



광대역 컨포멀 배열 안테나를 위한 빔 형성 연구 및 최적 소자 위치 선정

Beam Forming Study and Optimum Antenna Location Selection for Wideband Conformal Array Antenna

저자 (Authors)	정상훈, 이강인, 남상욱, 정용식, 윤영중, 유홍균, 정현교 Sang-Hoon Jung, Kang-In Lee, Sang-Wook Nam, Young-Seek Chung, Young-Joong Yoon, Hong-Kyun Ryu, Hyun-Kyo Jung
출처 (Source)	한국전자파학회논문지 27(2) , 2016.2, 138-146 (9 pages) The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 27(2) , 2016.2, 138-146 (9 pages)
발행처 (Publisher)	한국전자파학회 Koea Electromagnetic Engineering Society
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06616164
APA Style	정상훈, 이강인, 남상욱, 정용식, 윤영중, 유홍균, 정현교 (2016). 광대역 컨포멀 배열 안테나를 위한 빔 형성 연구 및 최적 소자 위치 선정. 한국전자파학회논문지, 27(2), 138-146.
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.66.199 2016/07/12 17:18 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다.

이 자료를 원저작자와의 협의 없이 무단게재 할 경우, 저작권법 및 관련법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

The copyright of all works provided by DBpia belongs to the original author(s). Nurimedia is not responsible for contents of each work. Nor does it guarantee the contents.

You might take civil and criminal liabilities according to copyright and other relevant laws if you publish the contents without consultation with the original author(s).

광대역 컨포멀 배열 안테나를 위한 빔 형성 연구 및 최적 소자 위치 선정

Beam Forming Study and Optimum Antenna Location Selection for Wideband Conformal Array Antenna

정상훈 · 이강인* · 남상욱 · 정용식* · 윤영중** · 유홍균*** · 정현교

Sang-Hoon Jung · Kang-In Lee* · Sang-Wook Nam · Young-Seek Chung* ·
Young-Joong Yoon** · Hong-Kyun Ryu*** · Hyun-Kyo Jung

요 약

본 논문에서는 LSM(Least Squares Method)와 GA(Genetic Algorithm)를 이용한 광대역 컨포멀 배열 안테나의 최적 빔 형성을 제안하였다. LSM을 적용하여 컨포멀 배열 안테나의 빔 패턴을 선형 배열 안테나의 빔 패턴으로 근사시키는 가중치들을 구하였다. 그리고 GA를 이용하여 광대역에서 최적의 빔 패턴을 형성하는 컨포멀 배열 안테나의 최적 위치들을 구하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해 Bezier 플랫폼 배열 안테나에 적용시켜 보았다.

Abstract

This paper proposes an optimum beam forming of conformal array antenna by using LSM(Least Squares Method) and GA(Genetic Algorithm). The weights which approximate conformal array antenna beam pattern to linear array antenna beam pattern have been evaluated by applying LSM. Also, the optimum locations of conformal array antenna which form wideband optimum beam pattern have been obtained by using GA. The proposed method is applied to a problem of Bezier platform array antenna for a verification purpose.

Key words: Conformal Array Antenna, Least Squares Method, Genetic Algorithm, Wideband

I. 서 론

컨포멀 배열 안테나는 항공기 및 고속 기동 차량 등의 플랫폼 형상에 맞게 설계하여 고속 이동에 의한 공기 저항을 줄이거나, 돌출 구조물 감소로 스텔스 기능을 증대

시키는 기능을 가지고 있다. 플랫폼의 형상은 공기 저항을 고려하여 유선형으로 형성되어 있기에 배열 안테나는 비평면 구조에 일체형으로 구성되게 된다. 그러므로 기존의 평면구조와는 전기적/기계적 특성 및 빔 조향 특성도 달라지게 된다^[1]. 그에 따라 컨포멀 배열 안테나 빔 형성

「이 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 연구되었음.」

서울대학교 전기정보공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University)

*광운대학교 전자융합공학과(Department of Electronic Convergence Engineering, Kwangwoon University)

**연세대학교 전기전자공학부(School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

***국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received October 8, 2015 ; Revised January 5, 2016 ; Accepted January 26, 2016. (ID No. 20151008-25S)

· Corresponding Author: Young-Seek Chung (e-mail: yschung@kw.ac.kr)

에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

이전까지의 컨포멀 배열 안테나의 빔 형성 연구들은 협대역에서 적용한 연구들이 많이 이루어졌으며, 광대역 일 때를 고려한 연구들은 많이 부족한 상태이다. 본 논문에서는 광대역, 컨포멀을 모두 고려한 빔 형성을 위해 다음과 같은 방법을 제안하였다.

먼저, 컨포멀 문제를 해결하기 위하여 LSM을 적용하여 컨포멀 배열 안테나의 빔 패턴을 선형 배열 안테나의 빔 패턴으로 근사시키는 가중치를 구하는 방식을 택하였다. 빔 형성 기법이 이미 많이 연구되어 있는 선형 배열 안테나의 빔 패턴으로 근사시켜 쉽게 컨포멀 배열 안테나의 빔 형성이 가능하였다.

다음으로 광대역에서 빔 조향이 가능하도록 하기 위하여 주파수, 빔 조향별로 다른 가중치를 구하였다. 또한, GA를 이용하여 광대역에서의 최적의 빔 형성이 가능한 컨포멀 배열 안테나의 위치를 구하였다.

본 논문에서 제시한 방법을 검증하기 위하여 컨포멀 배열 안테나 중 Bezier 플랫폼 안테나 배열, 2~6 GHz의 대역, 최대 빔 조향각이 30°일 때 최적 빔 형성이 가능함을 보였다.

II. 컨포멀 배열 안테나의 빔 형성

2-1 선형 배열 안테나

선형 배열 안테나는 그림 1과 같이 선형으로 안테나를 배열한 것이다. 이러한 선형 배열 안테나의 빔 형성 기법에 대하여는 이미 많은 연구가 이루어진 상태인데, 선형 배열 안테나의 빔 패턴은 아래와 같이 구할 수 있다.

식 (1)은 선형 배열 안테나의 manifold 벡터 $\mathbf{A}_l$ 를 나타낸 것이며, $\mathbf{A}_l$ 에 가중치 벡터 $\mathbf{W}_l$ 를 곱하면 식 (2)의 선형 배열 안테나의 빔 패턴 식이 된다^[2].

본 논문에서는 컨포멀 배열 안테나의 빔 패턴을 이와 같은 선형 배열 안테나의 빔 패턴으로 근사시키는 가중치를 구할 것이다.

$$\mathbf{A}_l = \begin{bmatrix} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}n_1d(\sin\theta - \sin\theta_0)} \\ \vdots \\ e^{j\frac{2\pi}{\lambda}n_Nd(\sin\theta - \sin\theta_0)} \end{bmatrix}_{(N) \times (1)} \quad (1)$$

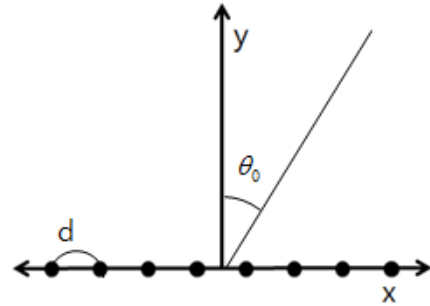


그림 1. 선형 배열 안테나

Fig. 1. Linear array antenna.

$$B_l = \mathbf{W}_l \mathbf{A}_l = \sum_{k=1}^N w_k e^{j\frac{2\pi}{\lambda}n_kd(\sin\theta - \sin\theta_0)} \quad (2)$$

여기서,

- B_l = 선형 배열 안테나의 빔 패턴
- $\mathbf{W}_l$ = 배열 소자의 가중치 벡터
- $\mathbf{A}_l$ = 선형 배열 안테나의 manifold 벡터
- N = 배열 소자의 총 개수
- w_k = k 번째 배열 소자의 가중치
- λ = 파장
- n_k = k 번째 배열 소자의 위치
- d = 소자의 간격
- θ_0 = 지향각도

이다.

2-2 Bezier 배열 안테나

본 논문에서는 컨포멀 배열 안테나 중 Bezier 배열 안테나를 이용하였는데, Bezier 배열 안테나는 Bezier 곡선 형태의 플랫폼을 사용한다.

제어점이 $P_0 \sim P_3$ 4개인 3차 Bezier 곡선을 플랫폼으로 사용하였는데, 3차 Bezier 곡선의 수학 공식은 식 (3)과 같다^[3].

$$P(t) = (1-t)^3 P_0 + 3t(1-t)^2 P_1 + 3t^2(1-t) P_2 + t^3 P_3, \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (3)$$

식 (3)과 같은 공식에 의해 그림 2와 같은 Bezier 곡선이 그려지게 된다. t 는 0과 1 사이의 값을 가지는 Bezier 매개변수이다.

Bezier 배열 안테나는 그림 3과 같이 Bezier 플랫폼 위

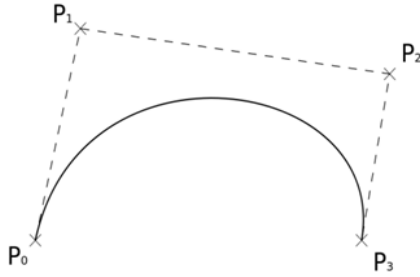


그림 2. Bezier 곡선의 예

Fig. 2. Example of Bezier curve.

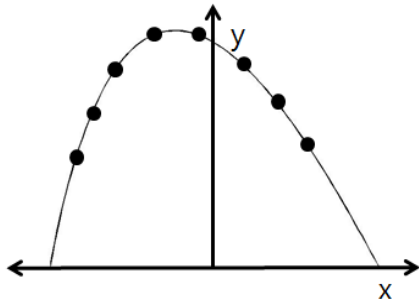


그림 3. Bezier 플랫폼상의 배열 소자

Fig. 3. Array elements on Bezier platform.

에 안테나를 배열한 것이다.

Bezier 배열 안테나의 빔 패턴은 다음과 같이 구해진다. 식 (4)는 Bezier 배열 안테나의 manifold 벡터 A_B 를 나타낸 것이며, A_B 에 가중치 벡터 W_B 를 곱하면 식 (5)의 Bezier 배열 안테나의 빔 패턴 식이 된다.

$$A_B = \begin{bmatrix} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(x_1\sin\theta + y_1\cos\theta)} \\ \vdots \\ e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(x_N\sin\theta + y_N\cos\theta)} \end{bmatrix}_{(N) \times (1)} \quad (4)$$

$$B_B = W_B A_B = \sum_{k=1}^N w_k e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(x_k\sin\theta + y_k\cos\theta)} \quad (5)$$

여기서,

B_B = Bezier 배열 안테나의 빔 패턴
 W_B = 배열 소자의 가중치 벡터
 A_B = Bezier 배열 안테나의 manifold 벡터
 x_k, y_k = k 번째 배열소자의 x, y 위치

이다.

2-3 LSM을 이용한 가중치 벡터 계산

식 (6)과 같이 선형 배열 안테나의 빔 패턴 B_l 과 Bezier 배열 안테나의 빔 패턴 B_B 가 같도록 만들어주는 Bezier 배열 안테나의 가중치 벡터 W_B 를 구한다.

$$B_l = W_l A_l = B_B = W_B A_B \quad (6)$$

LSM을 이용하면 W_B 를 근사적으로 구할 수 있는데, LSM은 식 (7)과 같이 목표값 B_l 과 근사값 B_B 의 오차 제곱합 E_{min} 이 최소가 되도록 만들어주는 방법이다^[4]. 식 (2)에 의해 $B_B = W_B A_B$ 이고, A_B 는 배열 안테나의 위치에 의해 이미 결정되어진 값이므로 결국 B_l 과 가까운 B_B 를 만들어주는 W_B 를 구하게 된다.

$$\begin{aligned} E_{min} &= \min \sum \| B_B - B_l \|^2 \\ &= \min_{W_B} \sum \| W_B A_B - B_l \|^2 \end{aligned} \quad (7)$$

위의 식을 풀어 W_B 를 구하는 식으로 만들면 식 (8)과 같이 된다^{[5],[6]}.

$$W_B = B_l A_B^H (A_B A_B^H)^{-1} (1) \times (N) \quad (8)$$

여기서 $(\cdot)^H$ 는 conjugate transpose를 의미한다. 식 (4)에서 알 수 있듯이 A_B 는 신호의 주파수와 안테나들의 위치와 관련이 있다. 그러므로 식 (8)의 $A_B A_B^H$ 을 통해 얻은 행렬의 고유값 성질은 주파수 특성에 따라 변하게 되고, 이행렬이 매우 작은 고유값을 포함할 경우 condition number가 크게 증가한다. 그 결과 역행렬 과정에서 오차가 증가하게 되고, 각 배열소자에 대한 가중치 값의 차이가 증가하여 송신 안테나의 전력손실이 증가하므로 최적의 가중치 값을 구했다고 볼 수 없게 된다^[1]. 이러한 문제를 diagonal loading을 이용하여 해결할 수 있다^[7].

$$W_B = B_l A_B^H (A_B A_B^H + \alpha I)^{-1} \quad (9)$$

Diagonal loading을 추가하여 최종적으로 구해진 식 (9)를 통해 Bezier 배열 안테나 빔 패턴을 선형 배열 안테나

빔 패턴으로 근사시키는 가중치 벡터를 구한다. 이때, $\alpha = 0.1$ 을 설정하여 식 (9)로부터 안정된 가중치 벡터 $\mathbf{W}_B$ 를 계산하였다.

III. GA를 이용한 광대역 컨포멀 배열 안테나의 최적 소자 위치 선정

주파수, 빔 조향각에 따라 같은 가중치를 적용하더라도 빔 패턴이 달라지게 되는데, 이러한 문제를 해결하기 위하여 각각의 주파수, 빔 조향각에 따라 다른 가중치를 적용한다. L 개의 주파수, M 개의 조향각에 대하여 식 (10)과 같이 가중치 벡터들을 구할 수가 있다.

$$\mathbf{W}_{B(f,\theta)} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_B(f_1, \theta_1) & \cdots & \mathbf{W}_B(f_1, \theta_M) \\ \mathbf{W}_B(f_2, \theta_1) & \cdots & \mathbf{W}_B(f_2, \theta_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{W}_B(f_L, \theta_1) & \cdots & \mathbf{W}_B(f_L, \theta_M) \end{bmatrix}_{(L) \times (M)} \quad (10)$$

그리고 구해진 가중치 벡터들은 안테나 개수가 N 인 경우 식 (11)과 같은 가중치들로 구성이 된다.

$$\mathbf{W}_B(f_L, \theta_M) = [w_1(f_L, \theta_M) \cdots w_N(f_L, \theta_M)]_{(1) \times (N)} \quad (11)$$

이와 같이 주파수, 조향각에 따라 다르게 가중치를 적용하면 광대역에서의 빔 조향이 가능하다. 빔 패턴은 가중치와 manifold 벡터의 곱으로 구해지는데, 위에서 언급했듯이 manifold 벡터는 주파수와 안테나들의 위치에 관계가 있다. 그 중 안테나의 위치는 한번 정해지면 수정할 수 없으므로 최적의 빔을 형성할 수 있는 안테나의 위치를 찾을 필요가 있다.

L 개의 주파수, M 개의 조향각에 대하여 구한 가중치값들을 이용하여 주파수, 조향각에 따른 빔 패턴을 구하고, 근사시키려는 빔 패턴 즉, 목표 빔 패턴과의 차이 E_{min} 들을 구한다. 식 (12)와 같이 구한 E_{min} 의 합 S_{min} 이 최소가 되게 하는 N 개의 안테나들의 위치 벡터 $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$ 를 구한다.

$$S_{min} = \min_{\mathbf{X}, \mathbf{Y}} \left[\sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^M \left\{ \sum \left\| \mathbf{W}_B(f_j, \theta_k) \mathbf{A}_B - \mathbf{B}_l \right\|^2 \right\} \right] \\ \mathbf{X} = \{x_1, \cdots, x_N\}_{(1) \times (N)}, \mathbf{Y} = \{y_1, \cdots, y_N\}_{(1) \times (N)} \quad (12)$$

안테나들이 배열되는 플랫폼이 Bezier 곡선의 형태를

가지고 있으므로 결국 x 좌표값을 알게 되면 y 좌표값도 알게 된다. 그러므로 최종적으로 구하는 값은 식 (13)과 같이 N 개의 안테나들의 x 좌표값 벡터인 $\mathbf{X}$ 가 된다.

$$S_{min} = \min_{\mathbf{X}} \left[\sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^M \left\{ \sum \left\| \mathbf{W}_B(f_j, \theta_k) \mathbf{A}_B - \mathbf{B}_l \right\|^2 \right\} \right] \\ \mathbf{X} = \{x_1, \cdots, x_N\} \quad (13)$$

안테나의 최적 위치를 구하기 위해 본 논문에서는 최적화 알고리즘인 GA를 사용하였다. GA는 생물의 진화 과정에서 영감을 받아 나온 알고리즘으로 최적화 문제에 사용되는 대표적인 수치해석 알고리즘이다^[8]. 안테나들의 x 좌표값 벡터 $\mathbf{X}$ 를 설계변수로 두고 S_{min} 이 최소가 되도록 GA를 실행하여 최적의 안테나 위치를 구할 수 있다. 구해진 최적의 안테나 위치를 통해 식 (4)와 같이 manifold 벡터를 계산할 수 있고, 식 (5)를 통해 광대역 Bezier 배열 안테나의 최적 빔 패턴을 구할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 표 1과 같은 시뮬레이션 조건에서 위에서 제안한 방법을 적용하여 보았다.

Bezier 플랫폼의 Bezier 곡선을 구성하는데 사용되는 4개의 제어점이 표 2에 나타나 있다. 표 2의 제어점을 식 (3)에 대입하면 그림 4와 같은 Bezier 곡선을 얻을 수 있는데, 이러한 Bezier 곡선을 안테나가 배열될 플랫폼으로 사용하였다.

주파수 대역은 2~6 GHz로, 조향각은 $-30 \sim +30^\circ$ 일 때 최적 빔 형성이 가능하도록 하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건

Table 1. Simulation condition.

플랫폼	Bezier 플랫폼
주파수 대역	2~6 GHz
조향각 범위	$-30 \sim +30^\circ$
배열소자수	8 개
GA 인구수 / 세대수	300 / 2,000
CPU / 메모리	Intel i7-4790K / 8 GB

표 2. Bezier 곡선 제어점

Table 2. Bezier curve control point.

제어점	P_0	P_1	P_2	P_3
X-axis [m]	-0.4	-0.3	0.3	0.4
Y-axis [m]	0.15	0.3	0.25	0.15

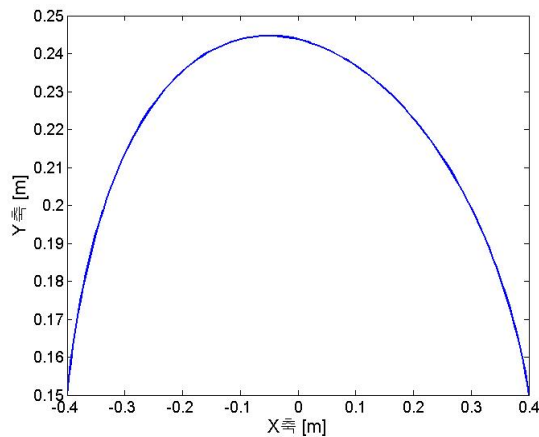


그림 4. Bezier 함수에 의한 플랫폼

Fig. 4. Platform based on Bezier curve.

목표 빔 패턴은 8개의 소자를 반파장 등간격으로 배열한 선형 배열 안테나의 빔 패턴에, SLL(Side-lobe Level)을 -20 dB 아래로 줄이기 위해 테일러 가중치를 적용한 빔 패턴으로 정하였다^[9].

목표 빔 패턴 즉, 식 (6)의 B_1 로 사용된 빔 패턴은 그림

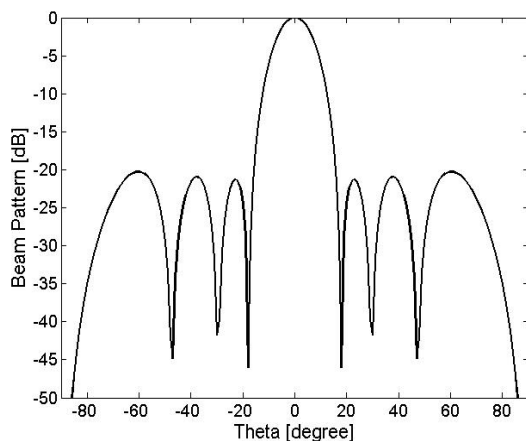


그림 5. 테일러 가중치에 의한 목표 빔 패턴

Fig. 5. Desired beam pattern using Taylor weighting.

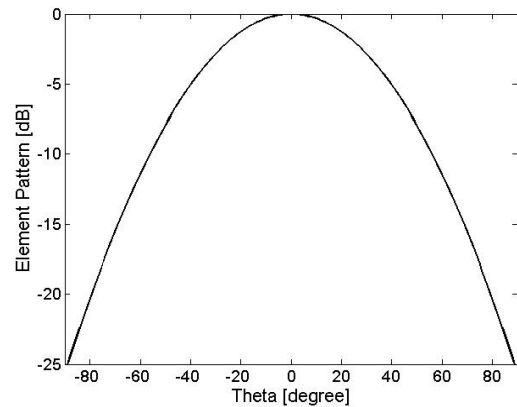


그림 6. 안테나 소자 패턴

Fig. 6. Antenna element pattern.

표 3. 안테나 최적 위치

Table 3. Antenna optimum location.

소자	1	2	3	4
X [m]	-0.1479	-0.1110	-0.0696	-0.0357
Y [m]	0.2409	0.2433	0.2445	0.2446

소자	5	6	7	8
X [m]	-0.0063	0.0268	0.0692	0.0785
Y [m]	0.2440	0.2425	0.2397	0.2389

5와 같다. 목표 빔 패턴의 HPBW(Half-power Beamwidth)는 14.4° , PSLL(Peak Side-lobe Level)은 -20.25 dB이다.

배열에 사용되는 안테나 소자 패턴은 그림 6과 같이 HPBW가 60° 인 Gaussian 패턴으로 가정하였다.

위와 같은 시뮬레이션 조건 하에 인구수 300, 세대수 2,000으로 두고 GA를 실행하여 안테나들의 최적위치를 구하였다. 그 결과는 표 3과 같았다. 이때 총 계산시간은 표 1의 조건하에서 8,826 초가 소비되었다.

추정된 최적 위치를 Bezier 플랫폼 위에 배열해 보면 그림 7과 같이 나타나게 된다. 추정된 안테나 최적 위치를 이용하여 주파수 2~6 GHz, 조향각 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 일 때의 Bezier 배열 안테나의 빔 패턴을 구한 후 목표 빔 패턴과 비교하였다.

그림 8은 조향각 -30° 일 때의 목표 빔 패턴과 2~6 GHz의 빔 패턴을 비교한 그래프이며, 그림 9는 조향각 0° 일 때, 그림 10은 $+30^\circ$ 일 때의 그래프이다.

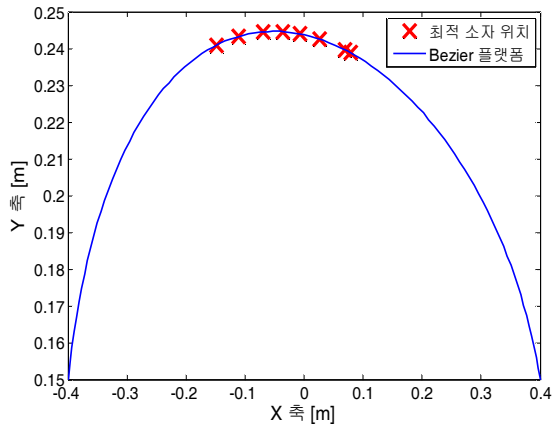


그림 7. Bezier 플랫폼에 배열된 안테나 소자
Fig. 7. Antenna elements arranged on Bezier platform.

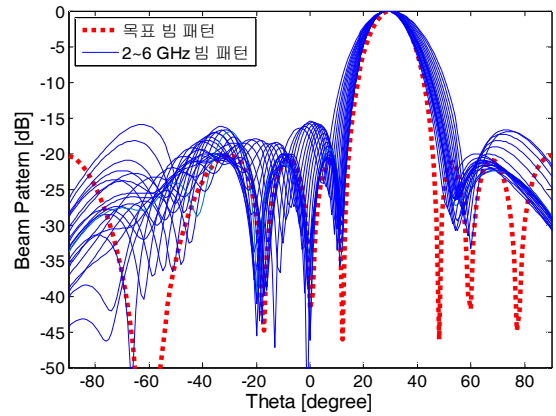


그림 10. 최적 빔 패턴(조향각 +30°)
Fig. 10. Optimum beam pattern(steering angle +30°).

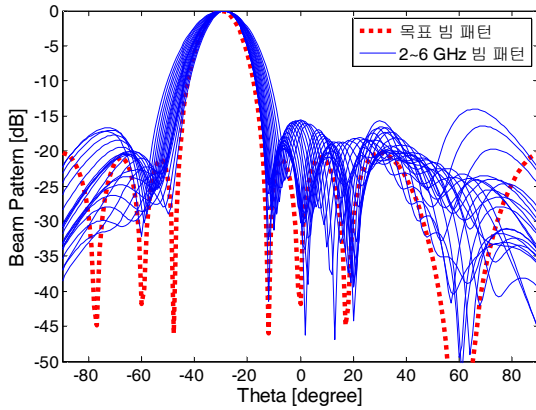


그림 8. 최적 빔 패턴(조향각 -30°)
Fig. 8. Optimum beam pattern(steering angle -30°).

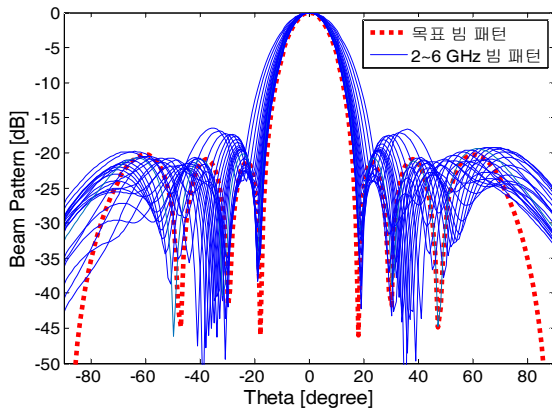


그림 9. 최적 빔 패턴(조향각 0°)
Fig. 9. Optimum beam pattern(steering angle 0°).

그림 8~10을 통해 본 논문에서 제안한 방법으로 광대역 컨포멀 안테나의 최적 빔 형성이 가능함을 볼 수 있다. 또한, LSM을 이용하여 근사하면서 발생하는 오차와 주어진 주파수 대역, 조향각을 모두 만족시키는 빔 형성이 가능하도록 안테나 위치로 최적화하면서 발생하는 오차로 인해 특정 주파수, 조향각에서의 목표 빔 패턴보다 HPBW와 PSLL이 커진 것을 볼 수 있다. 최적 빔 패턴의 조향각, 주파수에 따른 HPBW와 PSLL을 계산한 값이 그림 11과 그림 12에 나타나 있다. HPBW의 최대값은 22.8°, PSLL의 최대값은 -14.03 dB이다.

V. 결 론

본 논문에서는 광대역 컨포멀 배열 안테나의 최적 빔

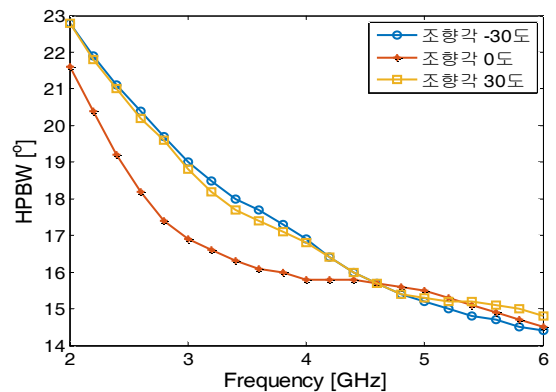


그림 11. 최적 빔 패턴의 HPBW
Fig. 11. HPBW of optimum beam pattern.

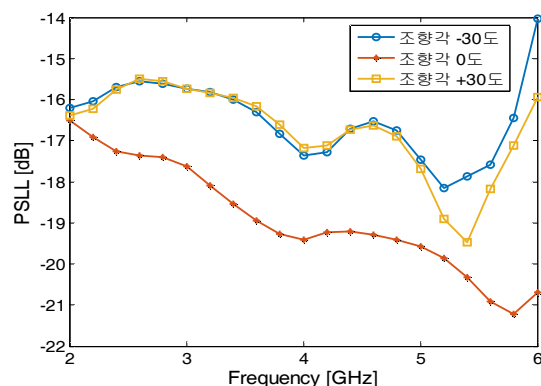


그림 12. 최적 빔 패턴의 PSLL

Fig. 12. PSLL of optimum beam pattern.

형성을 위해 LSM 근사와 GA를 이용한 안테나 위치 최적화 방법을 제안하였다.

컨포멀 배열 안테나의 빔 패턴을 목표 빔 패턴으로 근사하는 가중치를 LSM을 이용하여 구하는 방법으로 컨포멀에서의 빔 형성 문제를 해결하였다. 그리고 주파수, 빔 조향각에 따라 가중치를 다르게 적용함으로 광대역에서의 빔 형성이 가능하도록 하였다. 마지막으로 최적의 빔 형성이 가능하도록 하기 위하여 GA를 이용하여 안테나의 위치를 최적화하였다.

제안한 방법을 검증하기 위하여 Bezier 배열 안테나에 적용하여 최적 빔 형성이 가능함을 보였다. 기존의 연구되었던 협대역에서의 컨포멀 배열 안테나 빔 형성 방법과 달리 본 논문에서 제시한 방법을 통해 광대역에서도 빔 형성이 가능함을 볼 수 있다. 다만 협대역 컨포멀 배열 안테나 빔 형성에 비해 HPBW, PSLL이 커지고 실행 시간이 늘어나게 되는데 이러한 부분을 해결할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 논문에서 제안한 방법은 Bezier 플랫폼이 아닌 다른 컨포멀 플랫폼에도 적용이 가능하며, 목표 빔 패턴도 원하는 빔 패턴으로 바꾸어 적용이 가능하므로 다양한 광대역 컨포멀 배열 안테나의 최적 빔 형성에 쓰일 수 있을

것이다.

References

- [1] 권오성, "컨포멀 배열 안테나 기반의 광대역 빔형성 알고리즘 연구", 광운대학교 석사학위논문, pp. 1-2, 17-20, 2014년 8월.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, pp. 290-313, 2005.
- [3] Luigi Cinque, Stefano Levialdi, and Alessio Malizia, "Shape description using cubic polynomial Bezier curves", *Pattern Recognition Letters*, vol. 19, no. 9, pp. 821-828, Jul. 1998.
- [4] Leo I. Vaskelainen, "Constrained least-squares optimization in conformal array antenna synthesis", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 3, pp. 859-867, Mar. 2007.
- [5] Andrew Nealen, "An as-short-as-possible introduction to the least squares, weighted least squares and moving least squares methods for scattered data approximation and interpolation", URL: <http://www.nealen.com/projects>, 2004.
- [6] Lars Josefsson, Patrik Persson, *Conformal Array Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 395-420, 2006.
- [7] F. Vincent, O. Besson, "Steering vector errors and diagonal loading", *Radar, Sonar and Navigation, IEEE Proceedings*, vol. 151, no. 6, pp. 337-343, Dec. 2004.
- [8] Darrell Whitley, "A genetic algorithm tutorial", *Statistics and Computing*, vol. 4, no. 2, pp. 65-85, Jun. 1994.
- [9] Harry L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Optimum Array Processing*, John Wiley & Sons, pp. 143-149, 2004.

정 상 훈



2010년 8월: 서울대학교 전기공학부 (공학사)
2014년 9월~현재: 서울대학교 전기정보공학부 석·박사 통합과정
[주 관심분야] 전자장 수치해석 및 최적화, 레이더 신호처리

정 용 식



1989년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
2000년 8월: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)
2003년 3월~2006년 2월: 명지대학교 통

신공학과 조교수

2006년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] 전자파수치해석 및 EMI/ EMC, Radar 신호처리

이 강 인



2011년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 석·박사 통합과정
[주 관심분야] 능동 위상 배열 시스템, 레이더 신호처리

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위

성통신기술연구원 교수

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

2011년: 한국전자과학회 학회장

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파

남 상 욱

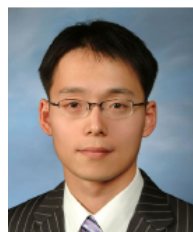


1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1989년: Electrical Engineering at the University of Texas at Austin (공학박사)
1990년~현재: 서울대학교 전기공학부 교

수

[주 관심분야] 마이크로파 능동/수동 회로 설계, 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해석 등

유 홍 균



2005년 2월: 목원대학교 정보통신공학과 (공학사)
2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2012년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
2012년 10월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 안테나

정 현 교



1979년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학
사)

1981년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학
석사)

1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학
박사)

1985년~1994년: 강원대학교 교수

1987년~1989년: Polytechnic University of Brooklyn, Brooklyn,
NY 방문교수

1999년~2000년: UC Berkeley 방문교수

2002년~2008년: 기초전력연구원 원장

1997년~현재: 서울대학교 전기·정보공학부 교수

[주 관심분야] 전자장 수치해석 및 최적화, 고출력전자기파, 초
고압 차단기 시스템, 전기기기