

2 × 2 광 MEMS 스위치와 광섬유 지연선로를 이용한 위상배열 안테나용 4-비트 광 실시간 지연선로

정병민 · 윤영민 · 신종덕* · 김부균

승실대학교 정보통신전자공학부

Ⓣ 156-743 서울시 동작구 상도5동 1-1

(2004년 5월 13일 받음, 2004년 7월 12일 수정본 받음)

본 논문에서는 파장 고정 광원 한 개와 2 × 2 광 MEMS 스위치, 그리고 광섬유 지연선로로 구성된 4-비트 선형 위상배열 안테나(Phased Array Antenna; PAA)용 광 실시간 지연선로(True Time-Delay; TTD)의 구조를 설계하였고, 두 개의 안테나 소자로 구성된 10-GHz PAA 구동을 위해 단위 시간 지연 차이가 6 ps인 4-비트 TTD를 구현하였다. 실험 결과, 최대 시간지연 오차는 -0.4 ps로 측정되었으며, 이에 대한 최대 주사각 오차는 1.63°로 나타나, 구현한 TTD의 성능이 이론치와 서로 일치하는 것을 확인하였다. 각 안테나 소자에 연결된 광 MEMS 스위치와 광섬유 지연선로의 삽입손실은 스위치 상태에 따라 최소 1.36 dB에서 최대 2.4 dB로 측정되었으며, 또한 정해진 주사각의 경우에는, 안테나 소자 간 삽입손실 차이가 최대 0.32 dB로 측정되었다. 안테나 소자 전단의 증폭기 이득 조정이나 가변 감쇄기를 사용하여 삽입손실을 균등화시키면, 기존의 파장 가변 광원을 이용하는 TTD 구조들 보다 안정적이며 경제적인 TTD 구조가 될 것으로 예상된다.

주제어 : Phased Array Antenna, True Time-Delay, Optical MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) Switch.

I. 서 론

위상배열 안테나(Phased Array Antenna; PAA)는 안테나 소자들의 위상을 개별적으로 조정하여 안테나를 기계적으로 회전시키지 않고도 안테나로부터 방사되는 빔을 원하는 방향으로 주사시킬 수 있는 시스템으로서 주로 육상, 항공 및 선박 레이더 시스템이나 위성통신 및 이동통신에서 널리 사용되고 있다. PAA로부터 방사되는 빔의 주사 방향을 제어하는 방식 중, 광 실시간 지연선로(True Time-Delay; TTD) 주사 방식은 넓은 대역폭, 저 손실, 전자파 간섭에 무관, 경량, 그리고 특히 RF 주파수의 변화에 따른 주 빔의 주사각 변화가 발생하지 않는 장점이 있기 때문에, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직 실험실 수준의 연구에 머무르고 있다. 현재까지 제안된 광 TTD의 구조는 분산 보상 광섬유(Dispersion Compensation Fiber; DCF) 프리즘 방식^[1], PLC(Planar Lightwave Circuit) 방식^[2], 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating; FBG) 프리즘 방식^[3], 칩 광섬유 격자(Chirped Fiber Grating; CFG) 방식^[4,5], FBG와 CFG를 조합한 방식^[6] 등이 제안되었다. 그러나 이 시스템들은 파장 가변 광원이나 다 파장 광원을 필요로 하기 때문에 파장 안정화 및 파장 가변 속도 등의 문제가 발생한다.

최근에 본 연구팀은 단일 파장을 갖는 광원과 2 × 2 광 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 스위치와 광섬유 지연선로의 조합을 이용한 선형 PAA용 광 TTD 구조를 제

안하였고, 10-GHz PAA용 3-비트 TTD를 구현하여 그 결과를 발표하였다.^[7] 이 구조는 기존에 제안된 대부분의 TTD 시스템에서 반드시 요구되는 파장 가변 광원을 사용하지 않기 때문에, 파장 제어 및 스위칭에 따른 문제 등이 발생하지 않아 고 신뢰도의 시스템 구축이 가능하고, MEMS 스위치의 전기적 제어에 의해 고속 빔 주사가 가능한 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존의 3-비트 TTD 보다 빔 주사각의 수를 두 배로 증가시켜 보다 정밀한 빔 주사가 가능하도록 4-비트 선형 PAA용 TTD를 설계, 제작하였으며, 16개의 서로 다른 빔 주사 방향에 대하여 시간지연 및 MEMS 스위치와 광섬유 지연선로에 의한 손실을 측정하고 실험 결과와 분석을 통해 제작된 TTD의 성능을 평가하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 제안된 TTD의 동작 원리에 대하여 간단한 설명하였고, 10-GHz PAA용 4-비트 TTD 제작 과정 및 실험 결과에 대해서는 제 III장에 기술하였다. 마지막으로 IV장에서는 본 연구의 결론을 맺었다.

II. 2 × 2 광 MEMS 스위치와 광섬유 지연선로로 구성된 n-비트 TTD의 동작원리

m 개의 안테나 소자들로 구성된 PAA를 n-비트, 즉 2ⁿ 개의 주사각으로 동작시킬 수 있는 TTD의 구조는 그림 1과 같다. 레이저 다이오드에서 발생하는 CW 광 신호는 광 변조기에서 전기적 RF 신호에 의해 변조된 후, 1 × m 광 결합기

* E-mail: jdshin@ssu.ac.kr

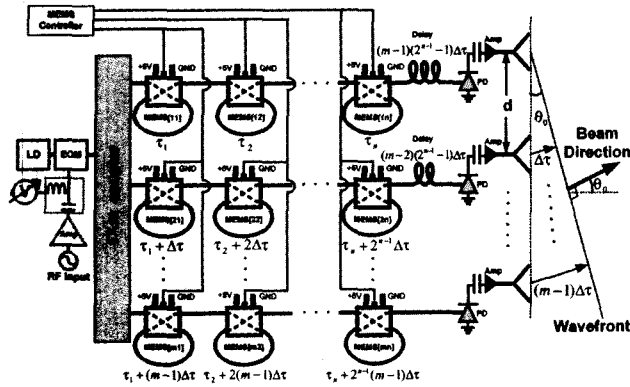


그림 1. 제안된 n-비트 TTD의 구조

에 의해 m 개의 동일한 광 신호로 분리된다. 각 광 신호는 MEMS 스위치들과 광섬유 지연선로들을 통해 광 검출기에 입력된다. MEMS 스위치 제어기는 각 안테나 소자에서 요구되는 시간지연에 따라 MEMS 스위치의 상태를 변환시켜, 필요한 광섬유 지연선로를 선택한다. 광 검출기의 출력 신호는 전기적 증폭기를 거쳐서 안테나 소자에 입력된다. 간격이 d 로 선형 배열된 m 개의 안테나 소자들로부터 각도 θ 에서 측정되는 원거리 장은 각 안테나 소자를 등방성 점 신호원으로 가정하면 다음과 같이 표현된다.

$$E(\theta, t) = \sum_{n=0}^{m-1} a_n e^{i\omega_{RF} t} e^{i(\phi_n + nk_{RF} d \sin \theta)} \quad (1)$$

여기서 a_n 은 n 번째 안테나 소자에 인가되는 전류의 세기, ω_{RF} 는 RF 신호의 각 주파수, ϕ_n 은 n 번째 안테나 소자의 위상, k_{RF} 는 RF 주파수의 전파상수이다. 주 빔(main beam) 을 θ_0 로 방사하기 위해서는, 각 안테나 소자의 위상을 조정하여 θ_0 에서 보강간섭을 일으켜야 하므로, TTD에 의해 n 번째 안테나 소자에 공급되어야 할 시간지연은 다음과 같다.

$$\Delta\tau_n(\theta_0) = -\frac{nds \sin \theta_0}{c} \quad (2)$$

즉, n 번째 안테나 소자의 위상은

$$\phi_n = 2\pi f_{RF} \Delta\tau_n(\theta_0) = -2\pi f_{RF} \frac{nds \sin \theta_0}{c} \quad (3)$$

이 되며, 원거리 장은

$$E(\theta, t) = \sum_{n=0}^{m-1} a_n e^{i\omega_{RF} t} e^{i\frac{2\pi n d f_{RF}}{c} (\sin \theta - \sin \theta_0)} \quad (4)$$

와 같이 되어, 주파수에 상관없이 $\theta = \theta_0$ 에서 전계가 최대가 되므로, RF 주파수의 변화에 무관하게 주 빔의 방향은 θ_0 로 일정하게 된다. 각 안테나 소자에 인가되는 전류의 세기가 a

로 동일하다면 $E(\theta, t)$ 는

$$E(\theta, t) = a e^{i\omega_{RF} t} e^{i\frac{\pi(m-1)d f_{RF}}{c} (\sin \theta - \sin \theta_0)} \frac{\sin \pi n d f_{RF} (\sin \theta - \sin \theta_0)/c}{\sin \pi d f_{RF} (\sin \theta - \sin \theta_0)/c} \quad (5)$$

이 된다. 이 식에서 알 수 있듯이 안테나 소자 수, m 이 증가할수록 주 빔의 폭이 감소하게 되어 지향성이 향상된다. 안테나 소자들의 간격 d 를 RF 파장의 1/2로 하는 경우에는 TTD에 의해 인접 안테나 소자들에 공급되어야 할 시간지연 차이는 식 (2)로부터

$$\Delta\tau = \frac{\sin \theta_0}{2f_{RF}} \quad (6)$$

이 되어, 시간지연 차이는 RF 주파수에 반비례하기 때문에 주파수가 증가할수록 시간지연 차이가 작아져서 광섬유 지연선로의 단위 길이가 짧아진다.

PAA의 최대 주사각 $\theta_0 = \pm \frac{\pi}{2}$ 인 경우에 공급해야 할 시간지연은 $\Delta\tau = \mp \frac{1}{2f_{RF}}$ 이기 때문에 n -비트 동작을 위해서 인접 안테나 소자 간에 필요로 하는 최대 시간지연 차이는

$$\Delta\tau_{max} = \frac{1}{2^n f_{RF}} \quad (7)$$

이 되어야 하며, 이에 해당하는 광섬유 지연선로의 길이는

$$\Delta l_{max} = \frac{c}{n_{eff} 2^n f_{RF}} \quad (8)$$

과 같다. 여기서, c 는 진공 중에서 빛의 속도이고, n_{eff} 는 광원의 동작 파장에서 광섬유의 유효 굴절률이다.

제안된 TTD 구조는 $m \times n$ 행렬로 배열된 2×2 MEMS 스위치들로 구성되며, 각 MEMS 스위치의 CROSS 포트에는 광섬유 지연선로가 연결된다. 각 열(column)의 MEMS 스위치들은 동시에 BAR 또는 CROSS 상태로 절체가 된다. MEMS 스위치의 CROSS 포트에 연결되는 광섬유 지연선로의 길이는 첫 번째 MEMS 스위치 열의 경우에는, 행(row)의 번호가 하나씩 증가할 때마다 단위 시간지연 $\Delta\tau$ 에 해당하는 광섬유 길이만큼 증가하게 되어, 마지막 m 번째 행에는 첫 번째 행보다 $(m-1)\Delta\tau$ 만큼 긴 광섬유 지연선로가 연결된다. 두 번째 열의 경우에는 시간지연의 증가가 $2\Delta\tau$ 씩 이루어지며, 이와 같은 방식으로 n 번째 열에서의 시간지연은 $2^{n-1}\Delta\tau$ 씩 증가한다. 그리고, 각 행의 마지막 MEMS 스위치의 BAR 포트에는 안테나 면의 수직으로부터 \pm 방향으로 주 빔이 주사되도록 바이어스 시간 지연선로가 연결된다. 첫 번째 행에는 $(m-1)(2^{n-1}-1)\Delta\tau$ 에 해당하는 바이어스 광섬유 지연선로가, 그리고 행의 번호가 하나씩 증가할 때마다 $(2^{n-1}-1)\Delta\tau$ 씩 감소하는 바이어스 광섬유가 연결된다.

III. 10-GHz PAA용 4-비트 TTD 제작 및 실험 결과

본 논문에서는 10-GHz PAA용 4-비트 TTD를 제작하였다. 10-GHz, 4-비트 TTD의 경우, 식 (7)에 의해 인접 안테나 소자 간의 최대 시간지연은 6.25 ps이기 때문에 본 연구에서는 $\Delta\tau$ 를 6 ps로 하였다. TTD 제작 및 시간지연 측정을 위한 실험 구성도는 그림 2와 같다. TTD 제작 순서를 간단히 기술하면 다음과 같다. 우선, 1번 행과 2번 행의 모든 MEMS 스위치들을 BAR 상태로 한 후에 2 × 2 광섬유 결합기 출력 양쪽에 스위치들을 차례로 용착 접속하였다. MEMS[14]의 BAR 포트 출력에는 MEMS[24]의 BAR 포트 출력에 연결된 광섬유 보다 긴 광섬유를 연결한 후, 이 두 가닥의 광섬유 단면을 클리빙 하였다. DFB 레이저 다이오드를 이득 스위칭시켜 발생된 반치전폭(FWHM)이 43 ps, 펄스 반복률이 500 MHz인 광 펄스들을 2 × 2 광섬유 결합기의 한 쪽 입력 포트에 입력시켰다. MEMS[14]와 MEMS[24]의 클리빙된 광섬유 단면으로부터 프레넬(Fresnel) 반사되어 2 × 2 광섬유 결합기의 다른 입력 포트에 출력되는 펄스 간의 시간지연 차이를 오실로스코프로 계속 관찰하면서, 두 펄스 간의 시간지연 차이가 바이어스 광섬유 지연선로의 왕복 길이에 해당하는 $-14\Delta\tau$ 가 될 때까지 MEMS[14]의 BAR 포트에 연결된 광섬유를 조금씩 클리빙 하였다. 다음에는 연결된 MEMS 스위치들의 CROSS 포트에 광섬유 지연선로를 용착 접속하였다. 다른 스위치들은 모두 BAR 상태로 하고 MEMS[11]과 MEMS[21]만 CROSS 상태로 만든 후, MEMS[11]의 CROSS 포트에 일정 길이, 즉 시간지연 τ_1 에 해당하는 길이의 광섬유를 용착 접속하고, 그 다음에는 MEMS[21]의 CROSS 포트에 $\tau_1 + \Delta\tau$ 에 해당하는 길이의 광섬유를 연결하였다. 광섬유 결합기 입력 포트에 반사되는 펄스 간의 왕복 시간지연 차이가 $-12\Delta\tau$ 가 될 때까지 MEMS[21]의 CROSS 포트 광섬유 지연선로의 길이를 조정하였다. 마찬가지로 방법으로, MEMS[12]와 MEMS[22]만 CROSS 상태로 하고, 왕복 시간지연이 $-10\Delta\tau$ 가 되도록, MEMS[13]와 MEMS[23]의 경우에는 왕

복 시간지연이 $-6\Delta\tau$, 그리고 MEMS[14]와 MEMS[24]의 경우에는 왕복 시간지연이 $2\Delta\tau$ 가 되도록 광섬유 지연선로를 연결하여 TTD를 완성하였다. 각 MEMS 스위치의 CROSS 포트에 연결된 광섬유 지연선로의 길이는 다음과 같다. MEMS[11]에는 150.98 cm가, MEMS[21]에는 151.11 cm가, MEMS[12], MEMS[13], MEMS[14]에는 각각 156.37 cm, 133.14 cm, 137.86 cm가, 그리고 MEMS[22], MEMS[23], MEMS[24]에는 각각 156.62 cm, 133.63 cm, 138.84 cm가 연결되었다.

그림 3(a)는 TTD의 모든 스위치를 BAR 상태로 한 경우, 그림 3(b)는 1, 2, 3열의 스위치는 모두 BAR 상태로, 그리고 4열의 스위치는 CROSS 상태로 한 경우에 2 × 2 광섬유 결합기로 반사되는 왕복 시간지연 차이를 광학적 대역폭이 30 GHz인 오실로스코프를 이용하여 측정한 결과이다. 이 경우 안테나 소자 간에는 각각 -42.2 ps와 5.8 ps의 시간지연 차이를 갖게 된다. 그림 3 (b)의 경우, 이득 스위칭으로 발생된 광 펄스의 폭이 왕복 시간지연보다 크기 때문에 두 개의 펄스가 중복되어 보이고 있으나 클리빙된 광섬유 각각을 번갈아 클리세린 용액에 담가서 반사가 생기지 않게 하고 각각의 펄스를 측정하면 11.6 ps의 왕복 지연시간을 얻는다. 표 1에

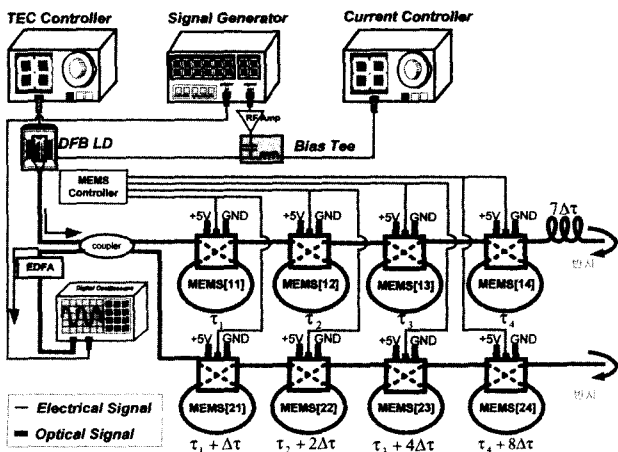


그림 2. 10-GHz PAA용 4-비트 TTD의 실험 구성도.

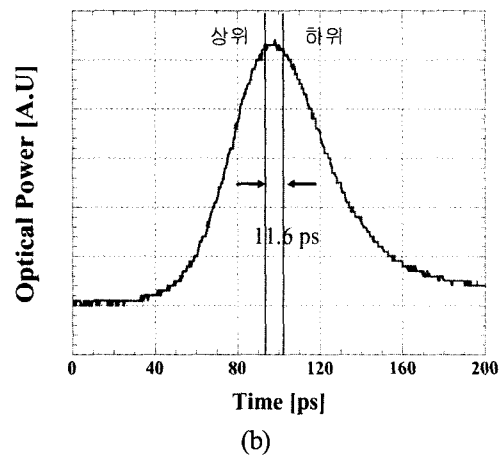
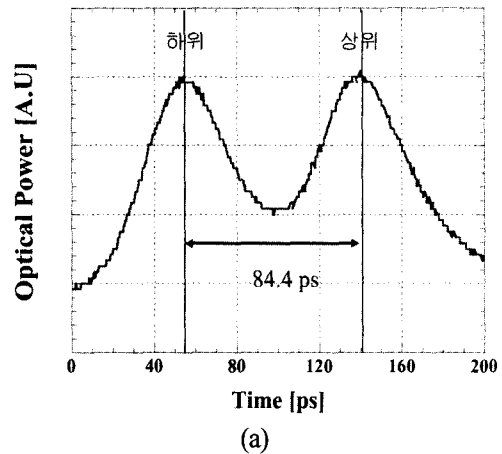


그림 3. 측정된 왕복 지연시간 차이 (a) -84.4 ps인 경우와 (b) 11.6 ps인 경우.

모든 주사각에 대해서 측정된 시간지연을 정리하였다. 실험 결과, 시간지연 오차는 -0.2 ps ~ -0.4 ps로 측정되었다. 시간 지연 오차 $d(\Delta\tau)$ 에 의한 주사각 오차 $d\theta$ 는 식 (6)을 미분하면 다음과 같다.

$$d\theta = \frac{2f_{RF}}{\cos \theta} \Big|_{\theta=\theta_0} d(\Delta\tau) \quad (9)$$

주사각이 -73.7° 인 경우에 1.63° 의 최대 오차가 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서 제작한 TTD의 성능이 이론치와 일치한다고 판단된다.

n -비트 TTD를 구현할 때 비트 수를 증가시키고자 하면, 스위치 수도 증가시켜야 하므로, 삽입손실도 비례적으로 증가하게 된다. 또한, MEMS 스위치의 상태가 CROSS일 때에는, BAR인 경우보다 광 신호가 한 번 더 MEMS를 통과하게 되므로, 삽입 손실이 증가하게 된다. 표 1에 모든 주사각에 대한 MEMS 스위치 상태를 나타내었고, 각각의 주사각에서 측정된 TTD의 1열과 2열의 삽입손실을 정리하였다. MEMS 스위치의 상태가 모두 BAR 인 경우에 1열의 삽입 손실은 1.36 dB, 그리고 2열은 1.40 dB로 측정되었다. 삽입손실이 최대가 되는 경우, 즉 스위치가 모두 CROSS 상태인 경우에는 1열의 삽입손실이 2.40 dB, 2열의 삽입손실은 2.36 dB로 측정되었다. 따라서, 스위치 상태에 따른 TTD 출력의 광 파워 변화는 1열의 경우에는 최대 1.04 dB, 2열에서는 0.96 dB 가 발생함을 알 수 있다. 동일 주사각에 대한 TTD 1열과 2 열 간의 최대 광 파워 변화는 21.1° 와 -28.7° 의 경우에 약

0.32 dB로 측정되어, MEMS 스위치 상태에 따른 파워 변화 보다 상대적으로 낮게 나타났다. 삽입 손실의 불균일성은 방사 패턴에 영향을 미치기 때문에 광 검출기 출력 단에 연결된 RF 증폭기의 이득을 조정하거나 가변 감쇄기를 이용하면 삽입손실을 용이하게 보상할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 파장 고정 광원 한 개와 2 × 2 광 MEMS 스위치, 그리고 광섬유 지연선로들로 구성된 선형 PAA용 광 TTD의 구조를 설계하였고, 단위 시간지연이 6 ps인 10-GHz PAA용 4-비트 TTD의 제작과정을 기술하였다. 그리고, 구현된 TTD의 모든 주사각에서 시간지연 및 삽입손실 측정 결과를 발표하였다.

초단 광 펄스를 이용한 시간지연 측정 결과 모든 주사각에서 이론치와 측정치가 최대 1.63° 이내에서 서로 일치함을 확인하였다. 또한, 삽입손실은 MEMS 스위치의 상태가 모두 BAR 인 경우에 최소가 되고, 모두 CROSS 인 경우에 최대가 되는 데, 두 경우의 삽입손실 차이는 1.04 dB이하로 측정되었다. 삽입 손실의 불균일성은 광 검출기 출력 단에 연결된 RF 증폭기의 이득을 조정하거나 가변 감쇄기를 이용하여 보상할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문의 TTD 구조는 기존에 제안된 대부분의 TTD 시스템에서 반드시 요구되는 파장 가변 광원을 사용하지 않기 때문에, 파장 제어 및 스위칭에 따른 문제들이 발생하지 않아

표 1. 빔 주사각에 따른 MEMS 스위치 상태, 시간지연 및 손실

주사각 [deg]	스위치 상태				시간지연			삽입손실	
	MEMS[11] & MEMS[21]	MEMS[12] & MEMS[22]	MEMS[13] & MEMS[23]	MEMS[14] & MEMS[24]	Time Delay	이론치 [ps]	실험치 [ps]	TTD 선로1 [dB]	TTD 선로2 [dB]
57.1	BAR	BAR	BAR	BAR	-7 Δ τ	-42	-42.2	1.36	1.40
46.1	CROSS	BAR	BAR	BAR	-6 Δ τ	-36	-36.2	1.73	1.61
36.9	BAR	CROSS	BAR	BAR	-5 Δ τ	-30	-30.2	1.68	1.56
28.7	CROSS	CROSS	BAR	BAR	-4 Δ τ	-24	-24.2	2.05	1.77
21.1	BAR	BAR	CROSS	BAR	-3 Δ τ	-18	-18.4	1.39	1.71
13.9	CROSS	BAR	CROSS	BAR	-2 Δ τ	-12	-12.4	1.76	1.92
6.9	BAR	CROSS	CROSS	BAR	- Δ τ	-6	-6.4	1.71	1.87
0	CROSS	CROSS	CROSS	BAR	0	0	-0.4	2.08	2.08
-6.9	BAR	BAR	BAR	CROSS	+ Δ τ	+6	5.8	1.68	1.68
-13.9	CROSS	BAR	BAR	CROSS	+2 Δ τ	+12	11.8	2.05	1.89
-21.1	BAR	CROSS	BAR	CROSS	+3 Δ τ	+18	17.8	2.00	1.84
-28.7	CROSS	CROSS	BAR	CROSS	+4 Δ τ	+24	23.8	2.37	2.05
-36.9	BAR	BAR	CROSS	CROSS	+5 Δ τ	+30	29.6	1.71	1.99
-46.1	CROSS	BAR	CROSS	CROSS	+6 Δ τ	+36	35.6	2.15	2.20
-57.1	BAR	CROSS	CROSS	CROSS	+7 Δ τ	+42	41.6	2.03	2.15
-73.7	CROSS	CROSS	CROSS	CROSS	+8 Δ τ	+48	47.6	2.40	2.36

경제적이면서 고 신뢰도의 시스템 구축이 가능하고, MEMS 스위치의 전기적 제어로 인해 고속 빔 주사가 가능한 장점을 갖고 있기 때문에 PAA를 위한 실용적인 TTD 시스템이라고 예상한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10231-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] M. Y. Frankel, R. D. Esmann, and M. G. Parent, "Array Transmitter/Receiver Controlled by a True Time-Delay Fiber-Optic Beamformer", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 1216-1218, Oct. 1995.
- [2] K. Horikawa, I. Ogawa, H. Ogawa, and T. Kitoh, "Photonic Switched True Time Delay Beam Forming Network Integrated on Silica Waveguide Circuits," *IEEE MTT-S*, vol. 1, pp. 65-68, May 1995.
- [3] A. Molony, L. Zhang, J. A. R. Williams, I. Bennion, C. Edge, and J. Fells, "Fiber Bragg-Grating True Time-Delay Systems: Discrete-Grating Array 3-b Delay Lines and Chirped-Grating 6-b Delay Lines," *IEEE MTT*, vol. 45, pp. 1527-1530, Aug. 1997.
- [4] J. L. Corral, J. Marti, S. Regidor, J. M. Fuster, R. Laming, and M. J. Cole, "Continuously Variable True Time-Delay Optical Feeder for Phased-Array Antenna Employing Chirped Fiber Gratings," *IEEE MTT*, vol. 45, pp. 1531-1536, Aug. 1997.
- [5] Gab-Yong Lee, Yeon-Bong Choi, Jong-Dug Shin, Boo-Gyoun Kim, and Sang-Bae Lee, "A Variable True Time-Delay Optically Controlled with Chirped Fiber Gratings for Linear Phased-Array Antennas," *OECC 2002*, pp. 528-529, Yokohama, Japan, July 8-12, 2002.
- [6] Y. Liu, J. Yao, and J. Yang, "Wideband true-time-delay unit for phased array beamforming using discrete-chirped fiber grating prism," *Opt. Commun.*, vol. 207, pp. 177-187, June 2002.
- [7] Jong-Dug Shin, Back-Song Lee, Boo-Gyoun Kim, "Optical True Time-Delay Feeder for X-Band Phased Array Antennas Composed of 2 × 2 Optical MEMS Switches and Fiber Delay Lines," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, pp. 1364-1366, May 2004.

**A 4-bit optical true time-delay for phased array antennas
using 2×2 optical MEMS switches and fiber-optic delay lines**

Byung-Min Jung, Yung-Min Yoon, Jong-Dug Shin[†], and Boo-Gyoun Kim

School of Electronic Engineering, Soongsil University, 1-1 Sangdo 5-Dong, Dongjak-Gu, Seoul 156-743, Korea

[†]*E-mail: jdshin@ssu.ac.kr*

(Received May 13, 2004, Revised manuscript July 12, 2004)

In this paper, we designed a 4-bit optical true time-delay(TTD) for phased array antennas(PAAs), which is composed of a wavelength-fixed optical source, 2×2 optical MEMS switches, and fiber-optic delay lines. A 4-bit TTD with a unit time delay difference of 6 ps for 10-GHz PAAs has been implemented. Measurement results on time delay show an error of -0.4 ps at maximum, corresponding to a radiation angle error of less than 1.63° . Thus, the TTD implemented in this research performs in excellent agreement with theory. Each TTD line, composed of MEMS switches and fiber-optic delay lines, connected to the corresponding antenna element has insertion loss in between 1.36 dB and 2.40 dB depending upon the setup of the switches. On the other hand, the insertion loss difference between TTD lines was 0.32 dB at maximum for a fixed radiation angle. The TTD structure proposed in this paper might be more reliable and economical than those previously proposed using tunable wavelength sources if proper power equalization either with gain control of RF amplifiers or variable attenuators is achieved.

OCIS Codes : 280.5110, 220.4830, 350.4010.