

광소자를 이용한 위상배열 안테나

서 철 훈

숭실대학교 정보통신전자공학부

chulhun@wave.soongsil.ac.kr

1. 서론

이동 및 위성통신 기술의 급격한 발전으로 인해 전파환경은 날로 열악해져가며 따라서 원하는 신호외에 고의적인 Jamming 신호와 같은 간섭, 다중경로 페이딩, ACI, CCI와 같은 다양한 잡음과 누화성분이 생겨나고 있다. 따라서 이러한 잡음과 간섭으로부터 원하는 신호만을 추출하여 결국 시스템 전체 성능의 개선 및 음성이나 데이터의 용이한 복원을 위해서는 수신기 자체의 기술 개발로서는 다소 한계가 드러나고 있다. 또한 기존의 음성 외에 데이터, 정지영상, 동영상과 같은 멀티미디어 서비스의 수요로 인해 기존의 안테나로 수신기 시스템의 성능 극대화 및 수요자들의 욕구 충족에는 많은 문제점이 제기되고 있다. 우선 다양한 서비스의 분화를 통합할 수 있는 수신시스템 및 이를 가능하게 하기 위해서는 무엇보다도 주어진 전파환경에 적응하여 각 가입자에게 최대한의 성능을 제공해줄 수 있는 위상배열 안테나 시스템의 개발이 필수적이다.

현재의 개발되고 있는 위상배열 안테나의 문제점으로는 위상천이기의 처리속도가 실제의 이동통신 환경의 통신환경 변화에 적용할 수 있는 속도에 미치지 못한다는 점과 하드웨어의 구성시 가격적인 측면에서 고가라는 문제점과 시스템의 크기가 크다는 문제점을 갖고 있다. 또한 Digital 빔 정형기를 이용해서 빔정형을 하기 때문에 입력신호의 SNR이 좋지 않을 경우 위상배열 안테나의 성능을 증대시키는데 한계를 갖고 있다.

현재 다양한 구조의 위상배열 안테나가 제기되고 있으며 전세계적으로 광범위한 연구가 진행중에 있으나 전파도래 환경 예측을 통한 공간상의 신호분포해석, 잡음의 최소화 및 원하는 가입자에게 최대한의 신호대 잡음비를 제공해줄 수 있는 빔정형 방법, 잡음과 페이딩으로 왜곡된 수신신호를 원하는 신호와 간섭신호로 나누어 취급하는 신호처리기술등과 같은 근본적 문제점 해결에 중점을 두고 연구가 진행중에 있다.

그러나 이와 같은 방법을 사용한 위상배열 안테나는 결국 매우 복잡하며 광범위한 연산 과정이 필수적이며 또한 소프트웨어에 의한 빔 형성을 하기 때문에 실제 도심과 같은 복잡한

도심환경에서 실제 성능개선이 이루어질 수 있는가에 대한 의문이 제기되고 있다. 또한 현재 Azimuth 평면과 Elevation 평면상의 빔형성 방법에 대해서도 기계적, 전기적 기능을 겸한 모델도 제시되고 있으나 무엇보다도 다양한 간섭신호 중에서 원하는 신호만을 정확히 선택하고 원하는 가입자에게 정확한 빔을 제공할 수 있는 위상배열 안테나 시스템에서는 정확한 빔형성이 필수적이다. 이러한 기능을 충족시키기 위해서는 무엇보다도 알고리즘 자체의 연산수를 최소화하여 시스템 전체의 부하를 줄이고 각 안테나 배열성분간의 정확한 지연을 이용하여 정확한 빔을 형성할 수 있는 방법이 필수적이며 또한 위상배열 안테나 전체의 규모를 축소화하기 위한 방안이 대두되고 있다.

위에서 언급한 여러 필수조건들을 충족시키기 위해서는 기존의 위상배열 안테나 구조의 장점들을 수용하고 기존의 구조에서 간과하고 있는 각 배열 안테나 성분들에 대한 분석과 최적화에 대한 모델링이 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 넓은 대역폭, 적은 분산, 높은 정보전송용량, 그리고 변조 주파수의 전 범위에 걸쳐서 일정한 감쇠를 갖는 장점과 electro-optic 간섭의 영향을 거의 받지 않는다는 장점을 갖는 광소자를 이용한 시간지연 선로와 원하는 빔을 형성하기 위해 필요한 배열 요소의 입력 전류의 크기를 조절할 수 있는 RF 증폭기, FET등과 같은 능동소자를 사용하는 것을 제안하고 있다. 또한 광소자를 이용한 방법은 위상 천이의 속도가 빠를 뿐만 아니라 폭이 좁은 빔을 형성할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 광소자를 이용한 실시간 지연선로(True Time Delay)의 구현 방법에는 광 스위치를 이용하는 방법, 광섬유 브래그 격자를 이용하는 방법^[1-3], Chirped Fiber Grating, 광섬유 분산 효과를 이용하는 방법^[4-6] 등이 있다. 미국 Rome Lab.의 Soref^[7-8]를 필두로 광섬유의 분산 특성을 이용한 시간 지연선로의 구현에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 Goodwin^[9]은 chirp 격자, Toughlian^[10]은 광섬유 격자 프리즘, Bennion^[11]은 광섬유 격자, Morey^[12]는 프로그램된 광섬유 지연선로를 각각 이용한 시간 지연선로의 구현에 대한 연구가 보고되었다. 또한 능동소자

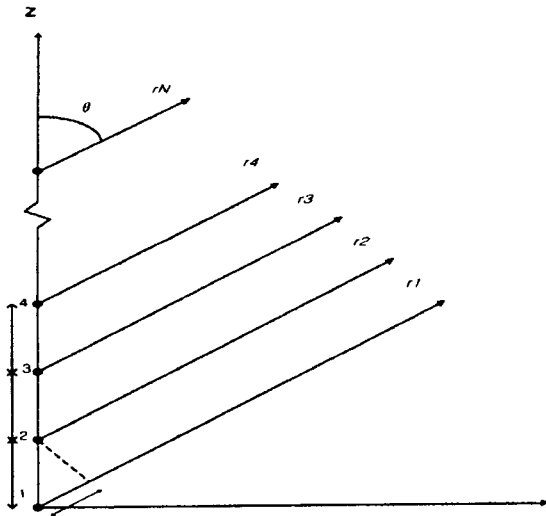


그림 1. 선형 배열 안테나의 구조.

를 집적화시킴으로써 시스템을 소형, 경량화로 구현할 수 있다.

2. 위상배열안테나에 대한 이론

2-1 배열구조에 대한 이론

(1) 선형 배열 안테나 구조

먼저 그림 1과 같이 N개의 안테나 성분들이 선형적으로 놓여있는 구조를 선형배열 구조라 한다^[13-16]. 각 성분들은 인가 전류원의 크기가 동일하며 위상이 순차적으로 β 만큼 증가한다고 가정한다.

이때의 Array Factor는 다음과 같이 주어지게 된다.

$$AF = 1 + e^{+j(kd\cos\theta + \beta)} + e^{+j2(kd\cos\theta + \beta)} + \dots + e^{+j(N-1)(kd\cos\theta + \beta)} \quad (1-1)$$

$$AF = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\phi\right)}{\left(\frac{N}{2}\phi\right)} \right] \quad (1-2)$$

(2) 평면형 배열 안테나 구조

평면형 배열 구조는 이전의 선형 배열구조보다 부엽레벨이 작으며 대칭적인 패턴을 가지며 레이다, 통신, 원격제어 등에 활발히 이용되는 구조이다.

각 배열 성분들에 인가되는 전류원은 선형 배열구조와 동일하며 Array Factor는 다음과 같다^[16].

$$AF = \left[\frac{\sin\left(\frac{M}{2}\phi_x\right)}{M \sin\left(\frac{\phi_x}{2}\right)} \right] \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\phi_y\right)}{N \sin\left(\frac{\phi_y}{2}\right)} \right] \quad (2)$$

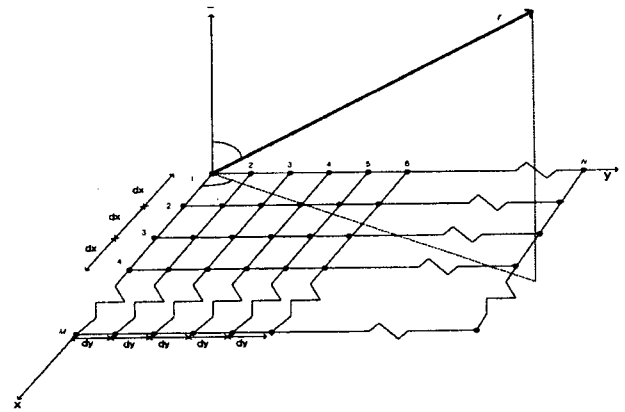


그림 2. 평면형 배열 안테나의 구조.

$$\text{단 } \phi_x = kd_x \sin\theta \cos\varphi + \beta_x$$

$$\phi_y = kd_y \sin\theta \sin\varphi + \beta_y \quad (\beta : \text{배열 성분간의 위상차})$$

2-2 정형빔 형성을 위한 인가 전류원 분석방법

안테나 패턴 분석방법은 크게 다음과 같이 3 그룹으로 분류된다.

- ① 널(Null) 방향 조정 \Rightarrow 안테나 패턴중 널이 원하는 방향으로 향하도록 함
- ② 정형빔 생성 \Rightarrow 전체 가시영역에서 주빔을 원하는 방향으로 향하도록 조정함
- ③ 최적화 기법 \Rightarrow 빔폭이 좁고 부엽레벨이 작도록 안테나를 설계함.

(1) Schelkunoff polynomial 방법

이 방법은 앞의 세 그룹중 첫 번째 그룹에 해당되는 방법으로서 먼저 널의 수와 원하는 위치를 결정한 후 안테나의 패턴을 생성한다. 배열 안테나의 패턴이 앞에서 설명한 바와같이 다음과 같을 때 다항식의 이론을 적용하여 정리하면 다음과 같이 표현된다^[17].

$$|AF| = |a_n||z - z_1||z - z_2||z - z_3| \dots |z - z_{N-1}| \quad (3)$$

(2) Fourier Transform 방법

이 방법은 원하는 패턴을 생성하기 위해 연속적인 또는 이산적인 안테나 시스템의 인가 전류원을 결정하는 기법으로서 앞의 세 그룹중 두 번째에 해당하는 정형빔 형성 기법이다. 각 안테나 시스템의 전류분포가 단지 안테나 길이내에서만 분포하고 외부에서는 0이라는 원리에 착안하여 안테나의 Space Factor는 다음과 같이 주어지게 된다^[18].

$$\begin{aligned}
 I(z') &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} SF(\xi) e^{-j(z'\xi)} d\xi \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} SF(\theta) e^{-j(z'\xi)} d\xi
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

위의 식을 통해 알수 있듯이 인가 전류분포와 far-field Space Factor는 서로 Fourier Transform 관계로 변형될수 있다.

(3) Woodward-Lawson 방법

이 방법은 배열 안테나를 몇 개의 점으로 나누고 표본화정리에 따라 각 점의 표본값을 합함으로서 전체 배열안테나의 패턴을 분석하는 방법이다. 즉 안테나는 이러한 개개 점에서의 표본값으로서 이루어져 있으며 이를 구성 함수(composing function)라 한다. 따라서 전체 인가 전류원 또한 유한개의 공간 고조파의 합으로서 표현 된다. 이 방법은 전체 패턴을 한눈에 알수 있는 통찰력을 제공하지만 개개의 부엽레벨을 제어하기가 어렵다는 단점이 있다¹⁹⁻²⁰⁾.

(4) Taylor(Chebyshev error) 방법

배열 안테나의 길이가 크게 되면 Dolph-Chebyshev 다항식의 전류원이 인가된 경우 부엽레벨과 지향성, 빔폭과의 최적화 유지가 어렵게 되어 결국 안테나 전체 성능이 떨어지게 된다. 따라서 실제로 많은 배열 성분을 갖는 대형(과장에 비해 규모가 큰 것을 일컫음) 배열 안테나 구조의 설계시 이러한 단점을 극복하기 위해 제시된 방법이 바로 Taylor 기법이다. 즉 몇 개의 부엽은 일정하게 유지되고 나머지는 점차 크기가 일정하게 줄어들도록 설계함으로써 안테나 구조가 커지더라도 지향성, 빔폭, 부엽레벨간의 최적화가 유지되어 안테나 전체 시스템 성능이 저하되지 않게 된다²¹⁾.

(5) Taylor(One parameter) 방법

이 방법은 레이더 또는 저잡음 시스템의 경우와 같이 스캔 각이 증가함에 따라 빔폭과 부엽레벨을 감소시킴으로써 기존의 Dolph-Chebyshev 패턴의 장점이 다소 줄어들지만 부엽레벨을 제어할수 방법에 대한 필요조건을 충족시키는 방법이다. 즉 빔폭이 12% ~ 15% 정도 커지게 되어 전체 지향성이 다소 떨어지게 되는 단점이 있지만 전체 부엽레벨을 상당히 줄일수 있다는 큰 장점이 있다.

(6) 지향성과 부엽레벨, 빔폭의 최적화 기법

앞서 상술한 바와 같이 인가 전류원의 크기 및 위상을 바꿈으로써 전체 배열 안테나의 패턴분석을 제어할 수가 있다. 그

러나 실제 배열 안테나 설계의 경우 배열 상호간 간격을 잘 조정해야 하며 또한 지향성 및 부엽레벨, 빔폭의 상호관계를 최적화할수 있도록 설계를 해야한다. 앞의 예에서 알수 있듯이 부엽레벨이 작아지면 빔폭이 다소 넓어지게되어 결국 지향성이 저하되게 되며 반대로 지향성을 높이기위해 빔폭을 줄이면 부엽레벨이 커지게되는 상호간 trade-off가 발생되게 된다.

2-3 배열구조에 따른 빔패턴

(1) 선형 배열 안테나 구조의 패턴

예로 10개의 배열성분들로 구성된 선형 배열구조의 빔 패턴은 다음과 같다. 배열 안테나의 개수는 5개이며 배열간 간격은 $\frac{\lambda}{2}$ 인 경우의 전체 패턴은 다음과 같다.

위의 예에서 알수있듯이 배열 성분의 수가 많을수록 빔은 더욱 좁은 빔폭을 가지게 됨으로써 지향성이 좋아짐을 알수 있지만 그에 따라 부엽수가 증가하며 따라서 이와같은 많은 부엽을 통해 간섭이나 잡음이 유발되어 결국 신호 수신을 방해하게 된다. 따라서 많은 배열 성분을 갖는 배열 안테나 설계시 배열 성분의 수와 그에 따른 부엽의 수 및 부엽레벨간의 상호관계를 최적화해야만 한다.

2) 평면형 구조의 패턴

위의 그림에서 보듯이 평면형 구조는 선형구조보다 작은 면적에 많은 배열성분들을 가질수 있기 때문에 직접적인 비교는 불가능하지만 상대적으로 선형구조에 비해 주빔의 스캔 영역이 넓고 빔의 제어가 보다 용이하다는 장점이 있다. 그러나 이의 경우 중심 성분을 기준으로 해석을 해야하기 때문에 배열 성분들간의 거리가 매우 중요하며 이에 따라 상호 결합이 달라지게 됨으로써 전체 배열 안테나의 성능을 좌우하게 된다. 따라서 평면형 배열 안테나의 설계시 선형구조에서 보다 각 성분 자체의 패턴 뿐만아니라 배열 간격 등은 grating lobe의 방지 및 스캔 불가능 영역의 축소에 매우 큰 영향을 미치는 요소가 된다.

2-4 전류분포에 따른 빔패턴

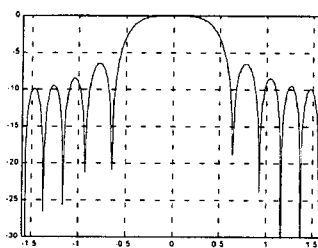


그림 3. N=10인 경우의 방사패턴

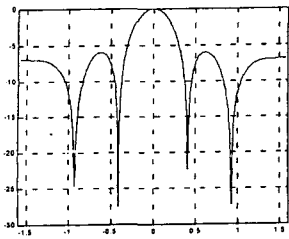


그림 4. x축과 y축상으로 각각 5개의 성분을 갖는 평면형 구조의 방사패턴.

(1) 균일한 전류분포(1 : 1 : 1 : 1 : 1)

가장 일반적인 형태의 전류분포로서 이 경우 BWFN (Beam-width Between First Nulls)이 가장 좁으며 따라서 가장 좋은 지향성을 갖게 된다.

(2) 삼각형 형태의 전류분포(1 : 2 : 3 : 2 : 1)

중심 부분의 안테나 성분에 가장 큰 크기의 전류가 인가되고 끝으로 갈수록 크기가 선형적으로 줄어드는 분포로서 다음 그림에서 알수있듯이 부엽이 이항 전류분포보다는 크지만 상당히 작은 값을 가지게 된다. 즉 균일분포와 동일한 빔폭을 가지며 따라서 지향성이 안테나 수의 증가에 따라 커지게 되며 부엽레벨은 상당히 작게되는 장점을 가진다.

이러한 분포는 다음에 설명되는 Dolph-Chebyshev 형태의 준 단계로 실제 Cosine 전류분포와 더불어 주로 사용된다.

(3) 이항식 형태의 전류분포(1:4:6: 4: 1)

이항다항식 형태의 계수를 갖는 전류분포로서 이 경우 부엽이 하나도 생기지 않는 가장 이상적인 전류분포이다. 즉, 가장 낮은 부엽을 갖거나 또는 거의 갖지않는다는 장점이 있지만 균일한 전류분포나 Dolph-Chebyshev 전류분포에 비해 빔폭이 넓으며 또한 배열 안테나의 수가 많을수록 전체 배열성분들간의 전류의 크기 변화가 심하다는 단점이 있다. 즉 배열 안테나의 수가 증가할수록 중심 부근의 안테나와 끝부분에 있는 안테나의 전류분포의 차가 심하게 되어 실제 설계가 불가능하게 된다. 이로인해 결국 효율성이 저하되며 실제로 잘 이용되지않는

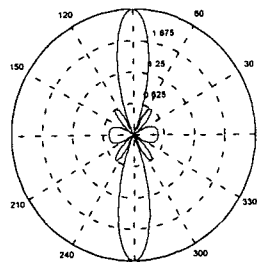


그림 5. 균일한 전류분포에 따른 빔패턴.

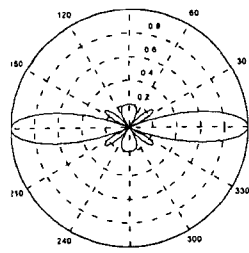
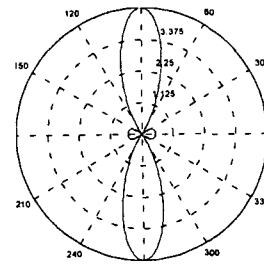


그림 6. 삼각형 형태의 전류분포에 따른 빔패턴.



전류분포이다. 각 인가전류원이 이항다항식의 분포를 갖기 때문에 끝부분의 전류분포는 중심부분에 비해 거의 무시가능할 정도로 작게되어 결국 배열 안테나 구조 해석에 거의 영향을 미치지 못하게되어 실제 배열 안테나를 사용하여 얻게되는 지향성 및 이득의 증가가 불가능하게 된다^[22-23].

(4) Dolph-Chebyshev 전류분포(1: 1.61 : 1.94 : 1.61 : 1)

각 인가전류원이 크기가 Chebyshev polynomial의 형태로 이루어진 전류분포로서 균일한 전류분포와 이항다항식 전류분포의 장점들을 서로 절충한 형태의 전류분포를 갖는다^[24].

Dolph-Chebyshev 다항식 형태의 전류원이 인가되는 경우 모든 부엽 레벨은 거의 일정한 레벨로 동일하게 유지되며 이때 빔폭, 지향성, 부엽레벨간의 최적화가 이루어지며 따라서 적응 배열 안테나 등에 활발히 이용되는 인가 전류원이다. 특히 이러한 분포를 이용할 경우, 부엽레벨을 동일상태로 유지하면서 배열간 간격을 늘릴수 있다는 장점이 있다. 따라서 배열 안테나의 수가 증가할수록 또는 배열 안테나의 크기가 커질수록 부

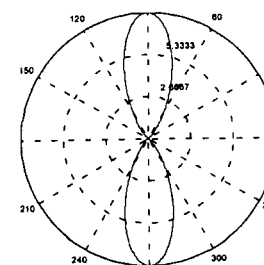


그림 7. 이항식 형태의 전류분포에 따른 빔패턴.

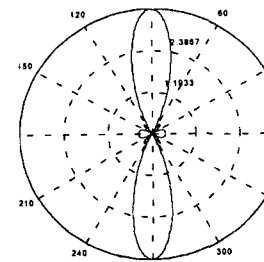


그림 8. Dolph-Chebyshev 형태의 전류분포에 따른 빔패턴.

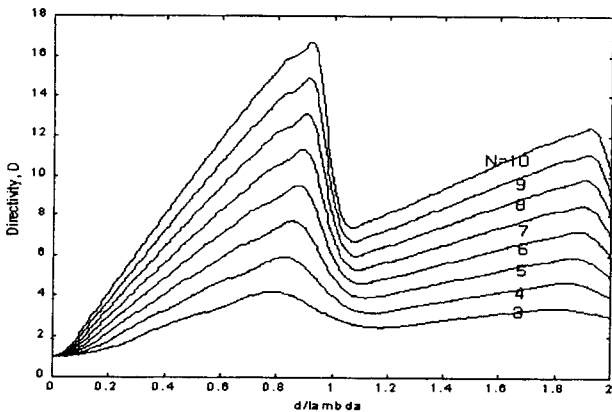


그림 9. 등방성 성분들로 구성된 배열 안테나의 수와 간격에 대한 지향성 변화.

엽레벨은 동일하게 유지되며 지향성은 증가하게 된다. 그러나 주어진 배열 안테나에서 부엽레벨이 감소하더라도 지향성은 반드시 증가하지 않는다. 또한 동일한 개수를 갖는 배열안테나의 경우 주빔대 부빔의 비를 나타냄으로써 전류분포를 원하는 부엽레벨에 따라 다르게 줄 수 있다. 다음의 경우는 부엽레벨이 -20 dB로 일정하게 유지되는 경우의 예이다.

배열 성분간의 거리 및 안테나 수에 대한 지향성의 관계는 그림 9와 같다^[16].

그림 9에서 알수있듯이 지향성은 배열 안테나의 수가 증가할수록 커지며 간격이 작을수록 선형적으로 증가하게 된다. 그러나 간격이 $\frac{\lambda}{2}$ 를 초과함에 따라 급격히 감소하다가 배열 성분의 수에 상관없이 일정하게 된다. 따라서 지향성을 높이기 위해 배열 안테나를 사용하는 경우, 간격은 $\frac{\lambda}{2}$ 를 초과하지 않도록 하고 배열 성분의 수를 크게하면 된다.

3. 실시간지연 소자 종류 및 특성

3-1 Fiber Bragg Grating

그림 10은 Fiber Bragg Grating(FBG)을 이용하여 시간 지연을 얻는 과정을 보여주는데 RF 신호는 EOM에 입력되어 Tunable Laser에 의하여 변조되어 3dB 결합기에 의하여 Bragg Grating 지연선로에 입사된다.

이때 Laser 파장에 따라 반사되어진 시간이 다르므로 파장에 따른 시간 지연이 생기게 되며 다시 3dB 결합기를 통하여 Photo Detector(PD)로 입력되어 RF 신호로 O/E 변환되어 안테나의 각 요소에 입력이 되는데 시간지연(Δt)의 크기는 다음과 같다.

$$\Delta t = 2nd/c \quad (5)$$

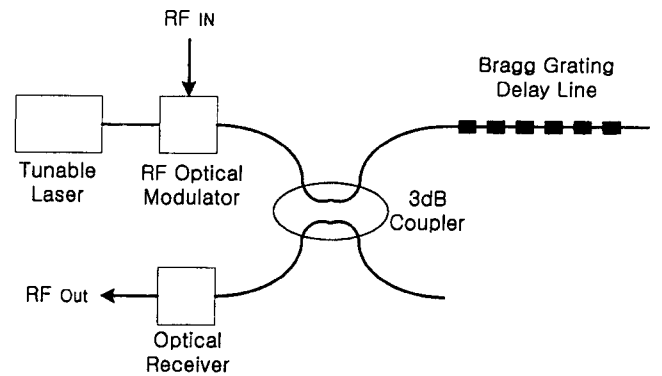


그림 10. Fiber Bragg Grating을 이용한 지연선로.

여기서 n 은 광섬유의 굴절률, d 는 격자사이의 간격, c 는 빛의 속도를 각각 말한다.

FBG를 이용한 방법은 광원이 한 개만 사용되고 짧은 길이의 광섬유가 필요하다는 장점이 있지만 위상 배열 안테나의 빔의 위치가 연속적이지 못하고 또한 빔조정에 한계가 있다는 단점이 있다. 그림 11은 FBG를 이용한 위상배열 안테나의 구조를 보여 주는데 각 배열 안테나의 시간 지연이 다르므로 위상천이가 생기게 되어서 원하는 위치의 빔이 형성이 되며 빔의 방향의 각도는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta = \sin^{-1}(2nd/d_k) \quad (6)$$

여기서 d_k 는 안테나 배열간의 간격을 나타낸다.

2-1 Chirped Fiber Grating

Chirped Fiber Grating(CFG)을 이용하는 방법은 CFG내의 반사위치가 선택된 chirping 규칙에 따라 파장에 좌우되는 현상

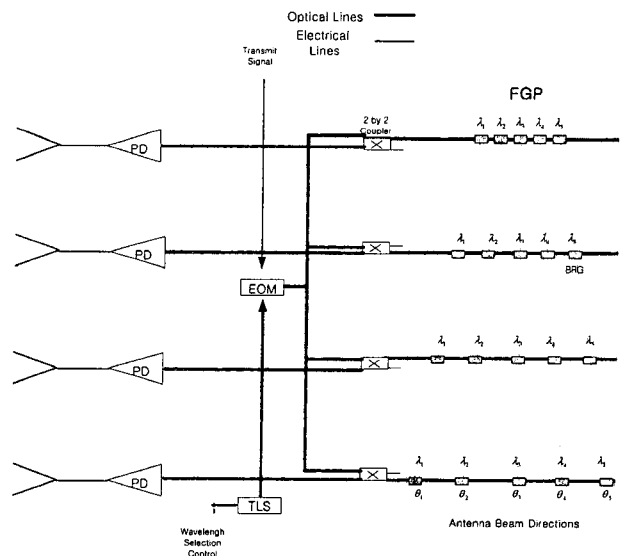


그림 11. FBG를 이용한 위상배열 안테나.

3. Dispersion Fiber

Dispersion Fiber를 이용하는 방법은 광섬유가 파장에 따른 분산특성을 갖고 있다는 현상을 이용한 것으로 그림 14에서 RF 신호는 EOM에서 Tunable Laser Source의 광에 의하여 변조되어 고분산 광섬유를 통과하여 PD를 통과하여 위상천이된 RF 신호가 얻어진다.

광섬유를 통과하여 얻어진 시간지연은 다음과 같다.

$$\Delta t = D(\lambda)L\Delta\lambda \quad (10)$$

여기서 $D(\lambda)$ 는 광섬유 분산도, L 은 광섬유의 길이, $\Delta\lambda$ 은 Tunable Laser Source의 파장편이를 나타낸다.

따라서 연속적으로 시간지연 변화를 조정할 수 있고, 고분산 광섬유를 이용시 시간지연 변화폭을 크게 할 수 있으나, 긴 길이의 광섬유가 소요되고 Tunable Laser Source의 파장변화폭도 늘어나야만 지연시간변화를 높일 수 있게 된다.

그림 15는 여러개의 고분산 광섬유를 이용하여 위상배열 안테나를 구성한 것을 보여주며 각 안테나는 Tunable Laser Source, EOM, 분산광섬유, PD로 구성되어 있으며 Tunable Laser Source의 파장에 따라 각 안테나의 분산광섬유를 통해 나온 신호의 시간지연이 달라지며 PD를 통과한후 위상천이로 바뀌게 되므로 원하는 빔을 형성하게 된다. 따라서 Tunable Laser Source의 파장을 가변시켜 시간지연의 변화를 주고 주빔의 방향을 조절한다. 주빔의 각도는 다음과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}(cD(\lambda)L\Delta\lambda/d_k) \quad (11)$$

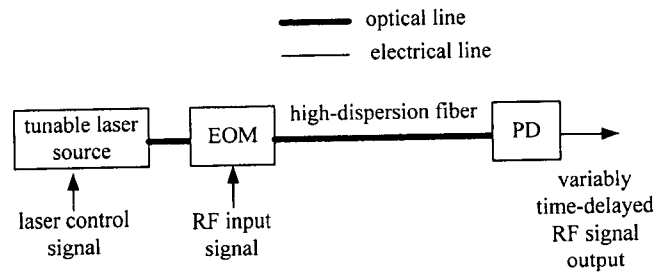


그림 14. 고분산 광섬유를 이용한 지연선로.

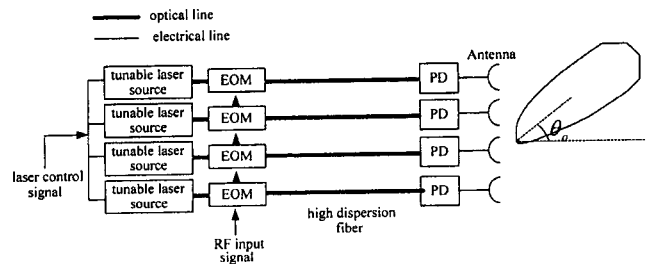


그림 15. 여러개의 고분산 광섬유를 이용한 위상배열 안테나.

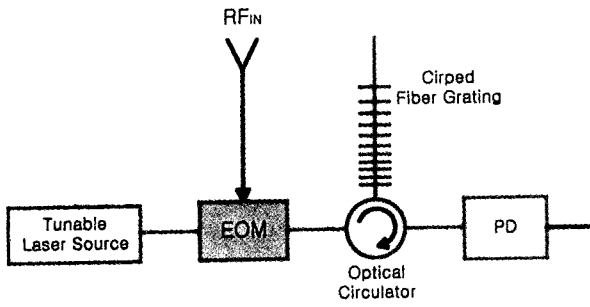


그림 12. CFG를 이용하는 지연선로.

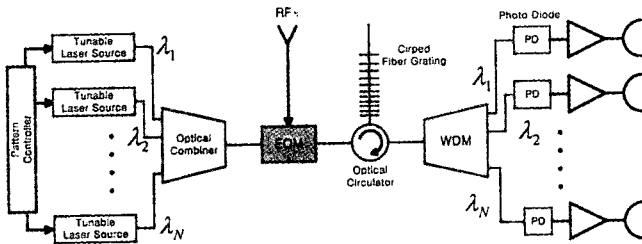


그림 13. CFG, 써큐레이터, Tunable Laser를 이용한 위상배열 안테나.

을 이용하는 것으로 그림 12에서 RF 신호는 EOM에서 Tunable Laser Source에서 입력되는 광에 의하여 변조되고 변조된 신호는 써큐레이터에 입력된다. 써큐레이터에서 나온 신호는 파장에 따라 구성된 Chirped 격자로부터 반사되어 격자사이의 거리인 d_T 에 해당하는 시간지연을 갖고 다시 써큐레이터를 통해서 PD로 입력되어 다시 위상천이된 RF 신호가 출력된다.

얻어진 시간지연은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta t = 2ndT/c \quad (8-1)$$

$$d_T = d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1} + d_n \quad (8-2)$$

여기서 d_1, d_2, d_{n-1}, d_n 각 격자간의 간격을 각각 나타낸다.

CFG를 이용하는 시간지연 선로는 격자사이의 간격이 선형적으로 연속되어 있기 때문에 시간지연 변화를 연속적으로 조정할 수 있지만 여러개의 광원이 필요하게 되고 광원의 파장의 안정성과 CFG의 선형성이 요구된다. 그림 13는 CFG, 써큐레이터, Tunable Laser를 이용한 위상배열 안테나의 구성도이다. 안테나 각각의 배열에는 서로 다른 파장이 이용됨으로써 각각의 CFG에서 반사된 거리가 다르므로 서로다른 시간지연이 얻어진다. 이렇게 얻어진 각각의 시간지연으로 각각 안테나의 요소에는 서로다른 위상천이가 입력됨으로써 빔이 형성되며 주빔의 방향은 다음과 같이 얻어진다.

$$\theta = \sin^{-1}(2ndT/d_k) \quad (9)$$

4. 결론

위상배열 안테나 시스템에서는 정확한 빔형성이 필수적인데 이러한 기능을 충족시키기 위해서는 무엇보다도 알고리즘 자체의 연산수를 최소화하여 시스템 전체의 부하를 줄이고 각 안테나 배열성분간의 정확한 지연을 이용하여 정확한 빔을 형성할 수 있는 방법이 필수적인데 또한 위상배열 안테나 전체의 규모를 축소화하기 위한 방안이 대두되고 있는 시점에서 광소자를 이용한 위상배열 안테나는 빔형성 방법에 대해서도 기계적, 전기적 기능을 겸한 모델도 제시되고 있으며 무엇보다도 다양한 간섭신호 중에서 원하는 신호만을 정확히 선택하고 원하는 가입자에게 정확한 빔을 제공할 수 있는 기능을 갖을 수 있으며 기존의 RF 소자를 이용한 안테나에 비해서 빔위치의 정확도 및 빠른 스위칭등의 장점으로 이동 및 위성통신 기술의 급격한 발전으로 인한 전파환경하에서 중요하게 부상되고 있으며 좀더 간단한 구조 및 저렴한 소자의 개발이 요구되어지고 있다.

참고문헌

1. D. T. K. Tong and M. C. Wu, "Programmable Dispersion Matrix Using Bragg Fiber Grating for Optically Controlled Phased Array Antennas", *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1532-1533, 1996.
2. A. Moloney et. al., "Fiber Grating Time Delay Element for Phased Array Antennas", *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 1485-1486, 1995.
3. R. A. Soref, "Fiber Grating Prism for True Time Delay Beamsteering", *Fiber Integr. Opt.*, vol. 15, pp. 325-333, 1996.
4. D. T. K. Tong and M. C. Wu, "A Novel Multiwavelength Optically Controlled Phased Array Antenna with a Programmable Dispersion Matrix", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 812-814, June 1996.
5. R. D. Esman et al., "Fiber-Optic Prism True Time-Delay Antenna Feed", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 1347-1349, Nov. 1993.
6. M. Y. Frankel, P. J. Matthews, and R. D. Esman, "Two-Dimensional Fiber-Optic Control of a True Time-Steered Array Transmitter", in *IEEE MTT-Symp. Dig.*, San Francisco, CA, pp. 1577-1580. 1996.
7. S. T. Johns, D. A. Norton, C. W. Keefer and R. A. Soref, "Variable Time Delay of Microwave Signals Using High Dispersion Fiber", *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 6, pp. 555-556, 1993.
8. R. A. Soref, "Optical Dispersion Technique for Time-Delay Beamsteering", *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 35, pp. 7395-7397, 1992.
9. M. J. Goodwin et al., "Very Broad Reflection Bandwidth Chirped Fiber Gratings and Narrow Bandpass Filters Produced by the use of an Amplitude Mask", *Electron. Lett.* vol. 30, no. 11, pp. 891-892, 1994.
10. E. N. Toughlian et al., "Photonic Beamformer for Phased Array

- Antennas Using Fiber Grating Prism", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 2, pp. 241-243, 1997.
11. G. A. Ball, W. H. Glenn and W. W. Morey, "Programmable Fiber-Optic Delay Line", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6 no. 6 pp. 741-743, 1994.
 12. A. Moloney, C. Edge and I. Bennion, "Fiber Grating Time Delay Elements for Phased Array Antennas", *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 17, pp. 1485-1486, 1995.
 13. Hudson, *Adaptive Array Principle*, Peter Pergrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989
 14. Balanis, Constantine A., *Antenna Theory : Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., United States, 1997
 15. Balanis, Constantine A., *Advanced engineering electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., United States, 1989.
 16. Stutzman, Warren L., Thiele, Gary A., *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc., United States, 1981.
 17. T. T. Taylor, "Design for Line-Source Antennas for narrow beamwidth and low side-lobes", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-3, No. 1, pp. 16-28, January 1955.
 18. R.C. Hansen(ed.), *Microwave Scanning Antenna*, Vol. I, Academic Press, New York, 1964, p. 56
 19. P. M. Woodward, "A Method for calculating the field over a plane aperture required to produce a given polar diagram", *J. IEE*, Vol. 93, pt. III A, pp. 1554-1558, 1946.
 20. P. M. Woodward and J. D. Lawson, "The Theoretical Precision with Which an Arbitrary Radiation-Pattern May be obtained from a source of a finite size", *J. IEE*, Vol. 95, Pt. III, No. 37, pp. 363-370, September 1948.
 21. T. T. Taylor, "Design for Line-Source Antennas for narrow beam width and low side-lobes", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-3, No. 1, pp. 16-28, January 1955.
 22. J. S. Stone, United States Patents No. 1643323 and No. 1715433.
 23. L. J. Rica, "Radiation properties of the binomial array", *Microwave Journal*, Vol 15, No. 12, December 1972, pp. 20-21.
 24. C. L. Dolph, "A Current Distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beamwidth and side-lobe level", *Proc. IRE and Waves and Electrons*, June 1946.

저자약력

성 명 : 서철현
 근 무 처 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
 최종 학력 : 1995. MIT Post Doc.
 1993. 서울대학교 전자공학과 Ph.D.
 1985. 서울대학교 전자공학과 MS
 1985. 서울대학교 전자공학과 BS
 주요경력 : 1999. 8 - 현재 MIT RLE 방문교수
 1997. 9 - 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
 1993. 9 - 1997. 8 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수
 1993. 3 - 1995. 2 MIT 연구원
 E-mail : chulhun@wave.soongsil.ac.kr