Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers

B-12-3

多段型波長ルーティングスイッチにおける接続最適化

An Optimization of Interconnection of Multi-stage Large Scale Wavelength Switch

長谷川浩　　佐藤健一
Hiroshi Hasegawa　　Ken-ichi Sato

名古屋大学 大学院工学研究科 電子情報システム専攻
Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University

1 まえがき

多入力多出力の周回性アレイ導波路 (Cyclic Arrayed Waveguide Grating, Cyclic AWG) の波長ルーティング機能を利用し、多地点間を接続するスイッチとする提案が為されている [1]。また、データセンターで要求される低コスト性・高信頼性を達成しうる光スイッチとしても最近注目を集めており、更なる大規模化が必要になっている。

互いに素な正整数 M, N が与えられ、N 個の $M \times M$ Cyclic AWG が前段に、M 個の $N \times N$ Cyclic AWG が後段に配置され、前段・後段の各 AWG 対間を一本の光ファイバが接続しているとする。この時、前段 AWG の入力ポートを任意に選び、このポートから連続した ITU-T グリッド波長 $\lambda_0, \lambda_1, \ldots, \lambda_{MN-1}$ を入力すれば、後段 AWG の全出力ポートに一波ずつ出力される。すなわち、$MN \times MN$ の Cyclic AWG と同等の波長ルーティング機能が実現され、かつ小型の AWG を用いることで、AWG 特有の、通過域の中心波長が ITU-T グリッドから変位する問題が緩和される。我々は、$M = 9, N = 10$ として 90×90 Cyclic AWG 相当の波長ルーティングスイッチを構成し、さらに更に Distribute and Coupling タイプの 3×3 スイッチで 3 つの波長ルーティングスイッチを並列に接続することで、270×270 相当の大規模波長ルーティングを実現している [2]。

このように小型の Cyclic AWG を用いることにより ITU-T グリッドからの変位を軽減可能であるが、Cyclic AWG においては一般に、端の入力ポートから端の出力ポートへルーティングされる波長における ITU-T グリッドからの通過域の変位は、中央の入力・出力ポート間をルーティングされるそれに比べ大となる。前段・後段 AWG のいずれにおいても特性の悪いポートを通過する波長については、特性は極めて不良となる。これまで、前段 AWG の出力ポート割り当てのみを総当たり法で改善し、準最適解を得る試みが為されてきたが [3]、計算に 1 日弱の時間を要し、スケーラビリティと最適性に課題があった。

そこで、本稿では最悪損失を最小とする前段・後段 AWG 間配線のうちで、別途定義するペナルティ関数を更に最良とする解を算出する手法を提案する。本手法の計算時間は 10 秒以下と短いばかりでなく、ペナルティ関数の導入により損失の削減を実現している。

2 整数線形計画法に基づく接続最適化法

ある前段 $M \times M$ Cyclic AWG $\#F\ (= 0, 1, \ldots, N-1)$ と後段 $N \times N$ Cyclic AWG $\#R\ (= 0, 1, \ldots, M-1)$ の対について、その出力ポート $\mathrm{out}_{\#F}$・入力ポート $\mathrm{in}_{\#R}$ を接続したとする。この時、前段の入力ポート・後段の出力ポートを適切に選びつつ、全ての波長信号がこの AWG 間接続配線上を通過したときの損失値の最悪値 (dB) を、$\mathrm{loss}(\#F, \#R; \mathrm{out}_{\#F}, \mathrm{in}_{\#R})$ で与える。この時、この配線が存在するときにのみ 1 となる 2 値変数 $u(\#F, \#R; \mathrm{out}_{\#F}, \mathrm{in}_{\#R})$ を考え、

$$\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} u(\#F, \#R; i, j) = 1 \text{ for all } (\#F, \#R)$$

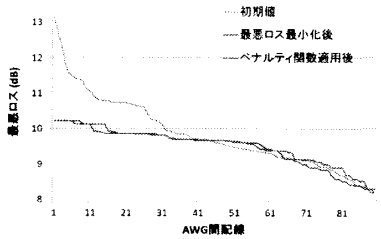

図 1　各配線における最悪ロス値の比較

なる制約と変数

$$\begin{aligned} &\mathrm{maxloss} \\ &\geq \mathrm{loss}(\#F, \#R; \mathrm{out}_{\#F}, \mathrm{in}_{\#R}) u(\#F, \#R; \mathrm{out}_{\#F}, \mathrm{in}_{\#R}) \\ &\qquad \text{for all } (\#F, \#R; \mathrm{out}_{\#F}, \mathrm{in}_{\#R}) \end{aligned}$$

を導入する。整数線形計画として maxloss を最小化し、最適値 optloss を得る。続いて、optloss より損失が小さいという制約条件下で、再び整数線形計画として

$$\sum_{k,\ell,i,j} (\mathrm{loss}(k, \ell; i, j) - \mathrm{minloss}(k, \ell))^2 u(k, \ell; i, j)$$

を最小化して最終的な解を得る。ただし minloss は前段・後段 Cyclic AWG の各最小損失の和であり、各損失については dB 表記したものをパラメータとして用いている。

3 数値例

試作した 9×9, 10×10 Cyclic AWG の一対について、前節の loss を全て測定した。続いて全ての 9×9, 10×10 Cyclic AWG 対の特性が等しいと仮定し、前節の最適化を実施した。Intel Xeon プロセッサ搭載のサーバ上で動作する IBM CPLEX により解を算出したところ、おおむね最悪損失の最小化に十数秒、続くペナルティ関数の最適化に 1 秒程度を要した。当初の最悪損失は 13.125dB に達していたが、10.2dB まで最悪損失を減ずることに成功している (図 1)。また、ペナルティ関数の導入により、全体に特性が改善していることが見て取れる。

4 むすび

本稿では、多段型波長ルーティングスイッチにおける配線最適化法を提案し、その効果を実証した。

謝辞

本研究の一部は 科研費 (23246072) および公益財団法人 堀科学芸術振興財団 の支援により実施された。

参考文献

[1] Y.Sakai, IEEE LEOS Annual Meeting, vol.2, ThQ1, pp.832-833, 2000.

[2] T.Niwa et.al., IEEE PTL, vo.24, no.22, pp.2017-2030, Nov.15, 2012.

[3] T.Niwa et.al., Proc. ACP2012, ATh2C.4, 2012.

NII-Electronic Library Service