

논문 2007-44TC-6-8

Sidelobe 레벨 제어를 통한 선전원 차폐턴 최적 합성에 관한 연구

(A Study on the Optimum Synthesis of Line Source Difference
Patterns by Sidelobe Level Control)

박 의 준*

(Eu Joon Park)

요 약

본 논문에서는 모노 펄스 추적용 배열안테나에서 주로 사용하는 선전원에 의한 차폐턴 합성법을 새로이 제안한다. 제안한 방법에서는 잘 알려진 Bayliss의 차폐턴 합성법과는 달리 Taylor의 선전원 합패턴 공식을 적절히 수정하여, 원하는 개별 sidelobe 레벨을 갖는 차폐턴을 최적 합성한다. 즉, 차폐턴과 해당 소스 분포함수와의 관계를 해석적으로 설정하고, 패턴이 갖는 null점을 최적으로 섭동시킴으로써 원하는 패턴과 해당 소스 분포함수를 동시에 도출한다. 더욱이 이 방법은 기존의 방법보다 빠른 sidelobe 감쇠율을 가지도록 한다. 수치적인 결과들로부터 제안한 합성과정의 타당성과 유용성을 보인다.

Abstract

In this paper, a new approach to the optimum synthesis of line source difference patterns is proposed for the monopulse tracking array antennas. In the proposed scheme, which is different from the well-known Bayliss difference pattern synthesis, the difference patterns with the desired individual sidelobe levels are optimally synthesized by appropriately modifying the Taylor line source sum pattern formula. That is, the relationship between the difference pattern and the corresponding source distribution function is analytically established, and then the desired pattern and the distribution are simultaneously extracted by the optimum perturbation of pattern null positions. Furthermore this method provides more rapid sidelobe decay rates than conventional methods. Some numerical results show the validity and usefulness of the proposed procedures.

Keywords : difference pattern, sum pattern, array antenna, line source

I. 서 론

선형, 원형 및 평면형 모노 펄스 배열안테나들은 원거리 이동체의 감지와 추적을 위해 boresight 방향으로 합(sum) 패턴과 날카로운 경사각(slope angle)을 갖는 차(difference) 패턴이 요구된다^{[1][2][3]}. 이들 합 및 차 패턴을 위한 배열안테나의 성능은 배열안테나를 이루는 각 안테

나 급전부에 여기되는 전류 혹은 전압의 크기와 위상에 의해 결정되며, 빔 패턴은 배열안테나의 공간인자(space factor) 혹은 패턴인자(pattern factor)의 크기로 표현된다. 그리고 대부분의 배열은 M개의 이산적인 안테나들로 구성되지만, M이 커질 경우 즉, 안테나 배열이 거의 연속적으로 분포될 경우에 대한 패턴 합성법을 주로 많이 사용하고 있다. 왜냐하면 연속적으로 분포된 여기신호를 이산적인 M개의 개수로 샘플링하면 이산적인 배열안테나 합성이 가능하며, 또한 M의 개수가 커지면 거의 연속적인 배열로 가정할 수 있기 때문이다. 만약 직선형 배열이라 가정하면 각 안테나들의 여기 신호들의 크기와 위상은 테이퍼형 분포함수로 표현되며, 이 개념은 선전원 혹은 선형 개구(aperture) 소스에 의한 패턴 합성법에 의

정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)
* 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임
접수일자: 2007년3월7일, 수정완료일: 2007년6월5일

해 설명될 수 있다^[3].

오늘날 선전원에 의한 차폐턴 합성을 위해 Bayliss^[4]가 제안한 방법을 많이 사용하고 있으며, 이 방법을 사용하여 Elliott^[5], Hansen^[6] 등은 원하는 sidelobe 레벨 (*SLL*)을 갖는 차폐턴 합성을 위해 최적화 방법에 대해 연구하였다. 최근들어 차폐턴을 위한 급전부 간소화에 대한 연구가 진행되어 왔다^{[7],[8]}. Bayliss패턴은 boresight에서 null점과 그 근처에서 예리한 경사각을 가지고, 낮은 sidelobe를 가지긴 하지만, 연속적인 선전원 소스의 edge부분에서 0이 아닌 분포함수를 가지고 있으므로, 특히 선형 개구인 경우 물리적으로 구현하기에 어려운 점이 있고, sidelobe 감쇠율에 있어서 제한적이다^{[5],[6]}.

본 연구에서는 우함수인 Taylor^[9]의 합패턴 공식을 수정하여, 기함수인 차폐턴과 해당 소스 분포함수와의 상관관계를 도출하고, 개별 lobe들의 레벨을 제어함으로써 원하는 차폐턴을 합성하는 방법을 새로이 제안하였다. 이 방법으로부터 소스 edge에서의 분포함수 값이 0이 되며, Bayliss 패턴보다 *SLL*이 낮고 빠른 감쇠율을 가지게 된다.

최적화 방법은 패턴이 갖는 null점의 최적 섭동에 기본을 두고 있으며, 섭동시 발생하는 sidelobe들의 크기들을 원하는 레벨로 제한하는 방법을 사용하였다. 수치적 방법을 통해 기존의 방법과 비교하고, 평가함으로써 제안한 방법의 타당성을 보였다.

II. Taylor 및 Bayliss 패턴의 재해석

일반적으로 선전원 분포함수를 $g(p)$, 공간인자 패턴을 $F(z)$ 라 두면 다음과 같이 푸리에 변환쌍의 관계가 성립한다^{[3],[10]}.

$$F(z) = \int_{-\pi}^{\pi} g(p) e^{-jzp} dp \quad (1)$$

여기서 그림 1(a)로부터 $z = (2L/\lambda)\cos\theta$ 이며, $2L$ 은 선형 소스의 길이, λ 는 파장, 그리고 θ 는 endfire 방향으로부터 측정된 각을 의미한다. 식(1)은 $p = \pi x/L$ 로 치환한 결과이며, 선전원은 $-L \leq x \leq L$ 의 범위 내에 있으므로 $-\pi \leq p \leq \pi$ 가 성립한다.

우선 $g(p)$ 를 삼각함수 급수형태로 전개하면 다음과 같다.

$$g(p) = \sum_{n=0}^{\infty} (A_n \cos np + B_n \sin np) \quad (2)$$

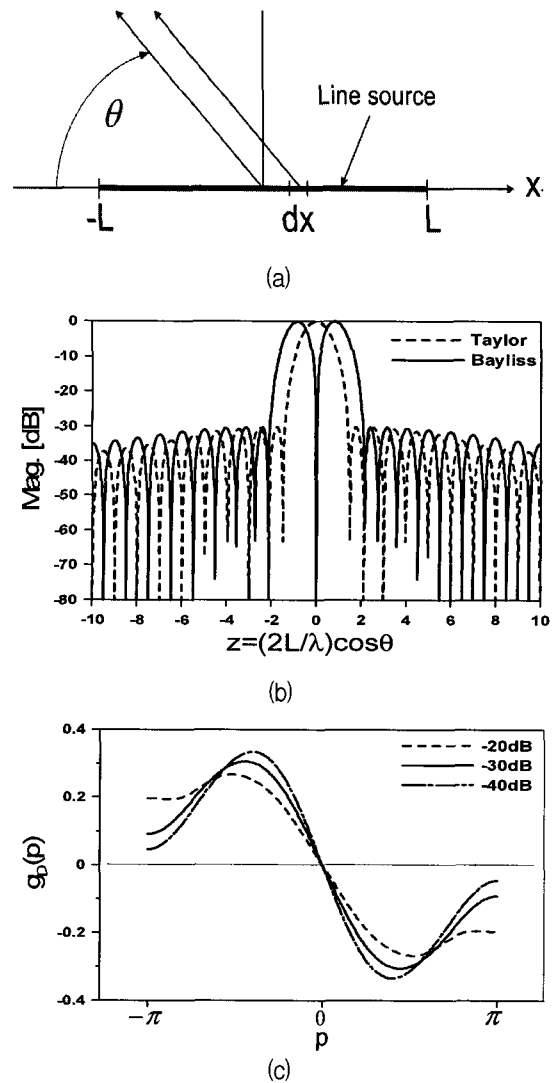


그림 1. 선전원에 의한 합 및 차폐턴($\bar{n}=6$)
(a)선전원 기하구조, (b)합 및 차폐턴 예,
(c)*SLL*에 따른 Bayliss 분포함수

Fig. 1. Sum and difference patterns by line source ($\bar{n}=6$).

(a)Geometry of line source, (b)Examples of sum and difference patterns, (c)Distribution functions according to *SLL* of Bayliss patterns.

여기서 A_n 과 B_n 은 실 계수이다. 식(2)를 식(1)에 대입하여 정리하면 $F(z)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \pi A_n (Sa(\pi(z-n)) + Sa(\pi(z+n))) - j \sum_{n=1}^{\infty} \pi B_n (Sa(\pi(z-n)) - Sa(\pi(z+n))) \quad (3)$$

여기서 $Sa(\cdot)$ 은 샘플링함수를 의미하며, $F(n) = \pi(A_n - jB_n)$ 이고, $F(0) = 2\pi A_0$ 의 관계가 성립한다. 그리고 $F(z)$ 의 실수부와 허수부는 각각 우함수

및 기함수이며 $F(z) = F_e(z) + jF_o(z)$ 로 표현되며, 만약 $F(z)$ 가 우함수라면 $B_n = 0$ 가 된다. 여기서 Taylor는 $F_e(z)$ 를 변형하여 다음의 합패턴을 제안하였다.

$$F_s(z) = A \frac{\sin \pi z}{\pi z} \frac{\prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left(1 - \left(\frac{z}{z_n}\right)^2\right)}{\prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left(1 - \left(\frac{z}{n}\right)^2\right)} \quad (4)$$

식(4)는 우함수이며 $n < \bar{n}$ 의 범위에서 z_n 은 null점을 의미하며, $n \geq \bar{n}$ 의 범위에서는 $z_n = n$ 이 되어 $(\sin \pi z)/\pi z$ 형태의 패턴을 가지므로 $z = n$ 에서 null점을 형성하게 된다. 그리고 A 는 $z = 0$ 에서의 패턴 크기를 의미한다. 이 패턴은 개별 SLL 이 일정하게 유지되는 Dolph-Chebyshev 패턴^[3]과는 달리 $n \geq \bar{n}$ 의 범위에서 SLL 을 z^{-1} 의 율로 감쇠되도록 함으로써 sidelobe 효율을 개선시킴과 동시에, $n < \bar{n}$ 의 범위에서 Dolph-Chebyshev 패턴과 유사한 SLL 을 유지시킴으로써 좁은 빔폭을 유지하도록 하였다. 따라서 Taylor의 합패턴을 위한 소스 분포함수는 샘플값으로부터 다음과 같이 주어진다.

$$g_s(p) = \frac{1}{2\pi} \left\{ F_s(0) + 2 \sum_{n=1}^{\bar{n}-1} F_s(n) \cos np \right\} \quad (5)$$

한편 Bayliss는 다음과 같이 기함수 형태의 차패턴식을 제안하였다.

$$F_D(z) = \pi z \cdot \cos \pi z \frac{\prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left[1 - \left(\frac{z}{z_n}\right)^2\right]}{\prod_{n=0}^{\bar{n}-1} \left[1 - \left(\frac{z}{n + \frac{1}{2}}\right)^2\right]} \quad (6)$$

여기서 $z_n = \sigma Z_n$ 이며, σ 는 dilation 인자이고, Z_n 은 SLL 과 관계되는 상수로서 $n < \bar{n}$ 의 범위에서 Dolph-Chebyshev 패턴과 유사한 SLL 을 가지며, $n \geq \bar{n}$ 에서 sidelobe는 z^{-1} 의 율로 그 레벨이 감쇠하게 된다. 식(6)으로부터 $n \geq \bar{n}$ 인 범위에서는 $z = n + 1/2$ 에서 null점이 발생하므로 $0 \leq n \leq \bar{n} - 1$ 의 범위에서 다음과 같이 $g(p)$ 는 $n + 1/2$ 위치에서의 샘플값을 사용하여 결정된다.

$$g_D(p) = \frac{1}{\pi} \sum_{n=0}^{\bar{n}-1} F_D\left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \sin \left[\left(n + \frac{1}{2} \right) p \right] \quad (7)$$

그림 1(b)는 sidelobe가 $-30dB$ 이고 $\bar{n} - 1 = 5$ 인 경

우, 주 빔의 크기를 정규화시켜 Bayliss 차패턴과 Taylor 합패턴을 보인 그림이며, 그림1(c)는 식(7)을 사용하여 차패턴의 SLL 에 따른 선전원 분포함수를 보인 그림이다. 이 그림으로부터 $p = 0$ 에서 위상이 반전됨을 알 수 있다. 그리고 선전원 분포영역 $-L \leq x \leq L$ 즉, $-\pi \leq p \leq \pi$ 의 edge($p = \pm \pi$)에서의 $g_D(p)$ 값은 0이 되지 않으므로 연속적인 분포함수를 갖는 선형 aperture 혹은 선형 다이폴안테나의 경우 안테나 edge 부에서의 등가 전원분포값이 0이 되는 관계를 고려할 때 모순을 가지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 선전원 edge에서의 분포함수 값이 0이 될 수 있는 차패턴 합성법이 필요하다.

III. 차패턴 합성 알고리즘

앞 절에서의 제한된 범위의 푸리에 계수를 고려하여, 복소 계수를 $c_n = a_n + jb_n$ 이라 할때 $-\pi \leq p \leq \pi$ 영역에서 $g(p)$ 는 일반적으로 다음과 같이 지수함수형 푸리에 급수로 전개될 수 있다.

$$g(p) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-(\bar{n}-1)}^{\bar{n}-1} c_n e^{jnp} \quad (8)$$

식(8)을 식(1)에 대입하면 $F(z)$ 는 woodward 샘플링법^[1]에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$F(z) = \sum_{n=-(\bar{n}-1)}^{\bar{n}-1} F(n) \frac{\sin \pi(z-n)}{\pi(z-n)} \quad (9)$$

여기서 $F(n)$ 은 $z = n$ 일때 $F(z)$ 의 샘플값이며, 만약 $F(z)$ 가 우함수이고 c_n 이 실수라면 $a_{-n} = a_n$ 으로부터 $a_0 = F(0)/2\pi$, $a_n = F(n)/\pi$ 의 관계가 성립하고, 식(8)은 식(5)와 일치하게 된다.

식(4)의 Taylor패턴에서 $(1 - (z/n)^2)$ 항은 $z = n$ 일 때 $\sin(\pi z)/\pi z$ 의 특이점을 제거하는 역할을 하며 $n \geq \bar{n}$ 의 경우 패턴의 null점은 정확히 $z = n$ 에서 발생하게 된다. Taylor패턴은 우함수이므로, 이로부터 차패턴을 만들기 위해서는 $z = 0$ 일 때 $F(z)$ 가 z 영역에서 0을 통과할 수 있도록 $F(z)$ 는 기함수로 표현되어야 한다. 따라서 식(9)와 식(3)의 실수부 $F_e(z)$ 는 서로 같고, $F_e(z)$ 는 식(4)의 Taylor 패턴에 대응되므로 식(3)의 실수부를 기함수인 식(3)의 허수부의 형태로 변환하면 다음의 차패턴 $F_{DP}(z)$ 를 얻을 수 있다.

$$F_{DP}(z) = j[F_s(z) - D_0 - D_1] \quad (10)$$

여기서

$$D_0 = 2\pi a_0 \cdot Sa(\pi z) \quad (11)$$

$$D_1 = 2\pi \sum_{n=1}^{\bar{n}-1} a_n \cdot Sa(\pi(u+n)) \quad (12)$$

유도된 기함수 식(10)을 식(9)에 대응시키면 $F_{DP}(n)$ 은 순허수가 되고, 식(8)에서 $c_n = jb_n$ 이 되며, $b_n = -b_{-n}$ 의 관계가 성립하므로, 식(8)로부터 차패턴 분포함수는 다음과 같이 표현된다.

$$g_{DP}(p) = \sum_{n=1}^{\bar{n}-1} d_n \cdot \sin(np) \quad (13)$$

여기서 $d_n = -b_n/\pi$ 를 의미한다. 따라서 차패턴인 경우 식(9)와 식(10)으로부터 $d_n = F_{DP}(n)/\pi$ 이 되며, 원하는 개별 sidelobe 값을 갖도록하기 위해서는 식(13)의 d_n 의 최적값을 도출해야 하고, 이는 최적화 방법을 필요로 한다.

IV. 최적화 방법과 결과 분석

실제로 식(4)와 식(6)의 sidelobe들은 $n < \bar{n}$ 의 범위에서 패턴이 갖는 null점을 섭동시킴으로써 제어될 수 있다. 즉, 원하는 SLL 값들을 갖는 패턴과 해당 선전원 분포함수를 계산하는 과정을 요약하면 다음과 같다.

- 1) $\bar{n}-1$ 개의 sidelobe 크기의 목표값을 설정한다.
- 2) z 영역에서 개별 sidelobe들의 목표값을 만족시키는 $\bar{n}-1$ 개의 null점 z_n 의 최적한 값을 산출한다.
- 3) 합성된 패턴으로부터 샘플값을 도출하여 해당 분포함수 $g(p)$ 를 계산한다.

한편 제안한 차패턴 합성과정을 요약하면 다음과 같다.

- 1) $\bar{n}-1$ 개의 sidelobe 크기의 목표값을 설정한다.
- 2) 식(4)의 $F_s(z)$ 를 위 과정을 사용하여 합성한다.
- 3) 식(10)을 사용하여 차패턴을 계산한다. 원하는 SLL 들을 갖도록 $F_s(z)$ 의 null점을 최적 섭동시키고, 식(10)의 SLL 이 목표값에 부합할 경우 해당 $F_{DP}(n)$ 의 샘플값을 도출하여 식(13)으로부터 분포함수를 구한다.

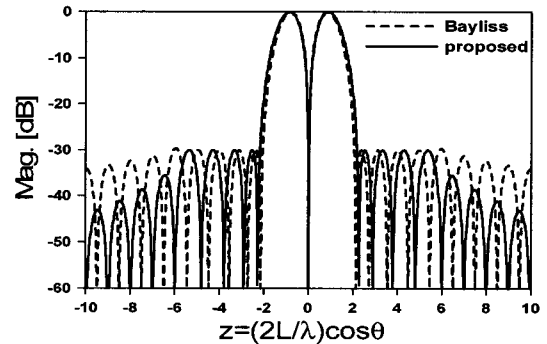
패턴 합성을 위해 $F_s(z)$, $F_D(z)$ 및 $F_{DP}(z)$ 의 크기

를 일반화된 기호 $F_G(z)$ 로 두고 $F_G^m(z)$ 를 최적화 과정에서 update 되어가는 m 차 sidelobe 피크값으로 정의한다. 그리고 m 차 SLL 피크 목표값을 SP^m 로 두고 오차함수를 정의하면 다음과 같다.

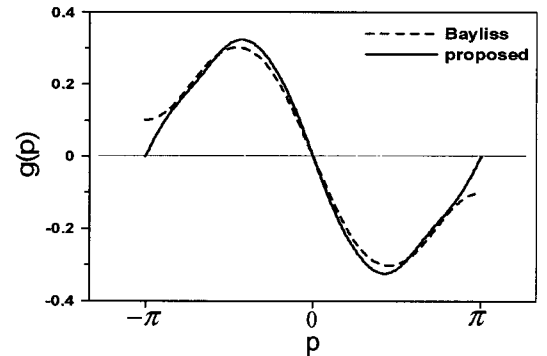
$$O(Z) = \sum_{m=1}^{\bar{n}-1} (F_G^m - SP^m)^2 \quad (14)$$

여기서 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_{\bar{n}-1})$ 을 의미하며 이 Z 의 값을 초기값으로부터 update 시킴으로써 O 를 최소화시킨다. 본 연구에서는 $O < \epsilon = 10^{-6}$ 을 수렴조건으로 두었고, 최소화 과정을 위해 conjugate gradient법을 사용하였다.

그림 2(a)는 $\bar{n}-1 = 5$ 로 두고, SLL 목표값이 $-30dB$ 인 Bayliss 패턴 $F_D(z)$ 와 제안한 차패턴 $F_{DP}(z)$ 의 최적화된 크기를 보인 그림이다. 그림 2(b)



(a)



(b)

그림 2. 합성된 차패턴 ($\bar{n}=6$)과 분포함수
(a)합성된 차패턴 ($SLL=-30dB$),
(b)해당 분포함수

Fig. 2. Synthesized difference patterns ($\bar{n}=6$) and distribution functions.

(a)Synthesized difference patterns ($SLL=-30dB$),
(b)Corresponding distribution functions.

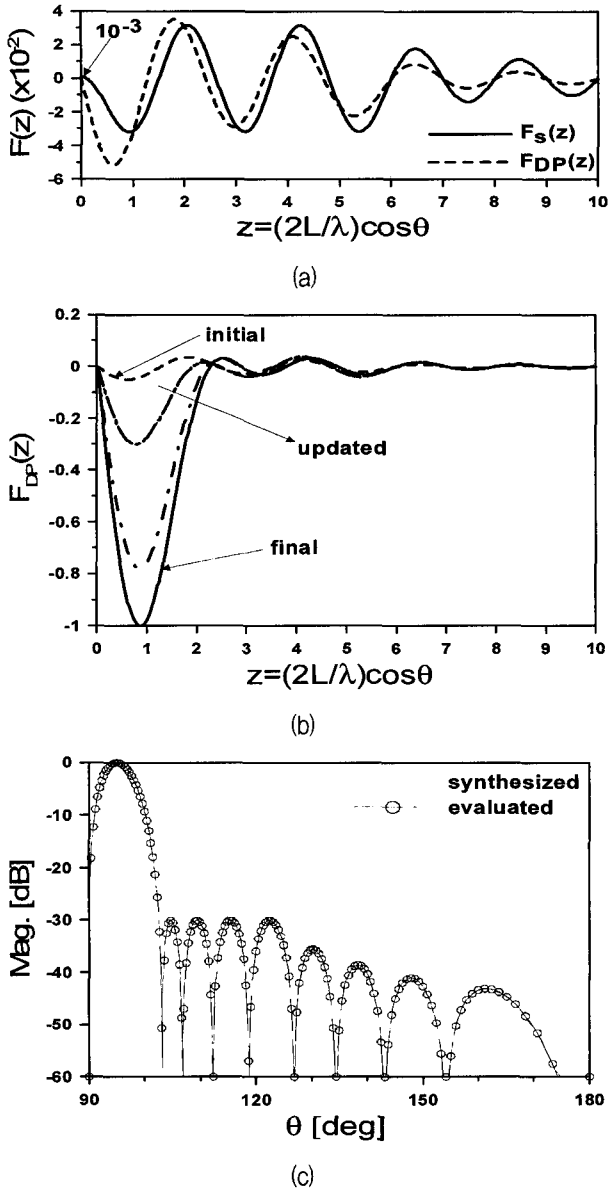


그림 3. 최적화를 위한 초기 패턴과 합성 결과 평가
 (a) 초기 패턴, (b) Update 과정, (c) 평가된 합성패턴
 Fig. 3. Initial pattern for optimization and evaluation of synthesized result.
 (a) Initial pattern, (b) Update process, (c) Evaluated synthesized pattern.

는 각각의 합성된 분포함수를 보인 그림이다. 이 그림들로부터 제안한 방법으로부터 합성된 차패턴은 broadside 방향 즉, $z=0$ 근처에서 주 빔의 경사각은 Bayliss 패턴과 거의 유사하지만, Bayliss 패턴과는 달리 $n \geq 6$ 인 경우 $z=n$ 에서 정확히 null점을 가지며, SLL 의 감쇠가 빠름을 알 수 있다. 그리고 해당 분포함수는 선전원 edge부인 $p = \pm \pi$ 에서 $g_{DP}(p) = 0$ 의 값을 가짐을 알 수 있다. 이를 고려하여 감쇠율 개선 정

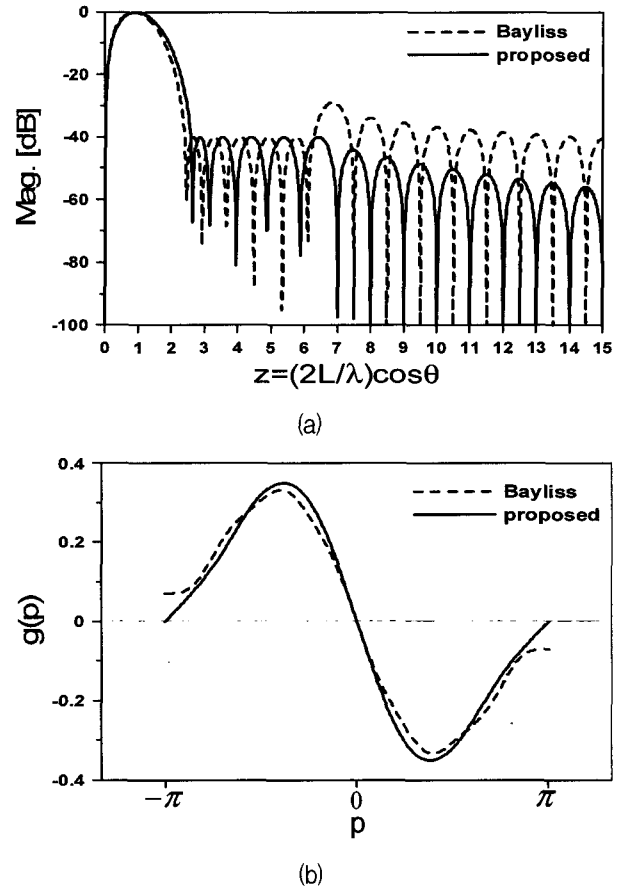


그림 4. 합성된 차패턴 ($\bar{n}=7$)에와 해당 분포함수
 (a)합성된패턴 ($SLL = -40dB$), (b)분포함수
 Fig. 4. Examples of synthesizing difference patterns ($\bar{n}=7$). (a)Synthesized patterns ($SLL = -40dB$), (b)Distribution functions.

도를 보이기 위해 패턴식의 기본형인 식(1)로부터 부분적분을 수행하여 적용시키면 패턴식은 다음과 같이 표현된다.

$$F_{DP}(z) = -j \frac{1}{z} \int_{-\pi}^{\pi} g'_{DP}(p) e^{-jpz} dp \quad (15)$$

여기서 적분내의 미분값 $g'_{DP}(p)$ 는 \cos 항으로 표현되므로 적분항은 Taylor 합패턴의 sidelobe 감쇠율 $1/z$ 을 가지게 되어 식(15)는 $1/z^2$ 의 감쇠율로 감쇠하게 된다.

그림 3(a)는 그림 2의 $F_{DP}(z)$ 합성을 위해 사용한 Taylor 패턴 $F_s(z)$ 와 식(10)의 초기 패턴을 도시한 것이다.

$F_s(z)$ 는 SLL 목표값을 $0.0316(-30dB)$ 으로, $\bar{n}-1=5$ 로 두고 최적화한 것이며, 이 때 식(4)에서 A 의 값을 매우 작은 값으로 설정하였다.

이는 식(10)에서 D_0 를 빼더라도 $F_{DP}(z)$ 의 초기 패

표 1. 도출한 분포함수의 계수들

Table 1. Coefficients of derived distribution functions.

	n	$-30dB$ ($\bar{n}=6$)	$-40dB$ ($\bar{n}=7$)
d_n ($\times 10^{-3}$)	1	-310.864	-316.378
	2	-40.159	-81.816
	3	-3.877	2.081
	4	6.153	0.6387
	5	-5.123	-1.289
	6		1.152
$F_D(n + \frac{1}{2})/\pi$ ($\times 10^{-3}$)	0	263.028	253.048
	1	153.720	188.940
	2	-8.306	-1.480
	3	1.868	1.800
	4	0.564	0.220
	5	-1.400	-1.782
6		7.936	

턴이 크게 변화하지 않도록 함으로써 수렴 속도를 개선시키는 역할을 한다. 이 초기 패턴으로부터 upgrade 되어 가는 과정을 그림 3(b)에 보였다.

그림 3(c)는 합성된 패턴과, 도출된 d_n 을 사용한 식 (13)을 식(1)에 대입하여 계산된 패턴을 비교한 것으로서 정확히 일치함을 볼 수 있다. 이 그림은 $2L=10\lambda$ 인 경우 가시영역(visible region)에서 비교한 것이다.

그림 4는 $\bar{n}-1=6$ 로 두고, SLL 을 $-40dB$ 인 경우의 최적 합성된 차폐턴과 해당 분포함수를, 최적화된 Bayliss 패턴과 비교한 그림이다. 실제로 Bayliss 패턴은 주 빔 근처의 SLL 이 낮아지면 $n \geq \bar{n}$ 의 범위에서 그림과 같이 비교적 큰 SLL 을 가지며 감소되는 특징을 가지지만^[5], 제안한 차폐턴 합성법은 boresight에서의 경사각에는 큰 영향을 주지 않으면서 상대적으로 낮은 sidelobe 레벨을 가지도록 하는 장점을 가짐을 알 수 있다.

표 1은 그림 2와 그림 4에서 합성한 차폐턴과 최적화된 Bayliss 패턴의 분포함수가 갖는 계수를 보인 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 선진원에 의한 차폐턴 합성법을 새로이 제안함으로써, boresight 근처에서의 패턴 경사각의 큰 변화 없이 기존의 Bayliss 패턴 보다 낮은 SLL 을

가지며, 선진원 edge 부에서의 전원 분포함수값이 0이 될 수 있도록 함으로써 sidelobe 감쇠율을 개선시켰다. 제안한 방법은 Taylor의 합패턴으로부터 차폐턴을 직접 계산할 수 있도록 하며, 샘플링법에 의해 차폐턴의 최적화와 해당 분포함수를 동시에 도출할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] R. J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook. Artech House, 1994.
- [2] R. C. Hansen, Array chapters in Handbook of Antenna Design. Vol. 2, A. W. Rudge, et al. Eds. Peter Peregrinus, 1983.
- [3] R. S. Elliott, Antenna Theory and Design. Prentice Hall, 1981.
- [4] E. T. Bayliss, "Design of monopulse antenna difference patterns for low sidelobes," Bell System Technical Journal, Vol.47, pp.623-650, June 1968.
- [5] R. S. Elliott, "Design of line-source antennas for difference patterns with side lobes of individually arbitrary heights." IEEE Trans. Antennas Propagat., vol AP-24, no. 3, pp. 310-316, May 1976.
- [6] R. C. Hansen, "Array pattern control and synthesis," Proceedings of IEEE, vol. 80, no. 1, pp. 141-151, Jan. 1992.
- [7] P. Lopez, J. A. Rodriguez, F. Ares, and E. Moreno, "Subarray weighting for the difference patterns of monopulse antennas: Joint optimization of subarray configurations and weights," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 49, pp. 1606-1608, Nov. 2001.
- [8] S. Caorsi, A. Massa, M. Pastorino, and A. Randazzo, "Optimization of the difference patterns for monopulse antennas by a hybrid real/integer-coded differential evolution method," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 53, no. 1, pp.372-376, Jan. 2005.
- [9] T. T. Taylor, "Design of line source antennas for narrow beamwidth and low sidelobes," IRE Trans. Antennas Propagat., vol. 3, pp.16-28, Jan. 1955.
- [10] R. E. Collin, Foundations for Microwave Engineering. McGraw-Hill, 1966.

저 자 소 개



박 의 준(정회원)

1983년 동아대학교 전자공학과 학사 졸업.

1986년 고려대학교 전자공학과 석사 졸업.

1990년 고려대학교 전자공학과 박사 졸업.

1990년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수

<주관심분야 : 전자장이론 및 안테나, 마이크로파 전송선로 및 회로설계 등>