# 光ニューラルネットワーク応用に向けた高効率な光 IQ 変調器の提案

## Proposal for high-efficiency photonic IQ modulators for optical neural network applications

°北 翔太 [1,2], 野崎 謙悟 [1,2], 高田 健太 [1,2], 新家 昭彦 [1,2], 納富 雅也 [1,2]
(1. NTT ナノフォトニクスセンタ, 2. NTT 物性研)
°S. Kita[1,2], K. Nozaki[1,2], K. Takata[1,2], A. Shinya[1,2], and M. Notomi[1,2]
(1. NTT Nanophotonics Center, 2. NTT Basic Research Labs.)
E-mail: syouta.kita.ue@hco.ntt.co.jp

低レイテンシかつ高効率な光電融合演算を実現するために、これまで損失がスケールに対して減少する光デジタル／アナログ変換器を提案・実証してきた [1)]。今回は光ニューラルネットワーク [2)]に対する光アナログ入力に適した直交振幅変調（QAM）方式の光 IQ 変調器について、低損失性と低雑音性を両立するスケーラブルな構成を新たに見出したので報告する。

提案構成（256QAM の例）を Fig. 1(a)に示す。提案済みの光 DAC 構成と同じく Y 分岐・合流を片側にカスケードさせた入れ子 MZI となっているが、変調器はいずれも挿入図の直交位相偏移（QPSK）変調器を用いる。2546QAM の場合、QPSK 変調器は全部で 4 つあり、それぞれ $X_1$ - $X_4$, $Y_1$ – $Y_4$ の 8 入力が存在する。QPSK 変調器内の位相変調器（PM）に対して、各導波路の光波の相対的な位相差が{0, π}となるように入力電気信号を設定する。添え字が小さいほど MSB 側、大きいほど LSB 側に対応した入力となる。その結果得られる出力は、挿入図のような 256 (= $2^8$) QAM 出力となる。Fig. 1(b) に従来方式の構成 [3)] を併記した。従来方式では負荷損失を挿入することで重み付けするため、ビット階調の増大により挿入損失は増大する（例として 256QAM で 9.3 dB, 4096QAM で 11 dB）。一方、提案方式ではビット階調が増大するほど挿入損失が減少する（256QAM で 3.3 dB, 4096QAM で 3.1dB、最終的に 3 dB に飽和する）。Fig. 1(a) と 1(b)の両構成に対して同じ入力条件で 256QAM のコンスタレーションを数値シミュレーションした結果を Fig. 1(c)に示す。このように同じ入力条件に対して、確かに提案構成の挿入損失が 6 dB 小さく、SN 比が優れていることが示された。別途、挿入損失が 0 dB に収束する構成も見出しているが、耐雑音性能とのトレードオフであることがわかっている。本構成は光演算応用のみならず、コヒーレント通信用途の光トランシーバの消費電力を単純に下げる上でも重要である。本研究は CREST (#JPMJCR15N4), JST の支援を受けたものである。参考文献 1) S. Kita et al., *SPIE OPTO* **11299-30** (2020). 2) Y. Shen et al., *Nat. Photon.* **11**, 441 (2017). 3) 川西、*光学* **38**, 246 (2009).

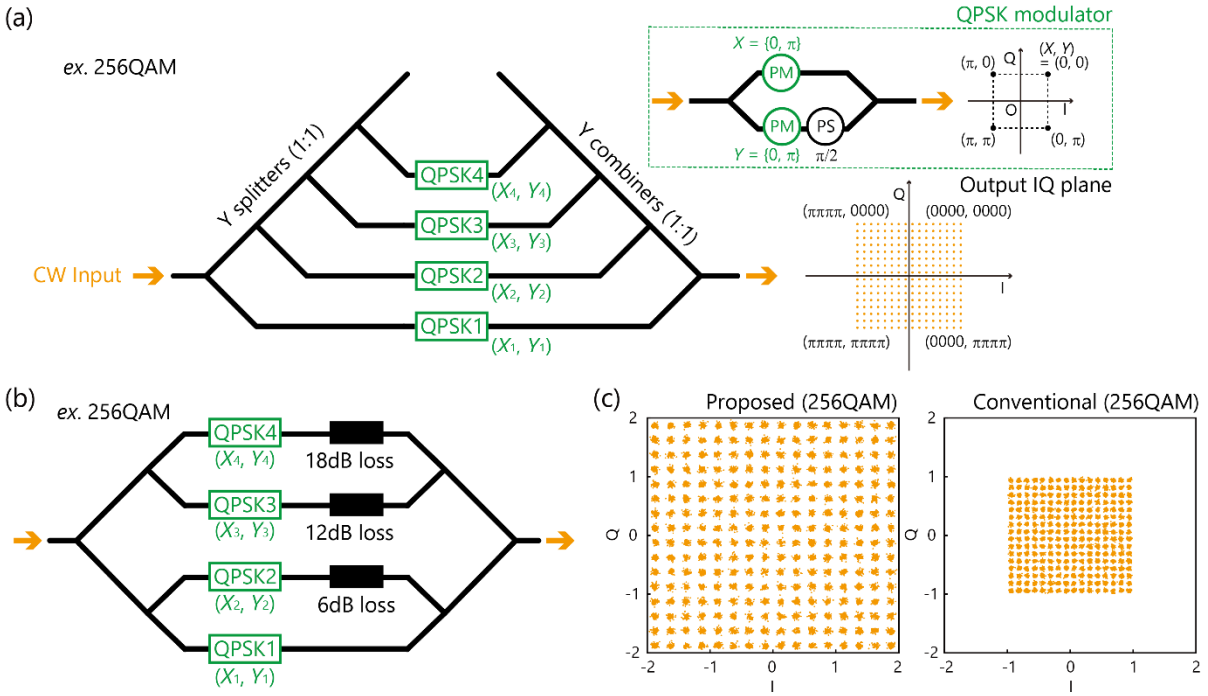


Fig. 1 Comparison of the configurations of optical IQ modulators based on cascaded linear gates. (a) Proposed configuration. (b) Conventional configuration. (c) Comparison of the simulated 256 QAM constellations (10 GS/s, 10 dBm input, -120 dBm/Hz, Optilab PD-40 (40 GHz), 64536 samples).

© 2020年 応用物理学会