

다중모드 광섬유의 모드스펙클 패턴을 이용한 광연결*

양준영 · 장주석 · 정신일

부경대학교 정보통신공학과

(1997년 8월 1일 받음)

본 논문에서는 다중모드 광섬유에서 발생하는 모드스펙클 패턴을 이용한 M개의 입력단과 N개의 출력단 사이의 간단한 광연결 방법에 관하여 기술하였다. 적절히 여기된 모드스펙클 패턴을 목적지 코드로 사용하고, M개의 홀로그래프를 중첩기록한 Vander Lugt 정합필터를 사용하여 수신되는 모드 스펙클 패턴을 분리 검출함으로써 nonblocking 완전광연결이 가능함을 설명하였다. 광섬유에 입사되는 빔입사각을 바꾸어주거나, 입력광의 편광방향을 바꾸어주면서 출력단에 발생하는 모드 스펙클 패턴들의 직교특성을 조사하였다. 임의의 $M \times N$ 광연결이 가능함을 보이기 위한 기초 실험으로서 코어직경이 $50 \mu\text{m}$ 인 경사형 굴절률 분포의 4×4 다중모드 광섬유 결합기를 사용하여 1×2 광연결과 2×1 광연결 실험을 수행하였다.

I. 서 론

최근 다중모드 광섬유에서 얻어지는 모드 스펙클 패턴을 제거하여 이미지 전송을 하거나^[1] 혹은 모드 스펙클 패턴 자체를 이용하여 여러 가지 정보처리에 이용하는 연구들이 수행되고 있다.^[2-6] Saffman과 Anderson은 모드 스펙클을 광네트워크에 적용하여 새로운 다중화방법을 제안하였고^[2] Yu 등은 다중모드 광섬유의 모드 스펙클 패턴을 홀로그래피 기술 또는 컴퓨터 기술로 처리해서 진동, 온도, 변위 등을 측정하는 연구를 수행하였으며,^[3,4] Chang과 Hong은 한가닥의 다중모드 광섬유를 통해 2차원 영상을 전송하는 실험을 수행한 바 있다.^[5] 그리고 Henao 등은 모드 스펙클 패턴을 이용하여 다중모드 광섬유의 코어 직경을 측정하는 연구를 하였다.^[6] 또한 모드 스펙클 패턴을 광배 모리에 적용하는 연구도 이루어 지고 있다.^[7,9]

본 논문에서는 다중모드 광섬유 결합기에서의 모드 스펙클 패턴을 이용하여 데이터 충돌없이 완전 광연결이 가능한 방법을 연구하였다. 우리의 광연결 방식은 공간 CDMA(code-division multiple access)와 닮아 있다. 이는 시간영역의 2진 광신호를 공간영역의 직교코드로 코딩하여 송신하고, 이 신호를 수신측에서 홀로그래피 기술을 이용해 자신의 공간 코드와 공간적 상관을 취해 수신 신호를 복원하는 것이다.^[10] 이 방식은 시간 영역과 공간영역을 모두 사용하므로, 시간영역의 직교코드를 사용하는 기존의 CDMA에 비해 효율적이며, 각각 데이터 형식이나 전송율에 무관하게 다중접속이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 직교코드를 광변조기 등으로 만들어 주어야하고, 공간적으로 코딩된 신호를 찌그러짐이나 공간 잡음없이 전송해야만 하는 새로운 문제점을 갖게 된다. 우리의 방식은 다중모드 광섬유의 모드스펙클 패턴 자체를 직교 코드로 이용한다고 볼 수 있다. 특히 홀로그래프 기록 매질로, 일반적으로 사용되는 두께가 매우 두꺼운($\sim 1 \text{ cm}$) 광굴절

결정을 사용하지 않고, 약 $20 \mu\text{m}$ 두께의 광폴리머를 사용함으로써 비교적 얇은 홀로그래프 매질로도 모드 스펙클 패턴의 직교성을 이용할 수 있음을 보였다.

II. 모드 스펙클 패턴들 사이의 상관 특성

모드 스펙클패턴은 다중모드 광섬유에 코히어런트한 광을 입사시킬 때 광섬유를 전파해 나가는 여러 모드들의 간섭무늬이다. 광섬유의 모드수는 광섬유의 수치적 구경(Numerical Aperture: NA), 빛의 파장, 코어직경에 의해 결정되는데 모드 수가 많을수록 모드 스펙클패턴은 더 복잡해진다.

다중모드 광섬유 출력면에서의 모드 스펙클 패턴의 공간적 전개분포는 광섬유의 물리적 상태, 입사광의 파장, 입사광의 편광상태, 입사광의 입사각도 그리고 광이 전파해나간 경로 등에 따라 달라진다. 그림 1은 하나의 다중모드 광섬유에서 얻어지는 서로 다른 모드 스펙클 패턴 예를 나타낸 것이다.

다중모드 광섬유로 광이 입사될 때 입사광의 입사각도에 따른 출력 모드 스펙클 패턴들 사이의 상호상관을 조사하기 위해 그림 2와 같은 실험을 수행하였다. 광섬유에서 출력되는 모드 스펙클 패턴을 편광기(polarizer)에 통과시켜 기준빔과 같은 편광성분만 사용하였다. 먼저 직경이 2 mm 인 조리개는 임의의 한 위치에 고정시킨 후 빔을 입사시켜, 이때의 모드 스펙클 패턴을 평면파 참조빔으로 기록하여 정합필터^[11]를 제작하였다. 그 다음 셔터 2를 닫고 조리개의 위치를 한쪽 방향으로 이동시켜 가면서(즉 입사각을 바꾸어주면서) 새로운 모드 스펙클 패턴을 여기시켜 홀로그래프를 읽는다. 이때 정합필터에서 회절되는 빛 세기의 최대값, 즉 기록된 모드 스펙클 패턴과 새로 여기된 모드 스펙클 패턴과의 상관첨두치 제곱을 CCD센서로 측정하여 그림 3(a)에 나타내었다. 조리개가 2 mm 이상 이동될 때부터 거의 0에 가까운 첨두값을 줄을 알 수 있다. 이 결과를 볼 때 공통 입사각 성분이 없는 ray로 구성된 두 입사빔을 입력시키면 서로 수직인 모드스펙클 패턴이 얻어짐을 알 수 있다.

*본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비(961-0922-118-1) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

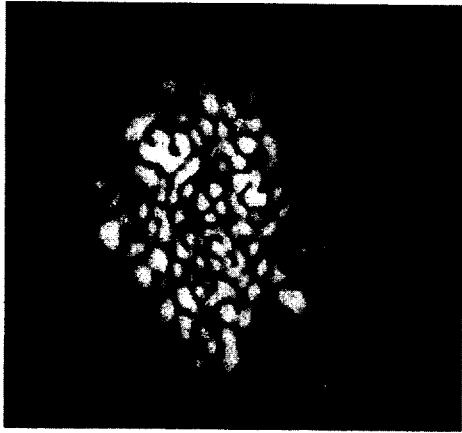


그림 1. 두 개의 서로 다른 모드 스펙클 패턴

할 수 있으며, 또한 광섬유 결합기 회로가 선형 시스템으로 해석될 수 있음을 뜻한다.

III. 모드 스펙클 패턴을 이용한 광연결의 원리

그림 4와 같이 M개의 입력단자와 N개의 출력단자가 광전-전광 신호변환 없이 다중모드 광섬유 결합기를 통해 물리적으로 결합되어 있다고 하자. 단 광섬유의 물리적 상태는 시간적으로 변하지 않고 광섬유에 입사되는 빔의 편광은 고정되어 있다고 하자. 각 입력단자에 빔을 입사시키면, 독립적 광섬유 경로가 각 단자마다 있으므로 모드변환이 각각 독립적으로 발생한다. 따라서 포트수보다 충분히 많은 수의 모드가 여기된다고 하면, 출력 포트에서 얻는 모드 스펙클 패턴의 전계 분포 함수들은 일반적으로 서로 수직이 된다. 게다가 입력단자에 빔을 입사시키는 상태는 여러 가지가 있을 수 있지만 여기서는 편광을 사용하지 않고 편위상 여러 각도로 빔을 입사시키는 경우만 생각하기로 한다. 즉, m번째 입력단자에 신호 빔 I를 각도 $u(u=1, 2, \dots, N)$ 로 launch 시키는 경우를 I_m^u 로 표

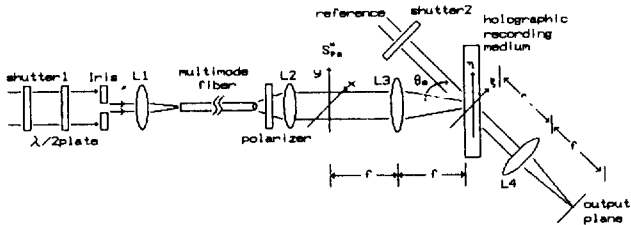


그림 2. 모드 스펙클의 상관특성 조사를 위한 실험구성도

입사각 외에 입사빔의 편광이나 파장이 바뀌거나 광섬유의 구부림과 같은 외부요인에 따라라도 출력면에서의 스펙클 패턴이 다르게 변한다. 예를 들어 그림 2에서 입사면에 있는 $\lambda/2$ plate를 회전시켜 입사광의 편광을 바꾸어 줄 때 정합필터 출력 회절광의 침투치 세기를 측정할 것을 그림 3(b)에 나타내었다. 편광을 90° 회전시켰을 때에만 직교 모드 스펙클 패턴이 얻어짐을 알 수 있다. 즉 편광을 변조하여 얻을 수 있는 직교 스펙클 패턴은 2가지뿐이다. 이것은 정성적으로 생각해 보아도 서로 직교한 편광상태는 2가지뿐이라는 데서 충분히 짐작

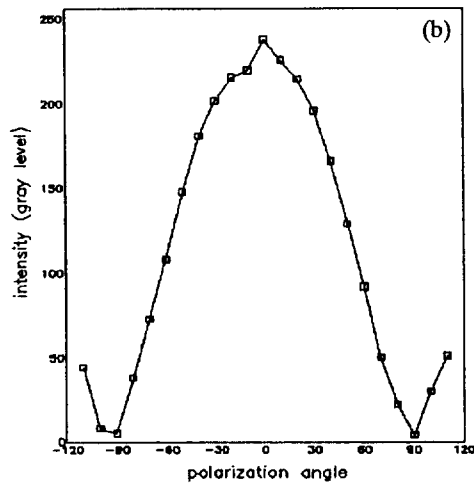
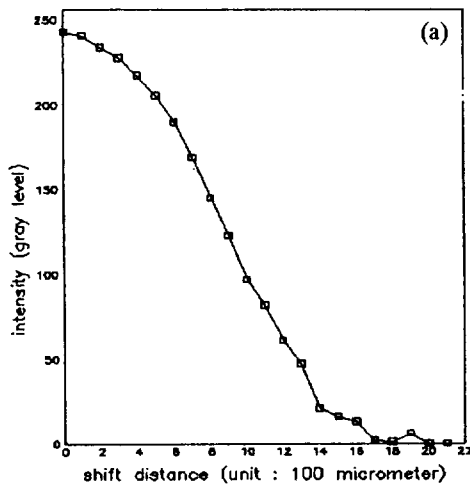


그림 3. 모드 스펙클 패턴의 상관특성 실험 결과, (a) 직경이 2 mm인 입사빔의 +X축 방향 이동에 따른 상관치 추이, (b) 입사광의 편광이 -90° 에서 90° 까지 변할 때의 상관치 결과

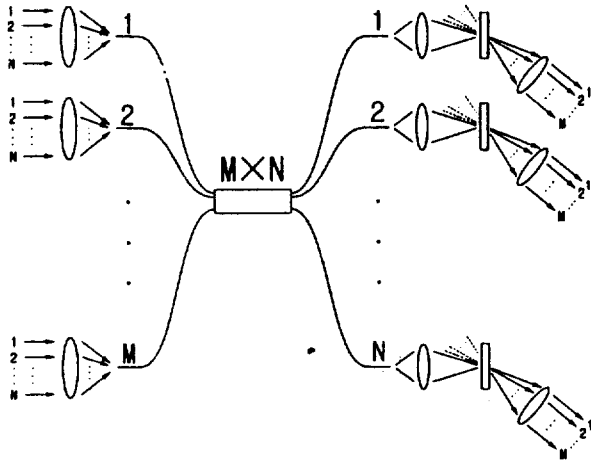


그림 4. M×N 다중모드 광섬유 결합기를 사용한 연결 구조

시하고, 이 상황에서 p번째 출력단자의 어떤 위치 (z=상수)에서 발생하는 모드 스펙클 패턴의 전개분포를 $s_{pm}^u(x,y)$ 로 나타내기로 하자. 그러면 모든 m과 n, u와 v, 그리고 p와 q 쌍에 대해 correlation은 식 (1)과 같이 근사화된다.

$$\iint s_{pm}^u(x, y) s_{qn}^v(x+x', y+y') dx dy \approx C \delta_{mn} \delta_{uv} \delta_{pq} \delta(x') \delta(y') \quad (1)$$

여기서 C는 0이 아닌 상수이고 δ_{mn} , δ_{uv} 그리고 δ_{pq} 는 Kronecker delta 함수이고 $\delta(x)$ 는 Dirac의 delta 함수를 의미한다. *는 복소공액을 의미한다. 정수 m, n은 1에서 M까지이고, 정수 u, v, p, q는 1에서 N까지이다.

모드 스펙클 패턴은 선형 중첩의 원리가 성립되므로 I_m^u 와 I_n^v 를 동시에 보내면, 출력단자 R_p 의 모드 스펙클 패턴의 전개분포는 $s_{pm}^u + s_{pn}^v$ 가 되며 그 이상 여러개를 보내더라도 마찬가지가 된다. 따라서 한가지 예로 p번째 출력단자에 M개의 $s_{pm}^{u(p)}$ ($m=1, 2, \dots, M$)을 홀로그램에 저장해 둔다고 하자. 즉, m번째 입력단자가 p번째 출력 단자로만 신호를 보내고자 할 때는 $I_m^{u(p)}$ 만을 전송하면 되며, 이는 입력단자들이 빔 launch 각도 u를 목적지 주소로 사용함을 뜻한다. 출력단자에서 여러개의 신호를 동시에 받을 때에는 이들의 모드 스펙클 패턴을 비교 분리함으로써 즉, 출력신호를 디코딩함으로써, 입력단자 각각의 신호를 알 수 있게 된다.

수신되는 신호의 비교분리는 다중화된 정합 필터를 써서 병렬적으로 실시간에 수행할 수 있다.^[11] 그림 2 처럼 p번째 출력단자에서 초점거리 f인 푸리에 변환 렌즈 L_3 를 통해 M개의 모드 스펙클 패턴 $s_{pm}^{u(p)}$ ($m=1, 2, \dots, M$)의 푸리에변환 함수 $S_{pm}^u(\xi/\lambda f, \eta/\lambda f)$ 를 각다중으로 기록해 둔다고 하자. 여기서 ξ 와 η 는 x와 y축에 각각 평행한 푸리에 면에서의 좌표축을 나타내고, λ 는 사용하는 광원의 파장이다. 기준빔은 평면파이고 $S_{pm}^u(\xi, \eta)$ 에 대해 $A \exp(-j2\pi\alpha_m \xi)$ 를 함께 노출시킨다. 여기서 A는 상수이며, α_m ($m=1, 2, \dots, M$)는 $\sin\theta_m/\lambda$ 이고 θ_m 은 각다중을 위한 기준빔과 z축과의 각도이다. 위상홀로그램이 만들어졌다고 가정하면, 이 기록 매체에는 다음과 같은 굴절률 변화

Δn_r 항이 생긴다.

$$\Delta n_r \propto \sum_{m=1}^M S_{pm}^* (\xi/\lambda f, \eta/\lambda f) \exp(-j2\pi\alpha_m \xi) \quad (2)$$

만약 n번째 입력 단자가 $I_n^{(u=q)}$ 를 보냈다고 하자. 그러면 p번째 출력단자 R_p 에서 얻은 모드 스펙클 패턴의 푸리에 변환은 $S_{pn}^q(\xi/\lambda f, \eta/\lambda f)$ 가 되고 이것으로 홀로그램을 읽으면, 홀로그램 바로 뒤의 출력 R_p 는 식 (3)과 같이 된다.

$$R_p (\xi/\lambda f, \eta/\lambda f) \propto \sum_{m=1}^M S_{pm}^q (\xi/\lambda f, \eta/\lambda f) \times S_{pm}^* (\xi/\lambda f, \eta/\lambda f) \exp(-j2\pi\alpha_m \xi) \quad (3)$$

이를 p번째 출력단자에 있는 초점거리 f인 렌즈 L_4 로 역푸리에 변환하면, 위 식의 마지막 항은 L_3 의 초점평면 (x'_p, y'_p)에서 식 (4)와 같이 나타난다.

$$r_p (x'_p, y'_p) \propto \sum_{m=1}^M \iint s_{pm}^* (x, y) \times s_{pn}^q (x+x'_p - \lambda f \alpha_m, y+y'_p) dx dy \quad (4)$$

여기서 x'_p 와 y'_p 는 각각 x_p 와 y_p 에 반대방향이다. 식 (1)로부터 식 (4)는 $p \neq q$ 이면 0이고 $p=q$ 인 경우에만 식 (5)에 비례하는 값을 얻는다.

$$r_p = \delta(x'_p - \lambda f \alpha_m) \delta(y'_p) \quad (5)$$

바꾸어 말해, 이 상관 침두치로부터 q번째 출력단자는 n번째 입력단자가 자신에게 데이터를 전송하고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 방식으로 여러개의 입력이 여러개의 출력으로 동시에 데이터를 전송할 수 있다. 특히 여러개의 입력 단자가 동시에 하나의 출력단자로 접속된다고 하여도, 각 입력단자에 대응되는 출력 상관 침두치의 위치가 다르므로 데이터 충돌없이 데이터 수신이 가능하다.

IV. 광연결 실험

실제 실험에서는 4x4 광섬유 결합기 하나를 사용하였다. 광섬유의 코어 직경은 약 50 μm 이었고 입력단자에서 출력단자까지의 길이 약 3m이었다. 광원은 633 nm 파장의 He-Ne 레이저이었고, 홀로그램 기록 매질은 두께 20 μm 인 DuPont사의 HRF 850-245 광폴리머 필름이었다.

4.1. 2×1 광연결 실험

먼저 임의의 두 입력단자에서 한 개의 출력단자로 동시에 접속이 가능함을 보이기 위한 실험 장치는 그림 5와 같다. 각각의 입력단자에 대응하는 두개의 모드 스펙클 패턴에 대한 정합필터들을 광폴리머 필름에 차례로 각다중화 방식으로 중첩 제작하였다. 만약 접속 단자수가 많아지면 홀로그램 기록 매질의 두께를 증가시키거나 회전다중화 방식을 사용하여 많은 수의 정합필터를 다중화하여 기록할 수 있을 것이다. 특히 회전다중화 방식을 사용하면, 얇은 홀로그램 기록매질에 비교적 많은 수의 홀로그램을 기록할 수 있다.^[12]

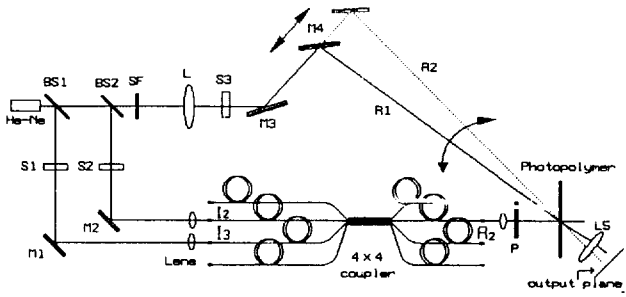


그림 5. 2×1 전송을 위한 실험 구성도

정합필터를 중첩 제작한 후에 홀로그램 기록시 사용하였던 기준빔은 block 시켰다. 두 송신단자에서 신호를 보낼 때, 출력단에서 검출하는 정합필터의 상관출력은 홀로그램의 1차 회절빔이다. 그림 5에서 만약 입력단자 I_2 및 I_3 가 동시에 신호를 전송하면, 하나의 출력단자에서 그림 6(a)와 같이 두 개의 출력이 동시에 독립적으로 분리되어 검출된다. 그리고 입력단자에 신호 I_2 나 I_3 하나만을 전송할 경우에도 그림 6(b) 혹은 (c)처럼 각기 crosstalk 없이 검출됨을 볼 수 있다.

그림 6의 오른쪽 그림은 CCD 카메라로 검출된 정합필터 출력의 세기분포를 그린 것이다. 실험에서는 2:1 전송만 수행하였지만 각각의 출력단에서 모든 입력단에 대한 모드 스케클 패턴을 정합필터로 저장해 둔다면 N:1 전송이 가능함은 명백하다.

4.2. 1×2 광연결 실험

하나의 입력단자가 임의의 두 개 출력단자로 선택해서 접속이 가능함을 보이기 위해 그림 7과 같은 실험을 수행하였다.

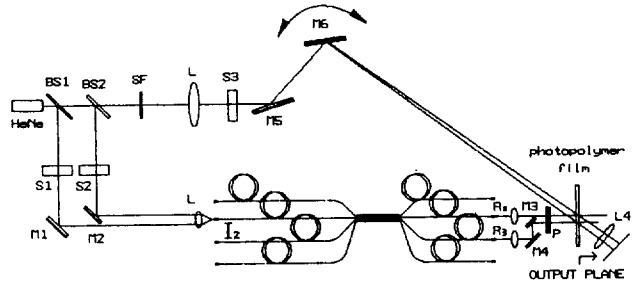


그림 7. 1×2 전송을 위한 실험 구성도

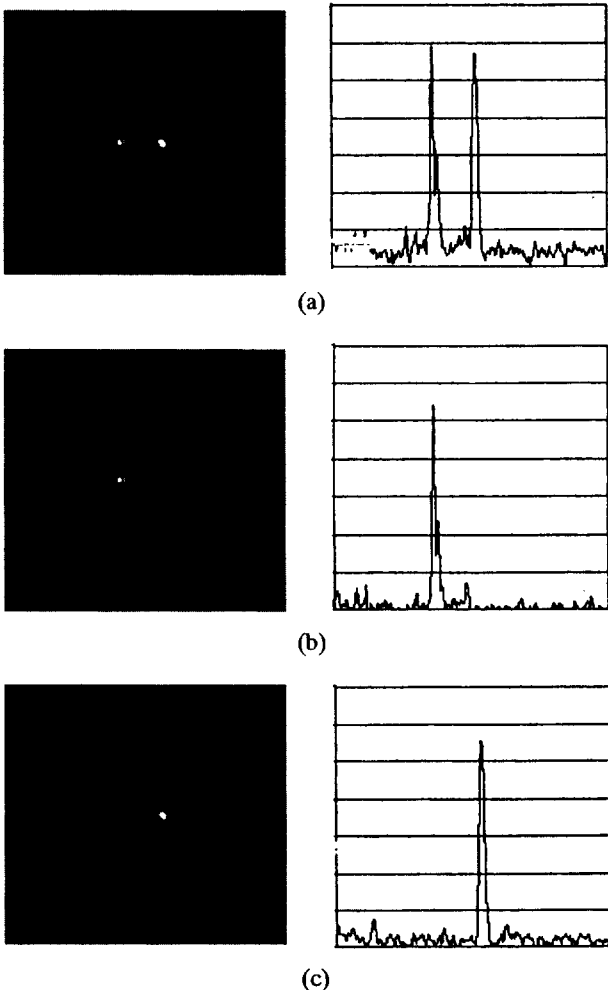


그림 6. 2×1 전송 실험 결과, (a) I_2 , I_3 가 동시에 신호를 보낸 경우, (b) I_2 만 신호를 보낸 경우, (c) I_3 만 신호를 보낸 경우

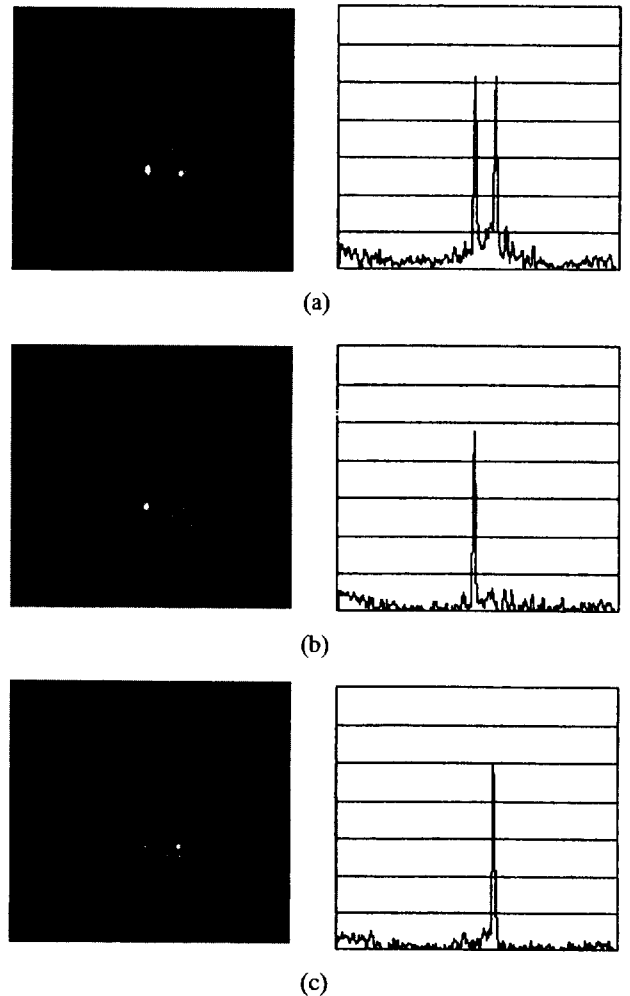


그림 8. 1×2 전송 실험 결과, (a) R_2 , R_3 로 동시에 신호를 보낸 경우, (b) R_2 로만 신호를 보낸 경우, (c) R_3 로만 신호를 보낸 경우

2개의 빔 입사 상태를 얻기위해 두가지 입사각도를 사용하였다. 첫 번째 입사각도는 출력단자 R_2 에만 접속시킬 때 사용하고 두 번째 각도는 출력단자 R_1 에만 접속할 때를 위한 것이다.

그림 8(a)는 입력단자 I_1 가 동시에 두 출력단자로 접속하기 위해 두 개의 입사상태로 동시에 빔을 입사시킨 경우이고, 그림 8의 (b)와 (c)는 각각 하나씩의 빔만 입사시킨 경우이다. crosstalk 없이 잘 전송됨을 보여주고 있다.

그림 8의 오른쪽 그림들은 검출된 출력의 세기분포를 나타낸 것이다. 이 실험으로 1:N 동시 전송이 가능함을 보여주고 있다. 그림 5 및 7의 실험에서 각단자에서 입력 데이터를 스위칭 시켜주면 데이터 충돌없이 임의의 M:N 광연결 및 교환이 가능함을 알 수 있다.

V. 고찰 및 결론

다중모드 광섬유의 모드 스펙클 패턴은 광섬유의 물리적 상태 변화에 아주 민감하게 반응하므로 시스템이 매우 안정적이어야 한다는 문제점이 있다. 따라서 수동 광연결 소자로 사용하기 위해서는 광섬유결합기가 잘 고정되어야 한다. 따라서 우리의 시스템은 전체의 망으로서 사용되는 것보다 하나의 스위칭 소자로서 사용되는 것이 타당하다. 물론 이 경우에도 참고문헌2와 같이 동적 홀로그래프를 사용하면, 주기적으로 패턴의 홀로그래프를 갱신시켜줌으로써 더욱 안정된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

다중모드 광섬유에서 여기되는 모드의 수 N_{modes} 가 유한하므로, 실제의 상관 함수 모양은 이상적인 δ 함수가 되지않는다. 간단히 각 모드의 전개진폭이 1이고 위상지연은 앞에서 언급한 것처럼 $[0, 2\pi]$ 범위에서 균일 확률분포로 랜덤하다고 가정하면, 신호대 잡음비(SNR)를 계산할 수 있다. 여기서 신호세기는 정합된 필터에 의한 출력 상관함수치의 빔세기이고, 잡음세기는 정합되지 않은 M-1개의 필터에 의한 산란된 신호들의 세기 분산(variance)이다. M개의 입력단자 중에서 1개만이 신호를 보내어 연결된다면 SNR은 약 $N_{modes}/(M-1)$ 가 된다. 여기되는 모드 수가 클수록 SNR은 증가한다. 이는 각각의 모드를 2차원 광변조기의 픽셀로 생각했을 때 참고문헌10의 결과와 부합한다. 최악의 경우는 M개 입력단자 모두가 하나의 출력단자로 연결될 때이고, 이 출력단자에서의 SNR은 $N_{modes}/M(M-1)$ 가 된다. 예를 들어, 만약 광섬유 코어직경 $D=100 \mu m$, $N.A=0.2$, 그리고 사용하는 빔의 파장 $\lambda=0.5 \mu m$ 라고 하면, $M=16$ 일 때의 SNR은 $N_{modes}/M(M-1) \approx (2DN.A.)^2/\lambda^2 M(M-1) \approx 27$ 이다. 이는 2진 신호를 보내는데는 충분한 값이다.

N_{modes} 가 증가함에 따라 SNR이 커지지만, 외부 환경의 변화에 대한 모드의 안정성은 나빠진다. 따라서 N_{modes} 의 수를 임의로 증가시킬 수는 없다. 한편, 출력단자 수 N은 대체로 출력단 신호검출기의 민감도와 입력신호의 세기에 의해 결정된다.

다중모드 광섬유의 경우 모드분산이 있어서 장거리 전송에서는 정보전송용량이 단일 모드 광섬유에 비해 떨어지지만, 본 논문의 구조에서와 같이 짧은 길이의 경우 모드분산의 제약이 중요하지 않다.^{11,14} 오히려 많은 모드수를 다중접속으로 나누어 사용함으로써, 여러 가닥의 단일모드 광섬유 대신에

한 가닥의 다중모드 광섬유를 사용할 수 있음을 알 수 있다.

결론적으로, 본 논문에서는 다중모드 광섬유의 모드 스펙클 패턴을 직교코드로 이용하여 새로운 방식의 광연결 시스템을 제안하고 실험적으로 입증하였다. 먼저 입력단자에서 광섬유에 대한 입사각과 편광상태를 바꾸어 줌으로써 서로 직교한 모드 스펙클 패턴을 만들 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 그리고 다중모드 광섬유 결합기에 적용함으로써 2x1 및 1x2의 간단한 구조의 광연결 및 교환 회로를 얻을 수 있음을 보였다.

참고문헌

- [1] G. J. Dunning and R. C. Lind, "Demonstration of image transmission through fibers by optical phase conjugation," *Opt. Lett.*, **7**(11), pp.558-560 (1982).
- [2] M. Saffman and D. Z. Adersom, "Mode multiplexing and holographic demultiplexing communication channels on a multimode fiber," *Opt. Lett.*, **16**(5), pp.300-302 (1991).
- [3] S. Wu, S. Yin and F. T. S. Yu, "Sensing with fiber specklegrams," *Appl. Opt.*, **30**(31), pp. 4468-4470 (1991).
- [4] F. T. S. Yu, J. Zhang, K. Pan and D. Zhao, "Fiber vibration sensor that uses the speckle contrast ratio," *Opt. Eng.*, **34**(1), pp.236-239 (1995).
- [5] T. Y. Chang and J. H. Hong, "One-way image transmission and reconstruction through a thick aberrating medium by use of volume holography," *J. Opt. Soc. Am. A* **11**(12), pp.3206-3211 (1994).
- [6] R. Henao, J. A. Pomarico, N. Russo, R. D. Torroba and M. Trivi, "Multimode optical fiber core measurement by speckle correlation," *Opt. Eng.*, **35**(1), pp.26-30 (1996).
- [7] 강용훈, 김기현, 이병호, "광섬유를 이용한 위치 다중화 구조의 체적 홀로그래프," *한국광학회지*, 제8권, 제3호, pp. 241-244 (1997).
- [8] Y. H. Kang, K. H. Kim and B. Lee, "Volume hologram scheme using optical fiber for spatial multiplexing," *Opt. Lett.*, **22**(10), pp.739-741 (1997).
- [9] 심영미, 장주석, 정신일, "다중모드 광섬유를 이용한 이진정보의 보안성있는 광학적 저장," 제13회 광학 및 양자전자 학술발표회 논문집, p.106 (1996).
- [10] J. A. Salehi and E. G. Paek, "Holographic CDMA," *IEEE Trans. commun.*, **43**(9), pp.2434-2438 (1995).
- [11] A. Vander Lugt, "Signal Detection By Complex Spatial Filtering," *IEEE Trans. Info. Theory*, **10**, pp.139-145 (1964).
- [12] J.-S. Jang and D.-H. Shin, "Parallel optical-feature extraction by use of rotationally multiplexed holograms," *Opt. Lett.*, **21**(19), pp.1612-1614 (1996).
- [13] 장주석, 양준영, 정신일, "다중모드 광섬유망에서의 모드 스펙클 패턴을 이용한 홀로그래피 코드분할 다중접속," 제3회 광전자공학 학술회의 논문집, pp.173-175 (1996).
- [14] J.-S. Jang, D.-H. Shin, J.-Y. Yang and S. I. Jeong, "Holographic-CDMA-based optical interconecion and switching using multimode fiber couplers," *International Conference on Fibre Optics and Photonics, PHOTONICS-96*, IIT Madras, India, pp.467-472, Dec. 9-13 (1996).

Optical interconnections by use of mode speckle patterns of a multimode fiber

Joon-Young Yang, Ju-Seog Jang and Shin Il Jeong
*Department of Telematics Engineering, Pukyong National University,
Pusan 608-737, Korea*

(Received : August 1, 1997)

In this paper, a simple scheme of optical interconnections between M input and N output terminals using mode speckle patterns generated in the multimode optical fiber is described. It is shown that fully parallel nonblocking interconnections are accomplished by using properly generated mode speckle patterns as destination codes and detecting the generated mode speckle patterns separately using M multiplexed Vander Lugt matched filters at each output terminal. The orthogonality condition of mode speckle patterns is investigated by either changing the launching angles or rotating the polarization direction of the beam. Preliminary experiments by use of a 4×4 graded refractive-index multimode fiber coupler whose core diameter was $50 \mu\text{m}$ were performed to show the feasibility of our scheme.