



Operasi Matriks Sederhana Menggunakan Rangkaian Fotonik

Taufiq Hidayat

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika



ABSTRAK

Operasi matriks merupakan komponen utama dalam berbagai bidang komputasi modern seperti AI, pembelajaran mesin, dan pemrosesan sinyal. Namun, limitasi kompleksitas rangkaian elektrik membatasi perkembangan bidang-bidang tersebut. Penelitian ini mengeksplorasi perbitungan matriks sederhana menggunakan rangkaian fotonik, khususnya Mach-Zehnder Interferometer (MZI), sebagai alternatif solusi yang menyelesaikan permasalahan limitasi kompleksitas rangkaian elektrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal matriks N-komponen dapat diproses dengan kontrol matriks N×N untuk menghasilkan output matriks N-komponen. Implementasi matriks 2×2 secara fotonik dengan 6 MZI filter terbukti lebih sederhana dan efisien dibandingkan arsitektur NMOS elektrik. Kontrol elektrik MZI memungkinkan representasi operand matriks yang fleksibel. Temuan ini menegaskan potensi fotonik untuk komputasi matriks yang lebih cepat, efisien, dan ringkas dalam aplikasi modern.

PENDAHULUAN

Operasi matriks merupakan komponen utama dalam berbagai bidang komputasi modern seperti AI, pembelajaran mesin, dan pemrosesan sinyal.

Bertambahnya jumlah data membutuhkan implementasi rangkaian operasi matriks yang semakin kompleks. Kompleksitas rangkaian elektronik tradisional memiliki keterbatasan dalam mengimplementasikan operasi matriks tersebut.

Rangkaian fotonik yang menggunakan cahaya merupakan alternatif solusi permasalahan. MZI filter dapat memproses sinyal optik dengan mengubah fasa. Proses tersebut relatif jauh lebih efisien dibandingkan switch konvensional pada rangkaian elektrik.

TUJUAN

Penelitian ini difokuskan pada pertanyaan riset: "Dapatkah perhitungan matriks sederhana dilakukan dengan rangkaian fotonik?"

Tujuannya adalah untuk menggunakan devais fotonik berupa Mach-Zehnder Interferometer untuk membentuk rangkaian logika yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan matriks sederhana.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis berikut:

1. Studi literatur publikasi yang terkait.
2. Pembelajaran GDSFactory untuk mendefinisikan devais dan rangkaian fotonik.
3. Simulasi sirkuit fotonik dengan menggunakan GDSFactory atau KLayout.
4. Verifikasi proses perhitungan matriks.

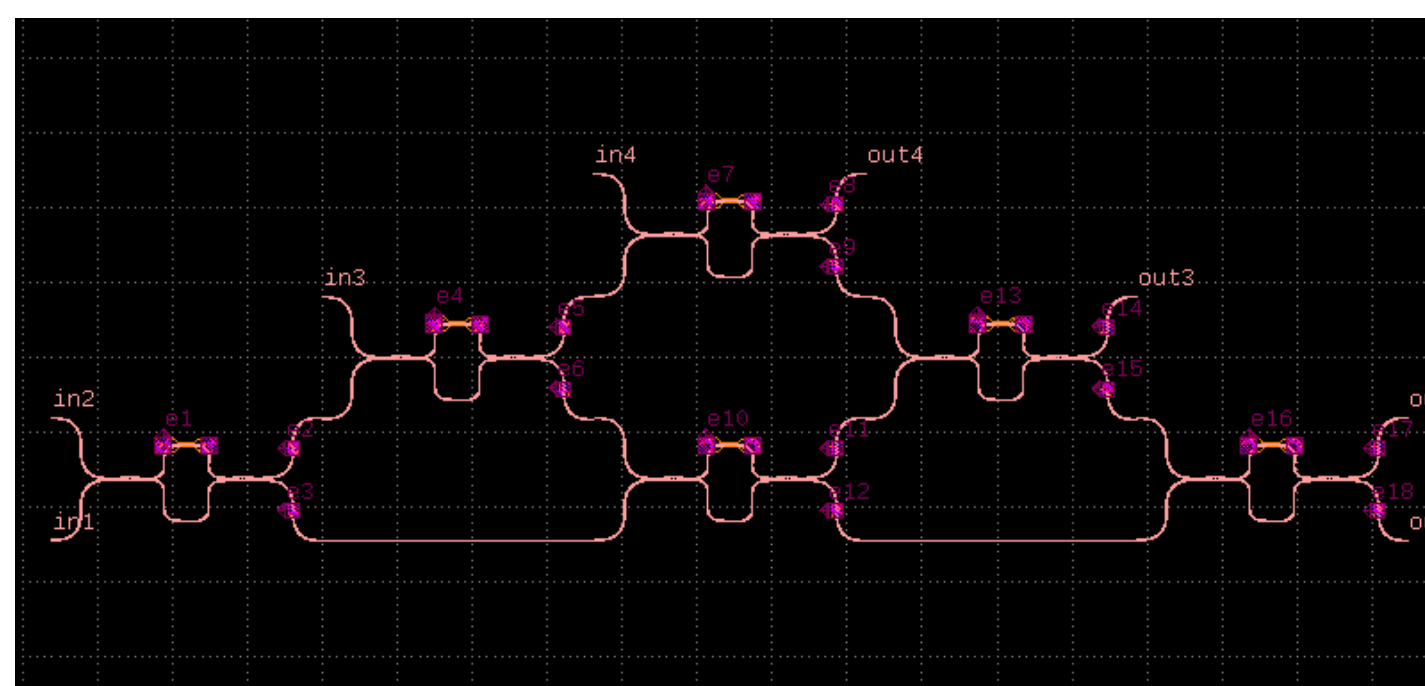
HASIL DAN DISKUSI

Dengan rangkaian fotonik, untuk input matriks simetris N-komponen optik, dapat dirancang sistem matriks N×N komponen elektrik yang mampu menghasilkan output matriks simetris N-komponen optik sesuai dengan persamaan

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & w_{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix}$$

input optik kontrol elektrik output optik

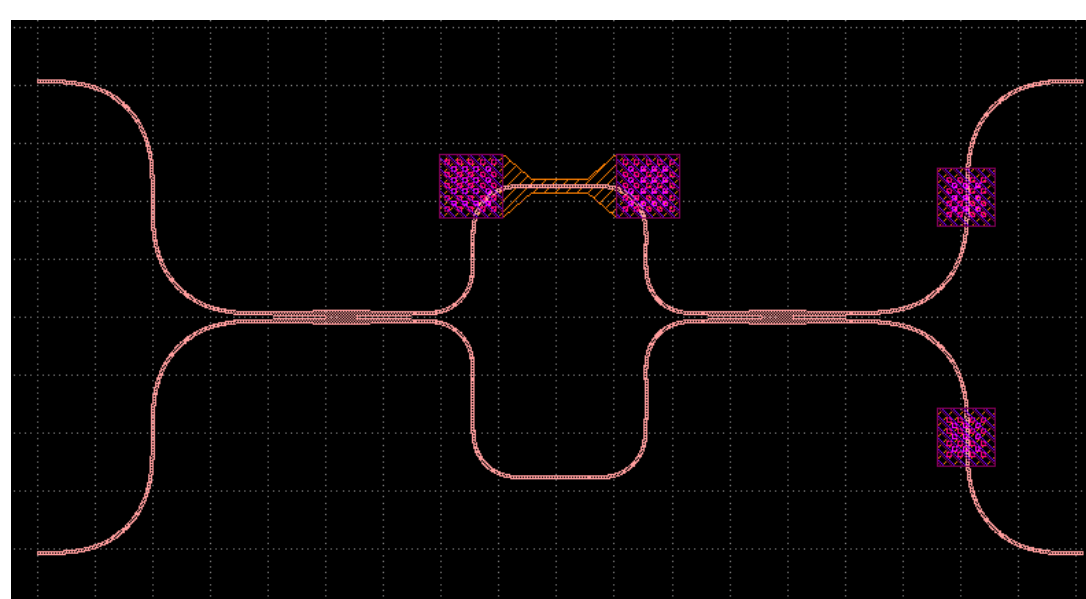
Berikut merupakan rangkaian implementasi persamaan tersebut menggunakan MZI fotonik untuk matriks 2x2:



Gambar 1. Rangkaian operasi matriks 2x2 menggunakan MZI fotonik

Rangkaian tersebut memiliki 4 input optik matriks, 16 input kontrol elektrik operand, dan 4 output optik matriks.

Jika dipecah menjadi bagian komponen paling sederhana, rangkaian tersebut terdiri dari 6 buah MZI filter.

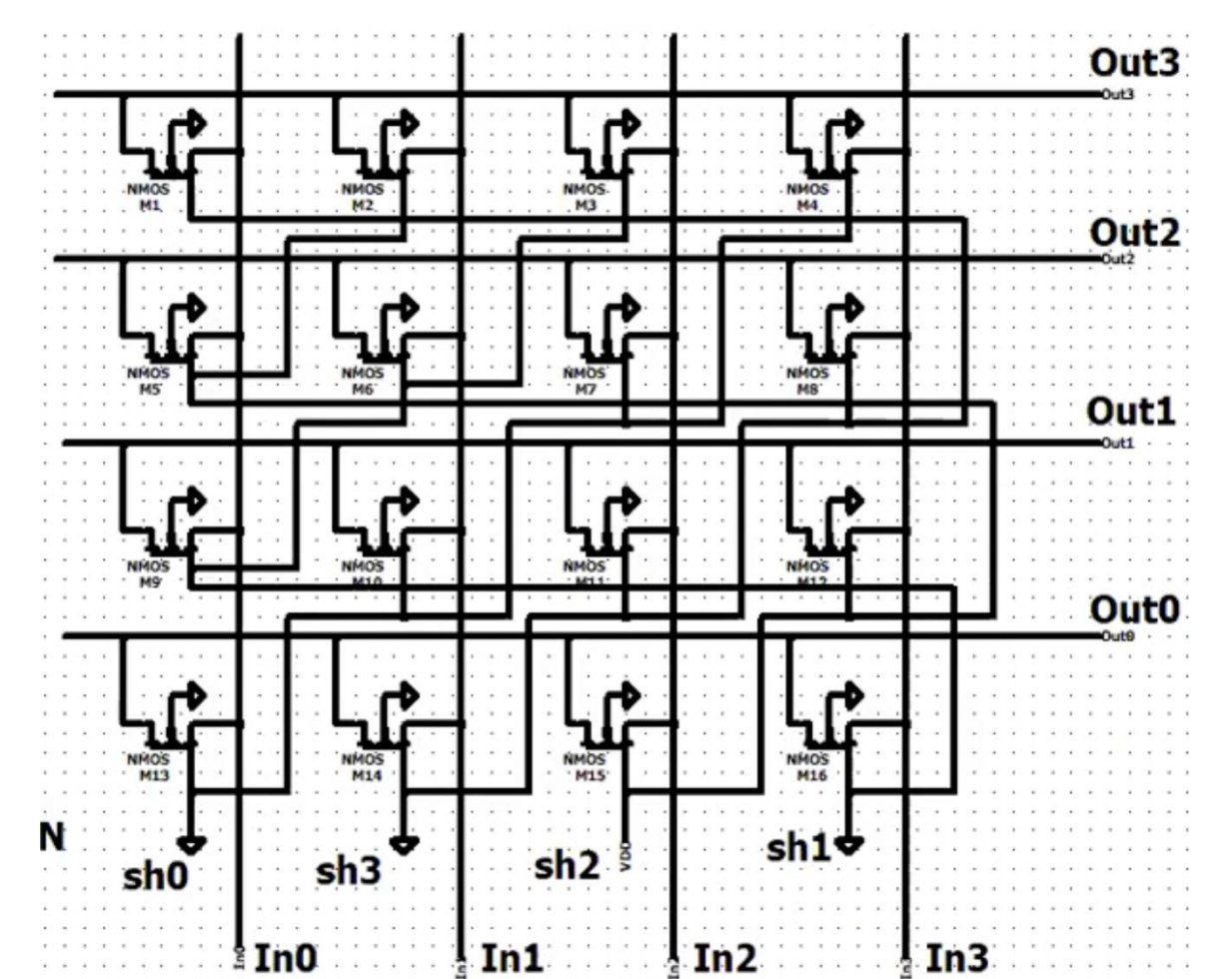


Gambar 2. MZI filter penyusun rangkaian matriks

Filter Mach-Zehnder Interferometer (MZI) adalah perangkat optik yang memisahkan sinyal optik ke dua jalur. Salah satu jalur akan mengubah fasa sinyal. Kemudian, sinyal digabungkan kembali untuk menciptakan interferensi, baik konstruktif ataupun destruktif sesuai fasa sinyal yang diubah.

Pengubahan fasa tersebut dilakukan menggunakan sebuah heater yang dikontrol oleh sinyal elektrik. Sinyal elektrik inilah yang merepresentasikan matriks operand pada persamaan sebelumnya.

Jika dibandingkan implementasi operasi matriks 2x2 menggunakan rangkaian MZI fotonik dengan menggunakan rangkaian NMOS elektrik, dapat terlihat implementasi matriks 2x2 dengan MZI fotonik relatif lebih sederhana. Selain itu, jika mempertimbangkan komponen-komponen pasif yang dibutuhkan rangkaian NMOS elektrik, kompleksitas rangkaian akan semakin meningkat.



Gambar 3. Rangkaian operasi matriks 2x2 menggunakan NMOS elektrik

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan implementasi operasi matriks sederhana menggunakan rangkaian fotonik.

Pemanfaatan MZI filter sebagai komponen dasar memungkinkan perancangan sistem operasi matriks. Implementasi matriks 2x2 dengan 6 MZI filter terbukti lebih sederhana dan berpotensi lebih efisien dari rangkaian NMOS elektrik.

Kontrol elektrik MZI untuk fasa sinyal optik memberikan fleksibilitas representasi operand matriks. Hasil ini menunjukkan kelayakan rangkaian fotonik untuk pemrosesan matriks.

REFERENSI

- Cheng J, Zhou H, Dong J. Photonic Matrix Computing: From Fundamentals to Applications. *Nanomaterials*. 2021; 11(7):1683.
- Kumar A. Implementation of all-optical logic gate using SOA-MZI structures. *Trends in Opto Electro & Optical Communication*. 2022;12(3):45-50.

KONTAK

Taufiq Hidayat
hidayat4765@gmail.com

