

대면적 광학 소자의 전자기장 광분포 해석을 위한 병렬 연산 기법

Parallel computation method for analyzing electromagnetic field of large-scale optical elements

박신웅, 이종현, 최명규, 정세현, 김휘*
고려대학교 세종캠퍼스 전자·정보공학과
*hwikim@korea.ac.kr

Abstract— 차세대 디스플레이의 고효율 광학 소자 설계에서 대면적 전자기장 해석 기법은 핵심 기술이다. 본 연구에서는 대면적 전자기장 병렬 연산 알고리즘을 제안하고, 나아가 효율적인 광 분포 해석을 통해 기존 알고리즘의 계산량 한계를 해소할 수 있음을 검증한다.

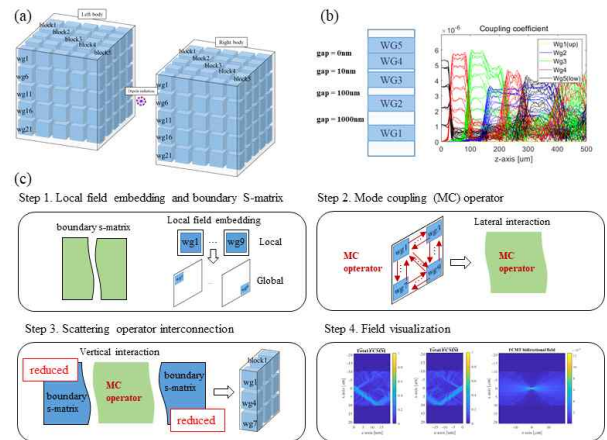
I. 서론 및 배경

증강 현실 (Augmented reality, AR), 가상 현실 (Virtual reality, VR) 과 같은 차세대 디스플레이의 개발 가속화에 따라 삼차원 공간상의 광파를 효율적으로 제어하기 위한 다양한 광학 소자 설계가 요구된다. 고효율 소자 설계를 위해서는 소자를 구성하는 단위 구조에 대해 삼차원 공간 광분포를 계산하는 전자기장 시뮬레이션 및 분석이 선행되어야만 한다. 일반적으로 활용되는 알고리즘에는 유한 차분 시간 영역법 (Finite difference time domain, FDTD), 유한요소법 (Finite element method, FEM), 엄밀 결합과 해석법 (Rigorous coupled wave analysis, RCWA) 등이 있으며, 특히 RCWA는 디지털 홀로그래피 기반 광학 소자의 주기 구조 해석에 매우 적합하다. 본 연구에서는 RCWA 기반 푸리에 모달 방법 (Fourier modal method, FMM) 의 대면적 구조 해석을 위해 분할 구조의 결합 모드 이론 (Coupled mode theory, CMT)^[1]를 활용한 병렬 연산 알고리즘을 제안하고, 기존의 시뮬레이션 계산량 문제를 해결하고자 한다.

II. 연구 내용 및 결과

기존 푸리에 모달 방법의 결합 계수는 전체 구조의 고유값 방정식의 해를 구하고 경계 조건을 고려하여 산란 행렬 및 공간 광 분포를 계산한다. 이와 달리, 제안 알고리즘은 대면적 구조를 분할하고 각각의 국소 구조에 대해 고유 모드를 계산한 뒤, 결합 모드 이론을 활용하여 결합 계수를 계산하는 것이 핵심이다. 대용량 행렬에 대한 고유값 방정식 해를 구하지 않기 때문에 적은 계산 용량으로 연산이 가능하다. 그림1(a)은 3차원 분할 구조 도식을 나타낸다. 양방향 구조 중앙에 광원을 기준으로 광축을 따라 여러 layer로 나누어져 있으며, x-y 평면은 병렬 처리 개수에 따라 국소 영역으로 분할할 수 있다. 그림1(b)는 모든 분할 구조에 대해 결합 모드 이론을 활용하여 계산한 결합 계수 분포를 나타낸다.

다. 인접한 도파로 사이의 거리에 따라 광축 방향으로 모드 간의 결합되는 에너지 분포를 확인할 수 있다. 그림1(c)는 제안 알고리즘 도식을 나타낸다. 고유 모드 및 고유값, 경계 산란 행렬 계산 (Step 1), 고유 모드 이론 기반 결합 계수 행렬 계산 (Step 2), 산란 행렬 계산 및 여러 layer간 연결 계산 (Step 3), 광 분포 계산 (Step 4) 순서로 계산할 수 있다.



[그림1] (a) 대면적 구조의 분할 도식 및 (b) 결합 계수 분포, (c) 병렬 처리 알고리즘의 도식

결과적으로 본 연구에서는 대면적 구조에 대한 병렬 연산을 통해 광 분포를 계산할 수 있는 기법을 제안하고 시뮬레이션 분석 결과를 제시한다. 또한, 제안 알고리즘을 통해 기존 RCWA의 계산량 한계를 극복하고 대면적 광학구조를 효율적으로 해석할 수 있음을 검증한다.

사사

The National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1A2C1012559)

참고문헌

- [1] W.-P. Huang, "Coupled-mode theory for optical waveguides: an overview", J. Opt. Soc. Am. A 11, 963-983 (1994).