

PBS를 이용한 편광/시간 광 코드 암호화 시스템 구현

Encryption Enhancement for Optical Coding in High-speed Network using Polarization Beam Splitter

신 종윤, 이 정환, 박 남규
 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부 광통신 시스템 연구실
 jyshin@ieee.org

1. 서론

단일 모드 광섬유 내에서 빛의 편광 상태는 서로 수직으로 편광된 HE_{11x}와 HE_{11y} 모드의 선형 중첩으로 표현된다. 편광 분할 다중화 방식 (PDM: Polarization Division Multiplexing Scheme)은 이러한 두 개의 수직 편광 성분에 각각의 다른 정보를 실어서 보내는 기술이다 [1-3]. 이와 같이 파장의 수요가 증가함에 따라서 스펙트럼 효율을 2배로 할 수 있는 PDM이 연구되어왔다. 한편으로는 시간과 편광이 독립적이므로 이러한 다중화 기술을 이용하여 광 네트워크에서 저렴한 비용으로 광 신호를 보낼 때에 수직으로 편광되는 두 모드에 신호처리를 하여 암호화를 얻을 수 있다. 또한, 이를 이용하여 광 코드 분할 다중화 시스템에 직접 응용하여 광 OCDMA 코드를 구현할 수도 있다. 본 논문에서는 간단한 편광/시간 광 코드 암호화 시스템을 구성하여 전송 실험을 통해서 암호화와 신호복원을 확인하는 동시에, 편광모드 분산 효과를 넣은 편광/시간 광 코드 전송 시뮬레이션을 구현하여 실험 결과와 비교 분석하기로 한다.

2. PBS를 이용한 편광/시간 분할 암호화 시스템 구조

그림 1은 편광분리기를 이용한 편광/시간 광코드 암호화 시스템 구조를 보여준다. 송신단에서 보내는 광원을 편광분리기를 통과하여 두 개의 수직 편광 성분으로 나누어지며, 신호에 암호화를 위해서 서로 다른 딜레이 라인을 첨가하여 코드화하고 이를 다시 편광합성기를 통과시켜서 두 개의 수직 편광 성분을 합성하여 네트워크로 보내준다. 이때 실제 실험에서는 1550nm 대역의 편광분리기 사용을 위해서 1550nm DFB LD를 사용하였으며 신호를 실어주기 위해서 BERT에 패턴함수 발생기를 이용하여 디지털 변조를 하여 신호를 실어주었으며 변조기를 거치면서 줄어든 광 파워를 키우기 위해서 작은 5dB 정도 증폭시켜주는 증폭기 (EDFA)를 사용하여 전송하였다.

수신단에서는 전송단에서 보내온 암호화된 신호를 복원하기 위해서 전송단에 암호기와 같은 대칭구조로 수신단을 구성한다. 이와 같이 암호화된 신호는 편광분리기를 통하여 두 개의 수직 편광으로 나누어지며 이때 두 수직 편광 성분이 같은 시간에 매칭이 되게 딜레이 라인을 전송단과 대칭적으로 첨가한다. 다시 편광합성기를 통과하여 두 편광 성분의 파워가 더해지면서 원래 신호와 같은 복원된 신호를 얻게 된다.

두 수직인 편광을 이용하게 되므로 진행되는 동안 광섬유 내에 랜덤하게 복굴절이 변하게 되고 이에 따라서 신호의

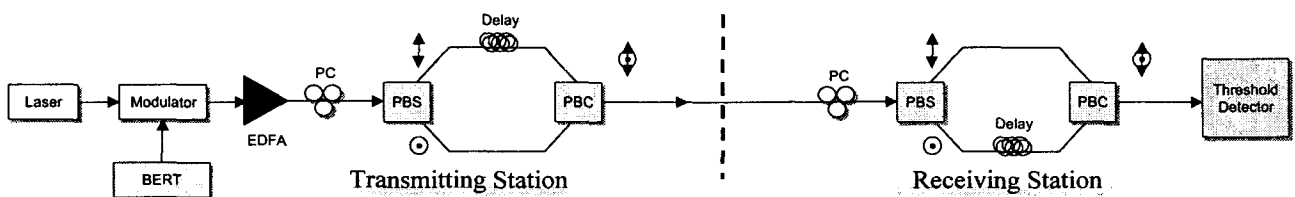


그림 1 PBS를 이용한 편광/시간 암호화 시스템

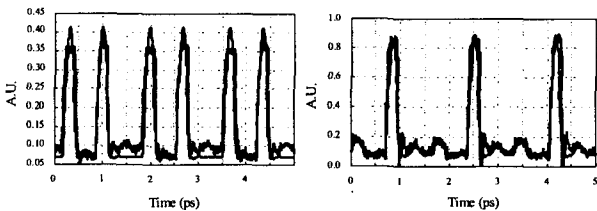
SOP(State of Polarization)가 복잡하게 뒤섞일 뿐만 아니라 두 수직 성분인 편광에서 편광 누화(crosstalk)를 겪게 된다. 하지만, PDM(Polarization Division Multiplexing)에서 두 직교 성분을 수신단에서 역다중화(demultiplexing)를 해야하는 것과는 달리 편광/시간 암호화 시스템에서는 두 직교 성분에 전체 파워에 의해서 신호를 얻게 되므로 PDM에서와 같은 엄격한 역다중화를 요하지 않는다^[1]. 편광/시간 암호화 시스템은 편광 모드 분산에 큰 영향을 받을 정도로 장거리를 전송하는 것이 아니라 비교적 짧은 단거리 전송환경에 적합한 방법이라 할 수 있다.

3. PBS를 이용한 암호화 실험

데이터 전송률을 4.8GHz로 송신단에서의 딜레이라인의 차이를 0.3m으로 주어서 전송하였다. 그림2-(a)는 1000000의 신호를 반복적으로 보낼 때에 암호화 된 신호의 결과이며 그림2-(b)는 복원된 신호의 파형을 보여준다.

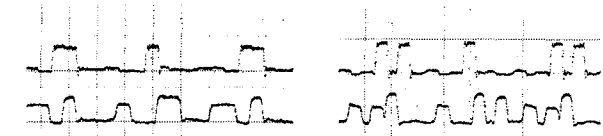
실험과 시뮬레이션에서의 부호화된 신호와 복호화된 신호의 결과가 유사함을 알 수 있다. 그림2-(b)에서 보듯이 실험 결과를 통해서 편광 분리가 정확하게 직교성분을 가지는 두 편광 모드로 분리해주시지 못하기 때문에 옆에 작은 크기의 들출부들이 뜸을 알 수 있다. 실험에서는 20dB정도의 Extinction Ratio를 가지는 편광 분리를 사용하였다. 시뮬레이션에서 이를 고려하여 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 위의 그림은 실험요소들을 고려하여 얻어진 그림 2-(b)의 복호화된 신호를 파장영역에서 살펴본 것이다. 이때에 시뮬레이션 결과를 통해서 사이드 로브에 대한 cross talk을 함께 얻을 수 있었으며, 신호와 사이드 로브의 크기를 비교하였을 때에 대략 18dB정도가 나온다.

또한 데이터 신호를 110000001000000, 1010000010000000을 주기적으로 전송하였을 때에 각각의 실험 결과는 그림3과 같다. 암호화된 신호는 각각의 그림에서 아래 신호이며, 복원된 신호는 위에 신호이다. 이와 같이 전송선로에서는 전송하는 신호를 예측하기 힘들게 암호화되어서 전송됨을 할 수 있다. 실제로 이 딜레이 라인을 어떻게 정하느냐에 따라서 암호화된 신호가 결정이 되므로, 이에 대한 사전정보가 없다면 신호를 복원하기가 더 어려워진다. 또한, 전송선로에서 신호를 엿듣기 위해서 어떤 조작을 가하게 된다면, 편광은 민감하게 반응을 하게 되므로 실제로 전송선로에 어떤 이상이 있거나 감시를 할 수 있는 장점이 있다.



(a) 부호화된 신호 (b) 복호화된 신호

그림 2. 4.8GHz 전송 암호화 실험과 시뮬레이션 결과



(a) 1100000/10000000 (b) 1010000/10000000

그림 3. 4.8GHz 암호화신호 전송 결과

4. 결론

본 논문에서는 NRZ 또는 RZ 형태의 데이터를 전송하는 시스템에서 편광분리기를 이용하여 신호를 암호화하고 전송하며 수신단에서 이 신호를 복원하는 방법을 제안했다. 즉, 점 대 점(point-to-point) 방식의 신호전송에서 초고속 통신은 물론 기존에 이미 설치되어있는 시스템을 그대로 사용하면서 동시에 보안성을 유지하는 시스템 구현을 가능하게 한다. 이는 더 나아가서는 OCDMA 시스템을 구현하는데 시간/파장/공간뿐만 아니라 편광을 이용한 코드화의 가능성을 보여주기도 한다.

참고문헌

[1] M. I. Hayee, et al., "Doubling of bandwidth utilization using two orthogonal polarizations and power unbalancing in a polarization-division-multiplexing scheme," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 8, pp.881-883, 2001.

[2] J. J. Lepley, et al., "Excess penalty impairments of polarization shift keying transmission format..." *Elec. Lett.*, Vol. 36, pp. 736-737, 2000.

[3] L. E. Nelson, et al., "Observation of PMD-induced..." *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 7, pp.739-740, 2001.