

Digital Beamforming(DBF) 안테나 기술 동향

The Trends of Digital Beamforming Antenna Technology

배창호 (C.H. Bae)

기술기준연구팀 연구원

목 차

-
- I. 빔 형성
 - II. 다중 빔 형성
 - III. 배열 안테나
 - IV. DBF 안테나
 - V. 결론

가입자의 수가 놀라운 비율로 증가하고 고품질·광대역 데이터 통신에 대한 요구가 증가하면서 이동 통신에 사용되는 주파수원이 부족하게 될 것으로 예상된다. 주파수의 재사용률을 향상시키기 위하여 공간적인 방향성을 가지는 안테나를 이용하는 것과 송신하는 전력을 줄이는 것은 주파수원의 효율적인 사용을 할 수 있게 할 것이다. 가까운 미래에는 도달하는 신호를 빨리 추적하는 높은 이득을 가지는 안테나가 많이 요구될 것이고 빠르게 성장할 것으로 기대된다. 그런 다양한 기능을 가지는 안테나를 실현하기 위하여 디지털 빔 형성 안테나가 미래의 지능 안테나로 제안되었다[1],[2]. 따라서 본 논문에서는 디지털 빔 형성(digital beam forming, 이하 DBF라 한다.) 안테나의 빔 형성 방법, 원리, 특징에 대하여 살펴볼 것이다.

I. 빔 형성

빔 형성(beamforming)이라는 말은 안테나에서 방사된 에너지가 공간에서 특정한 방향을 따라 집중되는 장치 또는 장비들에 의해 수행되는 기능과 관련이 있다[3]. 그 목적은 원하는 방향으로부터 신호를 수신하거나 원하는 방향으로 신호를 전달하는 것이다. 예를 들어 파라볼릭 안테나 시스템에서 파라볼릭면은 파라볼릭면 주위에 형성된 개구면 내에 있는 에너지를 취하고 안테나 급전부에 초점을 맞추는 빔 형성 회로이다. 파라볼릭면과 급전부는 공간상의 적분기로서 동작한다. 안테나가 어떤 특정한 방향에 정렬되어 있다고 가정되는 원역장 신호원으로부터의 에너지는 일시적으로 할당된 급전점에 도달하고 그것에 의해 서로 합해진다. 일반적으로 다른 방향에서의 신호원은 부적절한 급전점에 도달하고 부적절하게 더해진다. 이러한 이유 때문에 빔 형성을 종종 공간적인 필터링이라고 말한다.

공간적인 필터링은 안테나 배열을 이용하여 수행될 수 있으며 여기서 배열은 샘플된 개구면으로써 간주된다. 배열이 신호원에 의해 인가될 때 신호원 침투면의 샘플들은 안테나 소자들의 위치에서 기록된다. 소자들로부터의 출력은 다양한 형태의 신호처리를 가능하게 하고 그 점에서 위상이나 진폭 측정으로 공간의 몇몇 다른 방향에서 도달하는 신호들에서 동시에 일어나는 각에 대한 정보를 얻을 수 있는 출력을 알 수 있다. 배열 소자들의 출력이 어떤 수동 위상 회로망을 경유하여 결합될 때 위상은 보통 주어진 방향에 대해서 함께 더해지는 모든 소자들의 출력으로 주어진다. 만일 정보가 공간상의 다른 영역으로부터 도착하는 신호들로 간주한다면 또 다른 위상 회로망이 사용될 것이다. 여기 전류의 위상과 진폭을 제어하는 회로망을 보통 빔 형성 회로망이라고 한다. 만일 빔 형성이 RF에서 수행된다면 아날로그 빔 형성 회로망은 보통 신호의 위상과 전력을 변화시키는 장치들로 구성된다.

고품질과 광대역 데이터 통신에 대한 수요가 커지면서 가입자 수가 엄청난 비율로 증가를 계속함에

따라 앞으로는 이동 통신에서 사용할 주파수원이 부족할 것으로 예상된다. 전송 전력을 줄이는 것과 주파수 재사용률을 개선하기 위하여 공간적인 방향성을 가지는 안테나를 사용하는 것은 주파수원을 효율적으로 사용할 수 있도록 해준다. 높은 이득을 가지며 도달하는 신호를 빠르게 추적할 수 있는 안테나에 대한 요구가 이동 통신, 위성 통신 등에서 점점 증가하고 있다. 이러한 여러 기능을 가진 안테나를 실현하기 위하여 디지털 빔 형성 안테나가 제안되었으며 DBF 안테나는 아날로그 단계에서 수신된 신호를 합성 또는 분배하는 대신 디지털 단계에서 처리하기 위하여 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다.

II. 다중 빔 형성

1. 다중 빔 형성

안테나는 적용되는 곳에 따라서 두 가지 다른 기능으로 이용된다. 통신에서는 안테나는 원하지 않는 방향으로의 방사를 방지하면서 희망하는 신호 방향에서 최대 이득을 가지는 단일 채널을 제공한다. 레이더에서는 안테나의 기능은 외부의 이미지를 제공하는 것이고 그 성능은 이미지의 질을 위해 결정적인 요소가 된다. 정보의 양이 많아지고 점점 복잡해짐에 따라 안테나의 성능 향상에 대한 요구는 더욱 증가하고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 새로운 기술인 DBF는 안테나의 성능을 향상시키기 위한 뛰어난 기법이라 할 수 있다[4]-[7].

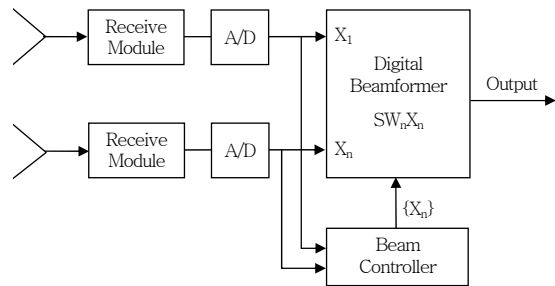
DBF라는 것은 배열 안테나로부터 디지털 신호를 받아 들이고 그 신호에 대해 공간적인 처리를 행하는 구조를 말한다. 다시 말하면 배열 안테나는 안테나의 개구면에 있는 많은 위치에서 전자파를 샘플한 후 각각의 수신 소자들로부터의 신호들을 복소 디지털 숫자로 변환하여 고속 디지털 처리기로 전송한다. 이 처리 과정의 최종 결과는 공간상에서 서로 다른 방향을 가지는 빔들의 집합이 된다.

디지털 안테나 패턴은 두 가지 이유로 인해 나타

내기가 어렵다. 첫째, DBF는 수신 모드에 대해 잘 맞는 기법인 반면 패턴 개념은 방사된 전력의 분포 함수인 송신 모드에서 가장 잘 맞는 기법이다. 둘째 수신 패턴은 단위 진폭 평면파의 입사각의 함수인 안테나 응답이며, 이 응답은 실질적인 수신된 신호가 아니라 디지털 표현이다. 그래서 디지털 패턴은 Lorentz의 가역 정리와 Shannon의 샘플링 정리 등 두 개의 기본적인 원리에 기초를 두고 있다.

일반적인 디지털 빔 형성은 수신 안테나의 배열, 수신기 모듈, 아날로그-디지털 변환기, 디지털 빔 형성기, 제어기 그리고 교정장치로 구성되어 있다. 수신기 모듈은 낮은 주파수로의 변환, 필터링, 그리고 아날로그-디지털 변환에 상응하는 전력 레벨로의 증폭 등의 기능을 수행하는 완전한 헤테로다인 수신기이다. 아날로그-디지털 변환기는 디지털 빔 형성의 동적인 범위를 결정하는 중요한 역할을 한다. 동적인 범위는 시스템이 기대한 대로 성능을 나타내기 위한 신호 세기의 범위를 나타낸다. 매우 빠른 병렬 처리기인 디지털 빔 형성기는 매우 빠른 동작을 행할 수 있는 능력을 가져야 하고 그것은 배열 안테나로부터 수신된 샘플의 집합과 안테나의 빔을 다르게 형성하게 하는 가중치의 집합과의 내부 곱을 알아냄으로써 여러 개의 빔을 구성한다. 가중치는 분리된 제어기에 의해 만들어진다. 제어기는 입력 채널에서 수신된 간섭의 양에 따라 원하는 방향에 기초하여 계산된다. 그리고 교정장치는 수신 채널의 조화와 낮은 부엽(sidelobe)을 얻기 위해 필요하다.

DBF의 기본적인 구조가 (그림 1)에 나와 있으며 (그림 1)의 디지털 빔 형성 기법은 10개보다 훨씬 많은 빔들을 동시에 형성할 수 있다. 신호 대 잡음비(SNR)에서 손실을 보지 않고 가깝게 위치한 빔들이 얻어질 수 있는데 그것은 SNR 값이 디지털 빔 형성기에 앞서 저잡음 증폭기에서 이미 결정되었기 때문이다. 디지털 빔 형성의 추가적인 장점은 빔을 분리하여 제어할 수 있다는 것과 결정적인 방식 또는 적응적인 방식의 범위와 방위에서 안테나 패턴을 형성할 수 있다는 것이다. 안테나 패턴은 알지 못하는 특성을 가진 방향성 방해 전파 발신기의 효과를 줄이기 위해 적응적으로 제어될 수 있다. 방해 전파 발신



(그림 1) DBF의 기본 구조

기 억제에 포함된 가중치 제어 법칙은 상당히 복잡하고 디지털 형태로만 효과적으로 구현될 수 있다. 게다가, null의 깊이는 안테나 소자와 수신기 채널에서 진폭과 위상 오차에 의해 영향을 받지 않는데 그것은 디지털 빔 형성에서 구현된 교정기법에 의해 보상될 수 있기 때문이다.

DBF에 의한 다중 빔 형성에는 두 가지의 방법들을 들 수 있는데 하나는 단축 배열법(systolic array method)과 고속 푸리에 변환법(Fourier transform method)이다. 고속 푸리에 변환법은 단축 배열법에 비하여 하드웨어를 작은 회로로 구현할 수 있다.

2. 기본적인 수신기 구조

DBF 배열의 성능은 안테나 소자에서 사용되는 수신기의 능력에 따라 결정된다. 수신기는 주파수 변환, 필터링, 아날로그-디지털 변환기의 입력 요구 조건 또는 출력 요구조건에 상응하는 전력 레벨로 신호를 증폭하는 기능을 실행한다. 기본적인 수신기는 디지털 빔 형성 안테나의 가격을 결정하는 데 중요한 요소가 되기 때문에 가격이 싸고 성능 요구 조건에 부합하는 수신기 구조를 설계할 때 중요하다 [8],[9]. 아래에는 다양한 종류의 수신기 구조가 나와 있다.

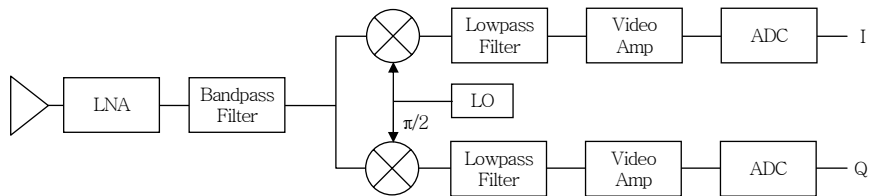
가. 단일 하향 변환 수신기

단일 하향 변환 수신기는 가장 간단한 구조를 가지고 있으며 대역 통과 필터는 대역을 벗어난 방해파를 제거하는 데 필요하다. 대역 통과 필터는 LNA

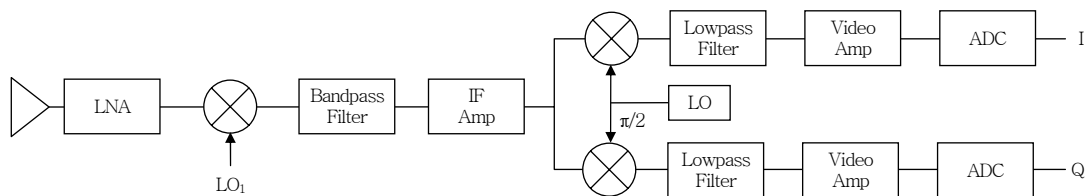
의 앞이나 뒤에 위치할 수 있다. LNA의 앞에 필터를 위치시킴으로써 가장 높은 동적 영역을 얻을 수 있는 반면에 LNA의 뒤에 필터를 놓으면 최대 수신기 감도를 얻을 수 있다. 동기 검파기의 출력은 국부 발진기(local oscillator)의 주파수의 변화로 믹서에서 일어나는 위상과 진폭의 변화 때문에 각 동작 주파수에서 보상된다. 동기 검파기의 동 위상(I)과 구적 위상(Q) 사이의 위상과 진폭 관계는 동기 검파기 다음단의 저역 통과 필터 사이의 정합에 의하여 결정된다. 저역 통과 필터는 신호 대역폭을 결정한다. (그림 2)는 단일 하향 변환 수신기의 블록도이다.

나. 이중 하향 변환 수신기

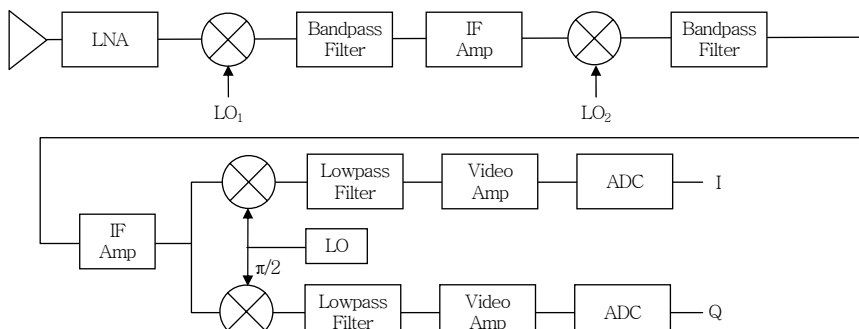
이중 하향 변환 수신기의 블록도인 (그림 3)에서



(그림 2) 단일 하향 변환 수신기의 블록도



(그림 3) 이중 하향 변환 수신기의 블록도



(그림 4) 삼중 하향 변환 수신기의 블록도

고정된 LO는 동기 검파기에 기준 신호를 공급하기 위하여 사용된다. 동기 검파기의 평형과 보상은 동작 주파수와 무관하다. 첫번째 LO 주파수는 첫번째 믹서로부터의 출력 IF 주파수가 첫번째 믹서에서 생기는 영상 성분을 제거하기 위하여 대역 통과 필터에 대하여 충분히 높은 차수가 되도록 선택한다. 두번째 LO 주파수는 수신기가 원하는 동작 주파수 채널을 선택할 수 있도록 동작이 빠른 것이어야 한다.

다. 삼중 하향 변환 수신기

(그림 4)의 삼중 하향 변환 수신기는 이중 하향 변환 수신기의 앞에 믹서를 더한 것이다. 두번째 IF 주파수는 표면 음향 필터(SAW)와 같은 대역 통과 필터가 신호 대역폭을 정의하는 데 사용될 수 있다

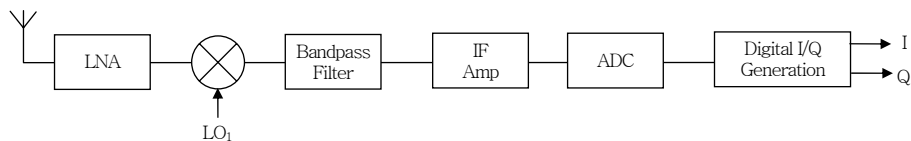
록 충분히 낮게 만들어져야 한다. SAW 필터는 유한 임펄스 응답(FIR) 필터이기 때문에 위상과 진폭의 왜곡이 매우 낮다. 동기 검파기의 최소 동작 주파수는 동기 검파기 믹서의 LO와 RF 입력 그리고 dc 출력 사이의 누설을 억제하며 저역 통과 필터의 신호 대역폭과 성능에 의하여 정의된다.

라. 직접 샘플링 수신기

앞에서 서술한 세 개의 수신기들은 공통적으로 많은 결함을 가지고 있고 그 결함은 기초 대역 I와 Q 신호가 기준 LO와 함께 마지막 IF 신호를 혼합하는 데에서 생긴다. 이것은 수신기에서 전체 대역폭은 최종 IF 대역과 필터 또는 I/Q 기초 대역 신호에 있는 저역 통과 필터에 의하여 정의된다는 것을 의미한다. I/Q 신호를 만드는 방법 때문에 아래와 같은 성능 제약이 있다.

- 수신된 대역폭에 대한 I와 Q 신호의 특성들 사이에 정합이 제대로 이루어지지 않을 수 있다.
- I와 Q 채널은 수신기의 대역폭에 대해 위상 구적을 유지하지 못할 수 있다.
- I와 Q 채널은 분리된 dc offset을 가질 수 있다.
- I와 Q 채널에서 사용된 구성 요소들의 비선형성은 의사 잡음을 만들 수 있다.

I와 Q 채널의 진폭 정합과 위상 직교성은 중요한 오차 요인이 될 수 있고 만약 신호가 IF에서 직접 샘플링되고 디지털화되며 복소 비디오 신호가 디지털로 만들어진다면 I와 Q 출력이 직접적인 IF 변환 수신기에서 디지털 필터를 이용하여 형성되기 때문에 I와 Q의 정합 문제는 효과적으로 제거될 수 있다. 직접 샘플링을 하는 데에는 Nyquist 샘플링과 하향 샘플링(직접 하향 변환)의 두 가지 방법이 있다(그림 5) 참조).



(그림 5) 직접 샘플링 수신기

Ⅲ. 배열 안테나

1. 배열 안테나의 종류

몇 개의 안테나가 방향성의 방사 패턴을 만들기 위하여 공간에 정렬되고 서로 연결된다. 다중 방사하는 소자들의 구조는 배열 안테나 또는 간단히 배열이라 한다. 많은 소형 안테나들은 하나의 커다란 안테나의 성능과 비슷한 성능을 얻기 위하여 배열로 사용될 수 있다. 하나의 커다란 안테나와 관련된 기계적인 문제들은 몇 개의 소형 안테나들을 급전하는 전기적인 문제들로 바뀐다. 배열의 각 소자 안테나에서 여기 전류의 위상을 바꿈으로써 방사 패턴은 공간을 통해 방사될 것이다. 이러한 배열을 위상 배열이라 부르며 레이더에 많이 사용된다. 배열은 많은 기하학적인 구조에서 발견되고 가장 기본적인 것은 배열 소자 중심들이 직선을 따라 놓이는 선형 배열의 구조가 있다. 그리고 배열 소자의 중심들이 평면에 위치하게 되면 평면 배열이라 한다. 평면 배열은 소자의 중심이 각각 원형 또는 직사각형 영역 안에 포함된 원형 배열과 직사각형 배열이 있다.

2. 적응 배열 안테나

가. 기본적인 특성

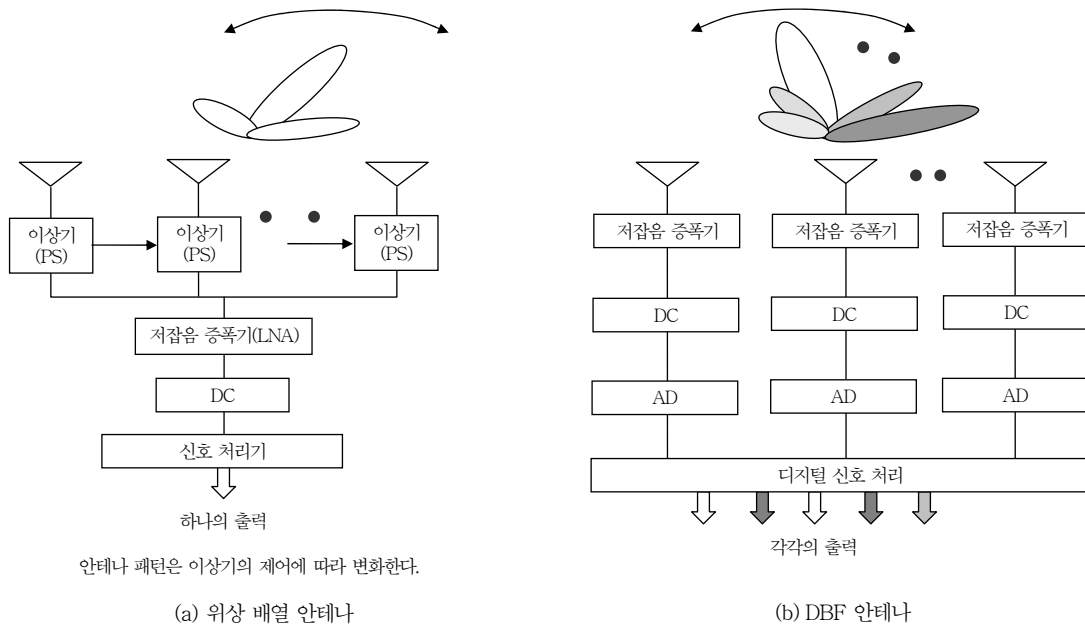
적응 안테나는 처음에는 레이더 안테나와 같이 부엽이 제거된 특성을 가진 안테나의 형태로 사용되었다. 부엽 제거기 안테나는 기존의 레이더 안테나의 출력을 매우 이득이 낮은 보조 안테나와 결합한 구조이다[10]-[13]. 보조 안테나의 이득은 레이더 안테나의 최대 부엽의 이득보다 조금 크다. 레이더 안테나로부터 수신된 가중된 신호를 보조 안테나로부터 수신된 가중된 신호에 더함으로써 레이더 안테

나의 주 빔과 다른 방향에 위치한 방해 신호원을 억제하였다. 이러한 적응 안테나의 사용은 적응 배열과 다중 빔 안테나로 발전하였다[14]-[17]. 적응 안테나는 원하는 신호원으로부터 수신되는 신호와 원하지 않거나 간섭된 신호원으로부터 압축된 입사 신호에 의해 주로 사용된다. 또한 적응 안테나는 기본적으로 $N(N>1)$ 포트, N 복소 가중치, 신호 합성 회로망, 그리고 가중치를 결정하는 알고리즘을 갖고 있는 안테나로 구성되며 구성도가 (그림 6)에 나와 있다. N 포트 안테나는 출력 단말의 배열 안테나 성분이나 다중 빔 안테나(MBA)의 포트이거나 포트들의 혼합이 될 수 있다. 일반적으로 크기의 감쇠 및 안테나를 통과한 통과 신호의 위상 변화인 복소 가중치는 주파수에 독립적인 전달함수를 갖는다고 여겨진다. 합성 회로망은 흔히 집합적인 트리 배치의 4-포트 T 구조이다. 각각의 T는 하나의 출력 포트 안의 두 개의 입력 포트에서 동 위상의 성분을 더하고 180도의 위상 차를 갖는 입력 신호의 성분을 빼주어 다른 출력 포트에서 정합된 부하를 갖는다. 가중치를 결정하는 알고리즘은 연역적인 정보와 측정된 정보 중 하나를 사용하거나 또는 두 개의 정보를

모두 사용하여 n 번째 포트에 수신된 신호에 공급된 복소 가중치를 결정한다. 그리고 적응 배열 안테나의 본질은 안테나 시스템의 설계에서 사용된 배열 안테나, 다중 빔 안테나, 또는 하이브리드 안테나가 서로 연계성이 없다는 것이며 가중치와 합성회로는 안테나 동작 주파수 f_0 , 중간 주파수, 그리고 디지털 신호 처리기의 한 부분에서 동작한다는 것이다. 비록 설계, 안테나, 가중치, 그리고 합성 회로의 발전이 중요하다고 할지라도 가중치를 결정하는 알고리즘은 언제나 적응 안테나에서 제일 중요한 것이었다. 적응 배열 안테나 시스템이 다양한 안테나의 타입과 구성에 사용되더라도 위상 배열, 다중 빔 안테나, 그리고 이들의 혼합의 세 가지 기본적인 종류로 분류하는 것이 중요하다.

나. 가중치

위상 배열 안테나의 자극이 안테나 복사 패턴을 결정하는 것과 마찬가지로 적응 배열 안테나의 포트에 수신되는 신호의 가중치가 입사 신호에 응답하는 안테나의 지향성을 결정한다. 가중치를 감소시키면



(그림 6) 위상 배열 안테나와 DBF 안테나의 구성도

수신 신호의 위상이 변한다. 수신 신호의 위상이 주파수의 함수처럼 주파수 독립적 또는 적응적으로 변화되도록 적응 배열 안테나가 설계된다. 몇몇의 적응 안테나는 수신 주파수와 RF 주파수에 가중치를 줌으로써 동작하고 다른 안테나들은 각 안테나 포트에 믹서, 증폭기, 그리고 낮은 중간 주파수에서 가중치 동작을 한다. 후자는 일반적으로 감쇠기의 lossy 가중치와 하이브리드 전력 분배기를 사용한다. 여기서 lossy 가중치를 사용하는 것은 혼합기-중간 주파수 증폭기가 국부 신호 대 잡음비를 안정시키고 시스템 성능을 감소시키지 않기 때문이다. 모든 안테나 시스템은 입사하는 신호에 주파수 독립적인 응답을 갖기 때문에 언제나 주파수 독립적인 가중치가 사용되고 원하지 않는 신호의 압축은 주파수에 의하여 변할 것이다.

IV. DBF 안테나

◎ DBF 안테나의 원리와 특징

가입자의 수가 놀라운 비율로 계속하여 증가하고 고품질, 광대역 데이터 통신에 대한 요구가 증대되면서 앞으로는 이동 통신에서 사용되는 주파수원이 부족하게 될 것으로 예상된다. 주파수의 재사용률을 향상시키기 위하여 공간적인 방향성을 가지는 안테나들을 이용하는 것과 송신하는 출력을 줄이는 것은 주파수원의 효율적인 사용을 할 수 있게 한다. 도달하는 신호를 빨리 추적하고 높은 이득을 가지는 안테나는 가까운 미래에 빠르게 성장할 것이며 수요가 급격히 증가할 것으로 기대된다. 그런 다양한 기능을 가지는 안테나를 실현하기 위하여 DBF 안테나가 제안되었다[18]. DBF 안테나는 개별적인 안테나의 능동 배열을 이용하고 아날로그 단계에서 각 안테나 단자로부터 수신된 신호를 합치고 또는 분배하는 대신 디지털 단계에서 처리하기 위하여 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다.

적응성이 있는 디지털 신호처리를 이용함으로써

여러 가지 복잡한 기능의 사용을 용이하게 한다. 예를 들면, 다중 빔 형성, 빔이 도달하는 방향의 추정, 그리고 혼신 삭제 등이다. DBF 안테나를 가지고 얻어진 하나의 알고리즘인 자기 빔 조정 배열은 도달하는 신호의 빠른 수렴과 안테나의 수신된 전력의 최대 이용을 실현하는 최대 비 합성(MRC)의 변화를 가지고 탐지된다. 여기서 귀환이 사용되지 않기 때문에 시스템이 비교적 간단한 계산으로 얻어질 수 있다. 전통적인 적응 배열 안테나들과는 다르게 자기 빔 조정 배열 안테나들은 다중 경로 신호들의 적응적인 억제를 제공하지 않지만 빔 조정 안정도는 다중 경로 신호들 아래에서도 유지된다. 이 안테나는 그러한 다중 경로 신호들 특히 비교적 짧은 심볼 지연을 가진 신호들을 적극적으로 이용한다. 다중 경로 신호들은 전송된 신호처럼 같은 정보를 기본적으로 가지고 있기 때문에 그것들의 이용은 통신의 질을 향상시키는 데 특히 효과적이다.

DBF 안테나는 원래 레이더 응용을 위해 개발되었지만 최근에는 통신에 활용하고자 시도하고 있다. 그러나 DBF 안테나를 위해 엄청난 신호 처리량이 처리기에 요구되기 때문에 이동 통신에 실질적으로 적용되지 않았다. 디지털 신호 처리기에 요구되는 하드웨어의 크기를 알거나 실시간 처리 능력을 아는 것은 디지털 빔 형성 안테나를 얻기 위한 중요한 사항 중의 하나이다.

전파의 이용은 다양한 통신 분야에 사용되며 이용되는 안테나도 다양하다. 그 중에서 차세대 이동 통신용 지능형 안테나로서 각광을 받고 있는 것이 DBF 안테나이다. DBF 안테나는 빔의 주사와 지향성의 합성 등 고주파부가 하는 대부분의 기능을 디지털 신호처리에 의해 실현하는 배열 안테나이다. 이제까지 DBF 안테나의 기술은 넓은 범위에서 도착하는 전파를 순간적으로 식별하는 것이 필요한 레이더의 수신용 안테나로서 발달하여 왔다. 디지털 신호 처리부의 과도한 부담이 장치의 규모와 가격에 반영되기 때문에 통신용으로서 DBF 안테나가 본래 가지고 있는 고도의 기능을 구현하는 것은 현재 실용 단계에 이르지 못하고 있다. 그러나 최근 디

지털 신호 처리 기술의 뛰어난 진보에 의하여 지금까지 불가능하다고 여겨진 소형, 고기능의 실장 기술이 현실화됨에 따라 DBF 안테나의 이동 통신에의 응용에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

DBF 안테나는 많은 소자의 안테나로 구성된 배열 안테나의 각각의 신호를 도중에 합성하거나 분배하는 것으로 디지털 신호 처리부로 입력되어 다중 빔 형성과 낮은 부엽 특성 등 안테나에서 구하게 되는 대부분의 기능을 실현할 수 있다. 이러한 신호 처리의 과정에서 주변 환경에 따라 적응적으로 동작함으로써 지능적으로 조립할 수 있는 것으로 지능 안테나가 있다. 여기에는 안테나 기술, 디지털 신호 처리 기술, 적응 제어 기술, 실장 기술 등 폭넓은 요소 기술이 집적되어 있다. 또 적응 신호 처리라고 하는 관점에서 DBF 안테나의 본질은 수신 안테나에서 발휘되지만 수신 DBF 안테나의 정보에 기초한 송신 신호도 만들어 낼 수 있는 지능을 가진 송신 안테나로서 같은 형태를 구성할 수 있다.

DBF 배열에서 수신된 신호는 기본적인 레벨에서 탐지되고 디지털화된다. 신호는 컴퓨터를 이용하여 원하는 빔을 형성시킨다. 이러한 DBF 안테나의 종류는 아래와 같다.

• 위상 배열 안테나와 DBF 안테나

DBF 안테나의 특징은 위상 배열 안테나와 비교하면 쉽게 이해할 수 있다. 위상 배열 안테나는 각 소자 안테나의 급전부 위상을 조정함으로써 바라는 패턴(지향성)을 만들어 낼 수 있고 그 패턴을 주위 전파 환경의 변화에 따라 적응적으로 제어할 수도 있으며 이 경우에 안테나 패턴은 언제나 하나이다.

이 방법의 단점은 부엽 레벨의 까다로운 제어, 높은 손실, 개별적인 빔 형성 제어의 결여, 복잡한 구조, 그리고 무거운 장치 등을 들 수 있다. 한편, DBF 안테나에서는 개개의 안테나 신호는 그대로(주파수는 변환되지만 정보는 보존된 상태임) 디지털 신호로 변환되어 수집되고 각각 가중치를 주어 합성할 때 다른 조합을 병렬 처리에 의해 몇 개라도 만들어 낼 수가 있기 때문에 안테나 한 개에서 여러 가지로

변환되는 복수의 패턴을 동시에 가질 수 있다. 같은 모양의 기능을 아날로그 회로를 써서 실현하는 것도 가능하지만 급전 배선이 행렬상에 폭주하기 때문에 안테나 소자의 수가 많아져서 복잡도가 증가하고 빔 운용(빔의 재구성 등)에 유연성이 없는 것도 단점이다.

DBF 안테나의 경우 수신 후의 잡음 영향을 피하기 위하여 안테나 소자에 저잡음 증폭기가 필수이고 안테나 소자와 능동 소자가 일체화된 능동 안테나로 구성되지만 가격이 비싼 위상 천이기가 불필요하게 되는 장점이 있다. DBF 안테나는 신호 처리에 의해 원하는 패턴을 병렬적으로 만들어 낼 수 있기 때문에 다중 빔 형성과 복잡한 전파 환경과 같은 적응적인 동작이 요구되는 분야에 적합하다. (그림 6)은 위상 배열 안테나와 DBF 안테나의 특성을 비교한 것이다.

• 통신용 DBF 안테나의 연구 개발 동향

DBF 안테나는 레이더에 사용되는 군용기술로서 발달하여 왔기 때문에 성능의 개선에 주안점을 두어 [DBF 안테나 = 거대한 고기능 시스템]이란 이미지가 정착되고 있다. 이 때문에 소형, 저가격을 중시하는 통신 분야에서의 적용은 회의적이었다. 이 이미지를 바꾼 것이 ASIC이라 불리는 전용 LSI에 의한 소형 실장 기술의 진보이다. 가장 빠른 DBF 시스템에 대한 보고서는 서독의 ELRA 위상 배열 레이더다. 이것의 기본적인 개념은 레이더 시스템에서 가능한 광범위한 디지털 기술들을 통합한 것이며 분리된 circular 전송과 수신 배열을 가지고 S band에서 작동한다. 디지털 결과들은 많은 수의 빔들을 형성하고 전체적인 빔 클러스터는 아날로그 위상 천이기에 의해서 탐지됨으로써 형성된다.

V. 결론

고품질과 광대역 데이터 통신에 대한 요구가 커지고 통신 서비스의 가입자 수가 엄청난 비율로 증

가함에 따라 미래에는 이동 통신에서 사용할 주파수 원이 부족하게 될 것으로 예상된다. 주파수 재사용률을 개선하기 위하여 전송 전력을 줄이고 주파수원을 효율적으로 사용하게 해주는 공간적인 방향성을 가지는 안테나를 사용하게 될 것이다. 또한 이동 위성 통신분야에서는 고 이득을 가지며 도달하는 신호를 빠르게 추적할 수 있는 안테나에 대한 요구가 증가하고 있다. 이렇게 다양한 기능을 가진 안테나를 실현하기 위하여 DBF 안테나가 제안되었고 DBF에서 배열의 성능은 안테나 소자에서 사용된 수신기의 성능에 의하여 결정되었다. 또한 DBF 안테나는 앞으로 통신 분야뿐 아니라 고속 푸리에 변환을 이용하는 여러 분야에 적용될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 DBF 안테나의 빔 형성과 다중 빔 형성 방법, 수신기의 구조, DBF 안테나, 그리고 통신용 DBF 안테나의 연구 개발 동향에 관한 개괄적인 내용을 다루었고 이를 바탕으로 하여 DBF 방법과 DBF 안테나의 기초를 이해하게 되기를 바란다.

약 어 정 리

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
DBF	Digital Beam Forming
DC	Down Converter
FIR	Finite Impulse Response
LNA	Low Noise Amplifier
LSI	Large Scale Integrated Circuit
MBA	Multi-Beam Antenna
MRC	Maximal Ratio Combining
PS	Phase Shifter
RF	Radio Frequency
SAW	Surface Acoustic Wave
SNR	Signal to Noise Ratio

용 어 해 설

▶ 디지털 빔 형성(DBF) ◀

안테나 기술과 디지털 기술이 결합된 기술로서 각각의 안테나 소자의 RF 신호를 획득한 후 이 수신된 RF 신호의 진폭

과 위상을 나타내는 이진 기저대역 I와 Q 신호의 2개의 열로 변환하는 기술

▶ 배열 안테나 ◀

많은 안테나 소자를 배열하고 각 소자의 여기전류의 위상을 조절하여 안테나를 특정 방향 및 동일 위상으로 만들어 주 빔을 형성하는 안테나

참 고 문 헌

- [1] T. Tanaka, R. Miura, and Y. Karasawa, "Implementation of a Digital Signal Processor in a BDF Self-Beam-Steering Array Antenna," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E80-B, No.1, Jan. 1997.
- [2] H. Steyskal, "Digital Beamforming Antenna: An Introduction," *Microwave Journal*, Jan. 1987, pp.107-114.
- [3] H. Steyskal and John F. Rose, "Digital Beamforming for Radar Systems," *Microwave Journal*, Jan. 1989, pp.121-138.
- [4] T. Tanaka, R. Miura and I. Chiba, Y. Karasawa, "An ASIC Implementation of a Digital Beamforming Multibeam Antenna," *IEICE Trans.*, Vol.J78-B- II, No.9, Sep. 1995, pp.602-610.
- [5] L. Eber, "Digital Beamforming Antenna," *RADC-TR-88-83*, June 1998.
- [6] M. Barrett, "Digital Beamforming Network Technologies for Satellite Networks for Space Applications," *ESA WPP-030*, Nov. 1991, pp.3.6.1-3.6.11.
- [7] S. Takeya, M. Shinonaga, Y. Sasaki, H. Miyauchi, M. Matsumura, and T. Morooka, "Application of DBF Technique to Radar Systems," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E77-B, No.2, Feb. 1994.
- [8] R. Miura, I. Chiba and T. Tanaka, Y. Karasawa, "Digital Self-beam Steering Array for Mobile Satellite Communications," *Proc. JINA '94*, Nov. 1994, pp.605-608.
- [9] P. Brennan, "A Carrier-Phased Satellite Receiving Array," *Int'l J. Satellite Commun.*, Vol.8, 1990, pp.1-9.
- [10] T. Ohgane, T. Shimura and N. Matsuzawa, H. Sasaoka, "An Implementation of a CMA Adaptive Array for High Speed GMSK Transmission in Mobile Communications," *IEEE Trans. Vehi. Technol.*, Vol. 42, Aug. 1993, pp.282-288.

- [11] Y. Ogawa, Y. Nagashima, and K. Itoh, "An Adaptive Antenna System for High-speed Digital Mobile Communications," *IEICE Trans. Commun.* Vol.E75-B, No.5, May 1992.
- [12] T. Tanaka, R. Miura and I. Chiba, Y. Karasawa, "An ASIC Implementation Scheme to Realize a Beam Space CMA Adaptive Array Antenna," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E78-B, No.11, Nov. 1995, pp.1467-1473.
- [13] C. Ward, P. Hargrave, and J. McWhirter, "A Novel Algorithm and Architecture for Adaptive Digital Beamforming," *IEEE Trans. AP-S*, Vol.AP-34, Mar. 1986.
- [14] R. Milne, "An Adaptive Array Antenna for Mobile Satellite Communications," *Proc. The 2nd Int'l Mobile Satellite Conf.*, Ottawa Canada, June 1990, pp.529-534.
- [15] R. Ghose, "Electronically Adaptive Antenna Systems," *IEEE Trans. Antennas & Propag.*, Vol.AP-12, No.2, Mar. 1963, pp.161-169.
- [16] R. Bickmore, "Adaptive Antenna Array," *IEEE Spectrum*, Vol.1, No.8, Aug. 1964, pp.78-88.
- [17] U. Nickle, "Application of Array Signal Processing to Phased Array Radar," *European Signal Processing Conf.*, Grenoble, France, Sep. 1998.
- [18] Y. Ohtaki, W. Chujo and K. Uehara, M. Fujise, "Implementation of a Digital Beamforming Antenna for Mobile Satellite Communications Utilizing Multi-Digital Signal Processor," *Proc. ISAP*, 1992, pp.145-148.