ノードはラン

ダムに選ばれ、光パスの設定経路は最小ホップのものが選ばれるとする。このとき、伝送ホップ数の最大値は 3 になる。

設定された光パスはデータ伝送に使用され、その利用時間は指数分布に従うと仮定する。そして、利用時間が終わった光パスは直ちに解放される。

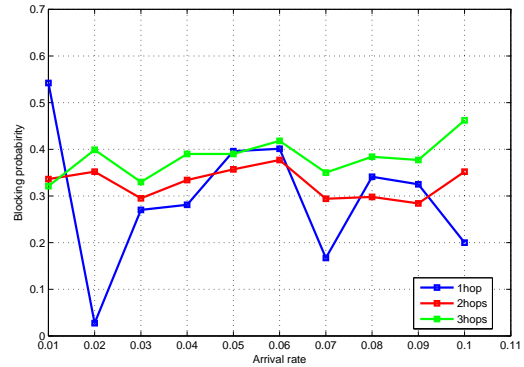


図 3 到着率 vs 各ホップの棄却率

図 3 は、到着率を変化させた場合の各ホップの光パス設定棄却率を示している。この図から、到着率によっては、公平性が必ずしも改善されていないことがわかる。また、到着率が変わることによって、強化学習の設定パラメータの最適値も変わってくるため、パラメータを注意深く設定することが必要であることがわかる。

以上の調査結果を踏まえて、初年度の 2010 年度は、提案方式で強化学習を使用するために、強化学習の状態集合 S ・行動集合 A ・報酬関数 R を定義した。このとき、GMPLS コントローラと強化学習コンポーネントのインタフェースを確立できるように工夫を行った。確立した強化学習を利用することで、提案方式を GMPLS と容易に連携させることが可能になり、提案方式が将来的に広く利用されることが期待できる。

本方式の性能をシミュレーションで評価し、方式の有効性とパラメータの効果を調査した。さらに、この方式に対して、光パス棄却率に関するサービス差別化とホップ数に関する不公平性改善を実現する新たな機構の導入を試みた。この機構では、強化学習の状態集合に、サービスクラスと経過ホップ数に関する情報を導入している。この方式の性能をシミュレーションで評価し、方式の有効性と各ノードの学習時間を調査した。

シミュレーション結果から、提案方式を用いることで、ノード数や波長数に関する特定の条件下においては、光信号劣化改善・公平性改善・サービス差別化を実現できることが示された。その一方で、特定の条件下以外では、方式の効果が不十分であることも判明し

た。そのため、さらなる方式の改良が必要不可欠であることを痛感した。

そこで、最終年度である2011年度は、強化学習に利用する設定パラメータが、信号劣化の改善、公平性改善、及び、サービスの差別化に対して、どのような影響を与えるかについて入念な調査を行なった。本調査によって、本方式を使用する環境と設定パラメータの関係性をいくつか把握することが出来た。特に、適切なパラメータを設定することができれば、上記の3つの効果を最大化できるようになった。

それから、実環境で本方式を利用するため、強化学習で使用する状態数と行動数の削減を行なった。このとき、強化学習の性能を劣化させないような工夫を行なった。さらには、GMPLSプロトコルとの連携についても検討を行なった。具体的には、GMPLSコントローラと強化学習コンポーネントのインタフェースを構築した。このようなインタフェースの検討、および、これまでの評価結果から、提案方式が実環境で有効であることが判明した。

以上の結果から、本方式は、将来の大規模WDMネットワークにおいて、大容量伝送を実現するための非常に有効な手法であるといえる。それゆえ、本方式が、将来的に広く利用されることが期待される。

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)

①Harumasa Kinoshita, Takuji Tachibana, Kenji Sugimoto, Rank-based Dynamic Frequency Hopping without Strict Coordination in IEEE 802.22 WRAN System, International Journal of Communication Systems, 査読あり, vol. 25, 2011, pp. 340-355.

②Badr Oulad Nassar, Takuji Tachibana, and Shoji Kasahara, Hop-based Burst-Cluster Transmission: Fairness Improvement in High-Performance OBS Networks, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 査読あり, vol. 3, 2011, pp. 542-552.

③ Takuji Tachibana, Izumi Koyanagi, MDP-based Lightpath Establishment for Service Differentiation in All-Optical WDM Networks with Wavelength Conversion Capability, Photonic Network Communications, 査読あり, vol. 20, 2010, pp. 183-192.

④ Hozumi Kawanami, Hiroyuki Masuyama, Takuji Tachibana, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, Burst Transmission Algorithm to Improve Packet Level Performance in Contention-Free Slotted OBS Networks, Photonic Network Communications, 査読あり, vol. 20, 2010, pp. 54-63.

⑤Badr Oulad Nassar, Takuji Tachibana, Kenji Sugimoto, Random Scheduling based on Transmission Delay and Buffer Size for Hop-Based Burst-Cluster Transmission in OBS Networks, Photonic Network Communications, 査読あり, vol. 19, 2010, pp. 292-300.

[学会発表] (計9件)

①Mika Mori, Takuji Tachibana, Kentaro Hirata, Kenji Sugimoto, A Proposed Topology Design and Admission Control Approach for Improved Network Robustness in Network Virtualization, The IEEE Global Communications Conference 2011 (GLOBECOM 2011), December 6, 2011, Houston.

②Yukinori Nakamura, Takuji Tachibana, Genki Matsui, Task Transmission with I-PD Control and Dynamic Lightpath Setup for Considering Processing Delay in Optical Grid, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2011年6月24日, 和歌山.

③Genki Matsui, Kiminao Kogiso, Takuji Tachibana, Kenji Sugimoto, Relaxed MPC-based Management of Computing and Wavelength Resources in Optical Grid Networks, The 10th WSEAS International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science (ACACOS'11), March 8, 2011, Venice.

④Piriya Chaikijwatana, Takuji Tachibana, VCG Auction-based Bandwidth Allocation with Network Coding in Wireless Networks, The 10th WSEAS International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science (ACACOS'11), March 8, 2011, Venice.

⑤ Genki Matsui, Takuji Tachibana, Yukinori Nakamura, Kenji Sugimoto, PID-based Power Control Algorithm in Cognitive Radio Networks, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2011年3月3日, 沖縄.

⑥Piriya Chaikijwatana, Takuji Tachibana, VCG Auction with Cooperative Network Coding for Bandwidth Allocation in Multi-rate Wireless Networks, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2011年3月3日, 沖縄.

⑦小渕 周, 橘 拓至, 徐 蘇鋼, 光パス設定

の公平性を改善する強化学習法の検討，電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会，2011年3月3日，沖縄。

⑧小淵 周，橘 拓至，徐 蘇鋼，強化学習を用いて公平性を改善する動的光パス設定法の提案，インターネット技術第163委員会新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ（ITRC-NWGN 2010），2010年9月9日，和歌山。

⑨松井 元輝，橘 拓至，小木曾 公尚，杉本 謙二，光グリッドにおいて動的資源管理を実現するモデル予測制御法，電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会，2010年6月24日，秋田。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橘 拓至 (TAKUJI TACHIBANA)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20415847