

# TMA를 이용한 빔형성 기술의 한계점 분석

## (Analysis on the Technical Limit of Beamforming Using Time Modulated Array)

노혜민, 김동규, 김형남  
 (Hea-min Noh, Dong-Gyu Kim, Hyoung-Nam Kim)

부산대학교 전자공학과

Abstract : In the conventional antenna array system, expensive digital phase shifters are essential and thus study of lowering the cost of the system has been required. TMA is introduced as an innovative idea to solve the above problem. However, such a TMA system has a restriction that the number of directed angles are limited depending on the number of antennas. To present the restriction, we analyze the conditions under which these limitations occur.

Keywords : time modulated array, beam scanning, beamforming

### I. 서론

다중 안테나를 활용한 빔형성 기술은 무선 통신 시스템의 핵심 기술로서 최근까지 연구가 활발히 진행되고 있는 분야이다.

그림 1(a)와 같은 기존의 다중 안테나 기반 빔형성 기술은 phase shifter를 사용하는 아날로그 빔형성을 수행하거나 RF에서 기저대역으로 변환한 후에 신호처리를 수행하는 디지털 빔형성 기법을 활용할 수 있다. 하지만 이러한 빔형성 방법은 각 센서마다 회로를 구성해야 하므로 비용이 많이 들고 구현이 어렵다는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 1(b)와 같이 RF 스위치를 사용하여 안테나를 제어하는 Time modulated array(TMA) 기술을 활용할 수 있다. TMA는 낮은 비용으로 쉽게 구현이 가능하며, 측대역이 낮은 장점으로 인해 스위칭 및 안테나 구조 등의 다양한 연구가 진행되고 있다[1].

하지만, 기존의 빔형성 기술과는 달리 TMA 기술은 안테나 개수에 따라 지향가능한 각도가 제한된다는 한계점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 TMA기반 빔형성 기술의 한계점을 분석한

다.

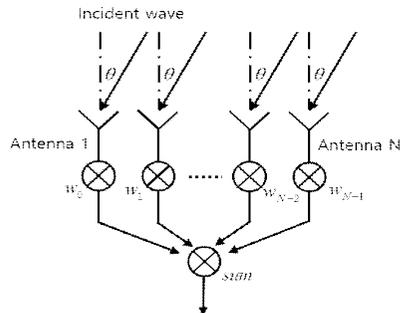


그림 1.(a) 수신 단계에서의 N개의 안테나 선형 배열 기본 구조.

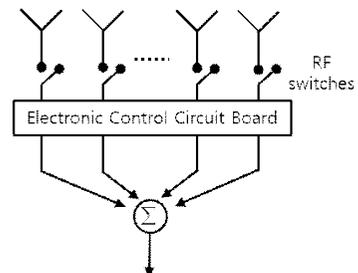


그림 1.(b) 수신 단계에서의 N개의 안테나 선형 배열 TMA 구조.

\* 교신저자(Corresponding Author)

김형남 : 부산대학교

### II. Time Modulated Array

TMA에서는 RF 스위치를 주기적으로 on, off하여 빔형성 기술을 수행한다. 따라서 array factor는 주기적인 시간 함수이고 Fourier series로 신호를 나타낼 수 있다. 이는 time modulation frequency의 하모닉 성분들의 합으로 나타낼 수 있고 이를 이용하여 빔형성을 할 수 있다.

그림 1.(b)와 같이  $N$ 개의 안테나가 일정한 간격으로 선형 배열을 이루고 있는 상황에서 각각의 안테나가 RF 스위치로 제어될 때의 array factor는 각각의 안테나 요소들의 합으로 나타낼 수 있고 그 식은 아래와 같다.[2]

$$AF(\theta, t) = e^{j\omega t} \sum_{n=0}^{N-1} w_n e^{jknd \sin \theta} \quad (1)$$

$\omega = 2\pi F$ ,  $F$  = RF signal frequency  
 $k = 2\pi / \lambda$   
 $\lambda$  = wavelength  
 $d$  = element spacing  
 $\theta$  = direction  
 $N$  = number of antenna elements

$n$ 번째 안테나의 array weights 은 주기를 가지는 주기신호로 다음과 같이 정의된다.

$$w_n(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \tau_{n,on} < t < \tau_{n,off} \leq T_0 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2)$$

주기 함수 을 Fourier series로 다시 나타내면 아래의 식 (3) 과 같다.

(3)

이 때, Fourier coefficient는 아래 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

(4)

식 (4)에 식(2)를 대입하여 계산해 보면 Fourier coefficient 는 아래 식 (5)와 같다.

(5)

여기서, 각각의 Fouier coefficient는 각각의 주파수 에 대응된다. 식 (5)를 식 (1)에 대입하면 array factor는 아래 식 (6)과 같다.

(6)

식 (6)에서 확인할 수 있듯이 array factor는 fundamental 주파수 와 harmonic 주파수들의 합이 된다.

### III. Harmonic Beam Scanning

#### 1. 수신 단에서 스위칭 패턴

그림 2는 수신 단에서 빔 스캐닝에 사용되는 RF 스위칭 패턴이다.

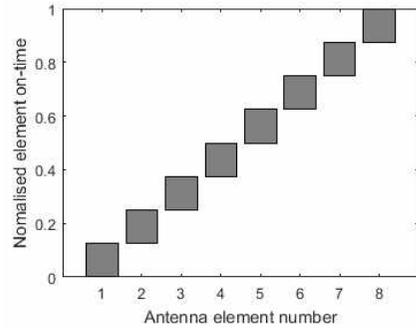


그림 2. 8개의 TAM에서 스위칭 패턴.

스위칭 패턴을 그림 2와 같이 했을 때 array factor는 아래와 같다.

(7)

식 (7)을 살펴보면, array factor는 지수함수의 주기성으로 인해 하모닉 성분  $m$ 이  $2N+1$ 개로 제한된다. 따라서, 빔형성을 수행할 수 있는 지향각은 , 즉 일 때 최대값을 갖는다. 또한, 지향각이  $m$ 에 따라 선형적이고 이산적으로 나타남을 볼 수 있다.

2. 빔 스캐닝 패턴 분석

그림 3(a)는 안테나 사이의 거리  $d$ 를  $0.5\lambda$ 로 설정하고 안테나 개수를 8개로 하였을 때 빔형성 패턴이다. 0도로 수신되는 신호는 array factor에서  $m = 0$ , 즉 fundamental frequency 성분으로 지향할 수 있고, 마찬가지로  $m = 1$ , 즉 first positive harmonic frequency에서 14.18도 지향할 수 있다.

그림 3.(b)는 16개를 사용하였을 때 빔패턴을 나타낸 것으로,  $m=0$  에서 0도를 지향하고,  $m=1$ 에서 7.18도,  $m=2$ 에서 14.38도를 각각 지향한다. 안테나 개수가 2배 늘어났을 때 빔 패턴에서 하모닉 사이 간격이 2배 좁아짐을 확인 할 수 있다. 따라서, 안테나 개수  $N$ 에 따라 지향할 수 있는 방향각의 개수 및 각도 값이 정해지고, 안테나 개수가 늘어남에 따라 빔 패턴의 lobe가 좁아지며 지향할 수 있는 각도의 간격이 좁아짐을 확인할 수 있다.

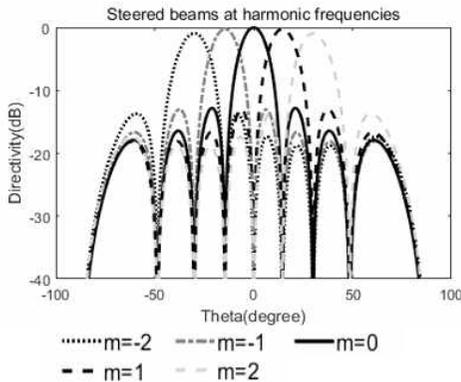


그림 3.(a) 8개의 안테나 선형 배열에서의 빔 패턴.

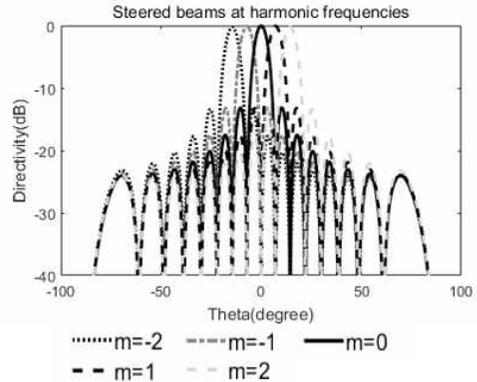


그림 3.(b) 16개의 안테나 선형 배열에서의 빔 패턴.

IV. 결 론

TMA에서는 array factor가 주기적인 시간 함수가 되며 이로 인해 harmonic 성분들이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이 harmonic mode를 이용하여 빔형성을 할 수 있지만 지향각이 이산적으로 나타나고 안테나의 개수에 의해 제한되는 한계를 보인다. 따라서 추후 이러한 문제점을 해결하고 지향각을 늘릴 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] Shi-wen, Y. A. N. G., and N. I. E. Zai-ping. "A review of the four dimension antenna arrays." Journal of Electronic Science and Technology 4.3 (2006): 193-201.  
 [2] Tong, Yizhen (2013) Time Modulated Linear Arrays. PhD thesis, University of Sheffield