

액정 기반 복소변조 픽셀 아키텍처 설계와 특성 분석

Design and modulation characteristics of liquid crystal based complex modulation pixel architectures

노진영, 권재범, 김휘*
고려대학교 전자및정보공학과,
*hwikim@korea.ac.kr

액정(Liquid crystal)은 분자의 배열상태가 일정하지 않은 액체와 분자의 배열상태가 일정한 결정체의 중간 상태를 보이는 광학물질이다. 액정의 발견은 디스플레이 기술의 혁신을 가져왔고, 광학장비 대부분에 액정기술이 적용되었으며 현재까지도 액정에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 액정이 가지는 특징인 복굴절(birefringence)에 의해 배향에 따라 다른 유전율을 가지며 이로써 편광의 특성을 조절할 수 있다. 일반적인 LCD는 액정의 앞뒤에 평행 또는 수직 배향으로 선편광판을 위치시키고 액정에 전극을 가해 빛의 투과율을 조절하여 명암을 표현한다.

오늘날 디스플레이 분야에서는 보다 더 사실적이고 생생한 이미지를 구현하기 위한 액정 기술 개발 연구가 이루어지고 있다. 궁극적인 디스플레이는 홀로그래픽 디스플레이라고 알려져 있으며, 동적 홀로그램을 패널에 재생하기 위한 홀로그래픽 디스플레이의 많은 연구가 진행되고 있다. 홀로그램은 빛의 회절을 통해 실제 물체에서 반사되는 광파를 복원하여 실제 물체가 공간상에 떠 있는 듯한 사실감을 주는 기술이다. 빛의 회절성을 이용하기 위해서는 빛의 진폭과 위상이 자유롭게 조절 가능해야 하지만 현재까지 광파의 위상과 진폭을 모두 변조할 수 있는 패널 기술은 개발되지 못했으면 다양한 연구가 진행되고 있다.^[1,2]

본 논문에서는 액정의 편광특성을 이용하여 광파를 복소변조 할 수 있는 3가지의 복소변조 아키텍처를 설계하고 그 특성을 분석하였다. 첫 번째로 그림 1.과 같이 한쪽 방향의 편광의 진폭을 변조할 수 있는 액정과 위상을 변조할 수 있는 액정을 연속적으로 위치시킴으로써 복소변조가 되는 스칼라 광파 복소변조(Scalar complex light modulation) 아키텍처를 생각 할 수 있다. 디지털 홀로그램 또는 CGH(Computer generated hologram)을 구현에 사용되는 공간 광 변조기(Spatial light modulator)는 위상변조 방식(Phase only spatial light modulator)과 진폭변조 방식(Amplitude only spatial light modulator)이 있으며, 이를 연속적 배치를 통해 구현 할 수 있다. 하지만 이러한 방식은 공간 광 변조기 사이의 물리적인 거리 사이에서 발생하는 회절로 인해 결함이 생긴다.

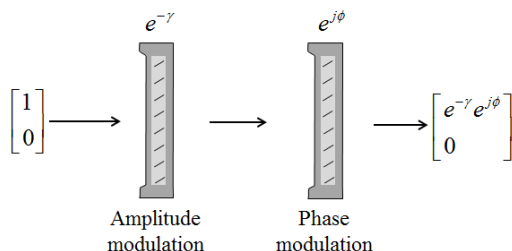


그림.1. 스칼라 광파 복소변조

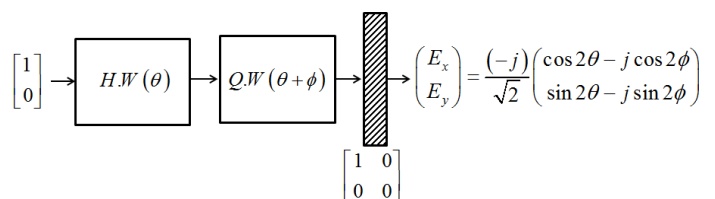


그림.2. 반파장-사분의 일파장판 복소변조

두 번째로 반파장판(Half wave plate)과 사분의 일 파장판(Quarter-wave plate)을 연속적으로 배치시켜 복소변조 하는 아키텍처이다. 반파장판의 배향이 0~90도 회전가능하고, 사분의 일 파장판이 0~180도 회전이 가능할 때, 복소변조가 가능함을 그림 2에서 보여주고 있다. 하지만 사분의 일 파장판에서 180도 회전하는 LC모드는 일반적으로 구현이 어렵기 때문에 실제 구현하고자 할 경우에 추가적인 LC모드에 대한 연구 개발이 필요하다.

세 번째로 초기배향이 수직상태의 ECB(Electrically controlled birefringence) mode 액정을 연속적으로 배치하여 서로 직교한 성분의 편광위상을 독립적으로 변조하여 하는 벡터 광파 복소변조(Vector complex light modulator) 아키텍처이다. 액정의 ECB 모드는 전기적으로 한 방향의 편광에 대한 굴절률을 조절을 통해 위상 지연을 할 수 있다. 따라서 초기배향이 수직인 ECB 모드 액정을 위치시킴으로써 서로 수직한 편광을 독립적으로 위상지연을 할 수 있고, 45도 편광판을 통과함으로써 두 편광의 벡터합을 통해 복소변조가 가능하다. (그림3과 그림4)

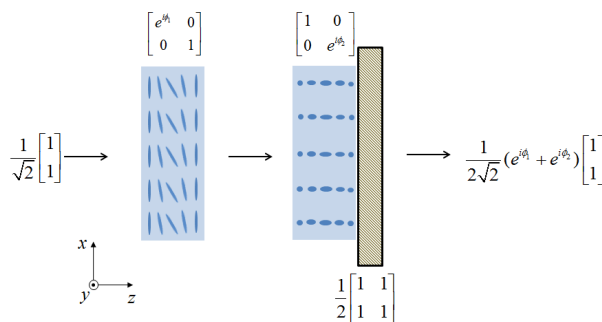


그림.3. 더블 페이즈 인코딩(Double phase encoding)
벡터 광파 복소변조

Double-phase encoding

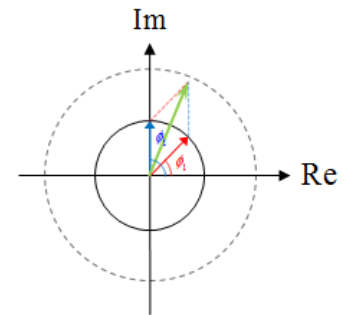


그림.4. 픽셀 크기에 따른 혼신의 영향

앞서 언급했듯이 액정을 연속적으로 위치시켜 광파 복소변조를 하는 방법이지만, 서로 인접한 픽셀에서 나타나는 혼신(Cross-talk)에 의해서 광파 신호의 왜곡이 발생할 것을 예상할 수 있다. LC 기반 광파 복소변조 아키텍처를 연구하고 변조 특성을 분석하여 홀로그래픽 복소 변조 패널의 구현 가능성을 탐색하였다. 액정의 연속적 배열에서 피할 수 없는 혼신에 의한 제한된 픽셀크기 문제의 해결책은 미제로 남아있다.

참고문헌

1. H. Kim, C.-Y. Hwang, K.-S. Kim, J. Roh, W. Moon, S. Kim, B.-R. Lee, S. Oh, and J. Hahn, "Anamorphic optical transformation of an amplitude spatial light modulator to a complex spatial light modulator with square pixels," Appl. Opt. 53, G139-G146 (2014).
2. J. Park, H. Yu, J. H. Park, and Y. Park, "LCD panel characterization by measuring full Jones matrix of individual pixels using polarization-sensitive digital holographic microscopy", Opt. Express 22, 24304-24311(2014).