2000년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제 19 권 제 2(s) 호

Monte-Carlo Simulation 과 Deterministic Simulation의 합성적 방법에 의한 배열소자 가중치에 따른 오차의 규정

최철민*, 이용범**, 김형동***
* 한양대학교 전자통신공학과,**한양대학교 전자통신전파공학과
***한양대학교 전자전기공학부

Decision of Error Tolerance in Weighted Array by Hybrid Method of Monte-Carlo Simulation and Deterministic Simulation

Choelmin Choi*, Yongbeum Lee**, Hyeongdong Kim***
* Dept. of Electronic Communication Eng., Hanyang Univ.
** Div. of Electronic Communication & Radio Science Eng., Hanyang Univ.
*** Div. of Electrical & Computer Eng., Hanyang Univ.

E-mail : hdkim@email.hanyang.ac.kr

◆ 본 연구는 '수중음향특화연구센터'의 지원으로 이루어졌습니다.

요약

본 논문에서는 Monte-Carlo simulation과 deterministic simulation을 합성한 방법으로 특성 허용 패턴을 만족하는 개별소자의 오차범위를 가중치에 따라 차별적으로 규정을 하였다. 일반적으로 사용되는 통계적인 방법은 불규칙한 특성을 갖는 랜덤오차를 정규분포를 갖는 랜덤변수로 모델링을 하여 허용 패턴으로부터 오차의 범위를 규정하는데, 이렇게 구해진 범위는 개별소자의 가중치의 영향을 고려하지 않고 일률적인 특성을 나타낸다는 단점이 있다. 이에 반해 deterministic simulation을 통해서 얻어진 오차의 범위는 가중치에 따라서 상대적인 범위를 결정할 수 있지만 해석 하고자하는 배열소자의 개수에 따라서 계산량이 지수승으로 증가하는 단점이 있어 10개 이상의 소자를 갖는 배열에는 적합하지 않다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 Monte-Carlo simulation과 deterministic simulation의 합성적 방법을 사용해서 배열소자의 증가에 따른 계산량의 증가를 줄이면서 각 가중치에 따라 상대적인 개별오차의 허용범위를 결정하였다. 그리고 이렇게 규정된 오차의 범위를 간단한 모의 실험을 통해서 검증하였다.

I. 서론

소나 배열에 있어서 빔패턴의 설계시 빔폭, 부엽준위, 지향성 등은 가장 중요한 배열 인자로써, 이들 변수들을 사용 목적에 알맞게 최적 합성법을

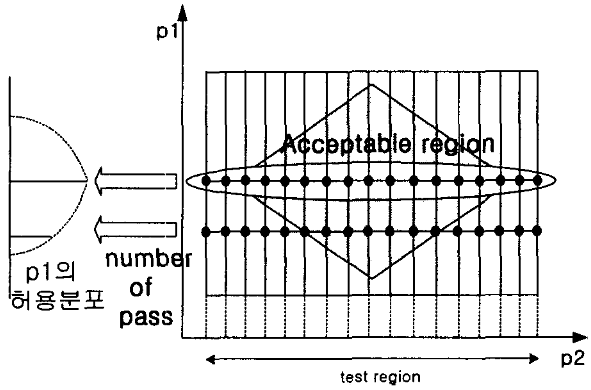
통해서 가중치를 부여하게 된다. 여기서 최적빔 합성의 가장 큰 전제는 모든 가중치가 정확히 유기된다는 것으로, 실제적으로 가중 회로를 설계하였을 때 연구실 수준에서 설계한 가중치의 값을 정확히 여기시키는 것은 힘들다[1]. 또한 양산용 배열 소자를 실장하게 되는 경우에는 소자 제조 공정상의 에러에 의해서 연구실 수준에서 고려한 것과는 다른 특성을 갖는 소자를 사용하게 되는 경우가 생기게 된다. 따라서 설계 빔 패턴으로부터 특성이 크게 벗어나지 않는 허용 빔패턴을 구현하기 위해서, 각 소자의 허용 오차의 범위를 규정하고 제작시 고려해 주는 것이 중요하다.

본 논문에서는 Monte-Carlo simulation과 deterministic simulation의 합성적 방법에 의해서 실험적으로 각 소자의 특성 허용 오차를 예측하였다. Ⅱ절에서는 기존의 해석 방법과 새로이 제시된 방법에 대해서 비교해 보고 Ⅲ절에서는 Ⅱ절에서 제시된 방법으로 허용오차의 범위를 규정하고, 마지막으로 Ⅳ절에서 모의실험을 통해서 허용범위를 7결정하였으며, Ⅴ절에서는 논문의 결론과 앞으로의 연구방향에 대해서 서술하였다.

Ⅱ. 합성적 해석 방법

오차는 일반적으로 확정 오차(deterministic error)와 랜덤오차(random error)가 있는데, 본 논문에서 다루고자 하는 것은 예측이 불가능하고 오차간의 상관 관계가 없는 랜덤오차이다. 이와 같이 불규칙한 특성을 갖는 랜덤오차의 경우 정규분포를 갖는 랜덤 변수로 모델링[2],[3] 해서 오차의 영향을 해석하고, 허용 패턴으로부터 오차의 범위를 규정하는 통계해석적 방법이 사용되어 왔다. 이 방법은 이론적인 모델링 방법으로 보편적인 적용이 가능하다는 장점이 있으나 개별소자의 가중치에 상관없이 일률적인 허용오차의 범위를 적용하게 되어서 실제적인 적용에는 문제가 발생하게 된다. 그리고 허용패턴의 기준도 최고 부엽 준위만을 기준으로 하기 때문에 주빔의 이득과 빔포인팅 오차 등을 고려하기는 어렵다는 단점이 있다. 이와는 달리 deterministic simulation은 가중치에 따라서 서로 다른 허용 오차의 범위를 규정 지을 수 있다는 장점이 있고, 다른 주요 배열 인자들의 개별적인 영향을 고려할 수 있다는 장점이 있지만 소자들이 가질 수 있는 모든 경우의 값들을 고려해서 simulation을 해야하므로 소자의 개수가 증가함에 따라서 계산량이 소자의 개수에 지수승으로 비례하는 simulation을 수행해야한다는 어려움이 생기므로 실제적인 적용에서는 6~10개를 넘는 소자를 갖는 경우에는 적용이 어렵다고 알려져 있다[4]. 이러한 결점을 보완하기 위해서 기존의 deterministic simulation과 Monte-Carlo simulation을 합성해서 사용하였다. 이 방법은 각각의 소자가 갖는 오차값의 모든 조합에 대해서 허용패턴과의 비교를 통해 오차의 범위를 구하는 것과는 달리 오차의 범위를 구하고자 하는 한 소자의 각각의 가중치에 대해서 다른 소자의 오차는 랜덤하게 발생시켜서 검사를 함으로써 지수승에 비례해서 증가하는 단점을 제거할 수 있고 비확정성질을 이용해서 어느 정도 큰 수행횟수(1000번)에서 타당성을 보장받을 수 있다.

두 개의 배열 소자만이 존재한다고 가정을 하고 설명을 한다면 다음과 같다. 소자 p1 값을 고정시킨 채로 다른 소자 p2의 값을 주어진 범위(test region) 내에서 랜덤(uniform -distribution)하게 발생을 시켜가면서 만족시키는 값을 구한 후 p1의 다음 값으로 옮기고 같은 방법으로 만족시키는 값을 구하는 방법으로 소자 p1의 허용분포를 구한다 <그림 1>. 같은 방법으로 소자 p2의 허용분포를 규정해 나간다.



<그림 1> 소자의 허용분포를 구하는 방법

$$\frac{\sum_i a_i | f_{desired}(\theta_i) - f_{designed}(\theta_i)|^2}{\sum_i | f_{designed}(\theta)|^2} < 3\% \qquad (1)$$

여기서, $f_{desired}(\theta_i)$: 설계패턴

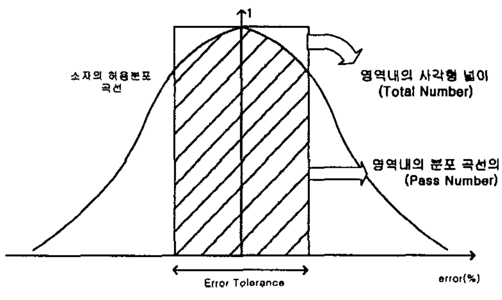
$f_{designed}(\theta_i)$: 오차를 포함한 패턴

전체 빔 패턴의 오차는 식 (1)과 같이 설계 빔패턴에서 전체적인 빔 패턴이 3%를 벗어나지 않는 것을 기준으로 하고 이를 벗어나지 않는 각 소자의 분포를 구하였고 가중치 a_i를 조절함으로써 부엽준위와 주빔부분등 원하는 부분에 대한 허용오차를 구할 수 있다.

III. 허용오차의 범위 규정

II절에서 제안된 방법으로 각 소자의 오차 허용분포에 대해서 기대되는 통과확률을 만족하는 오차의 범위를 구하기 위해서 다음과 같은 방법을 제시한다.

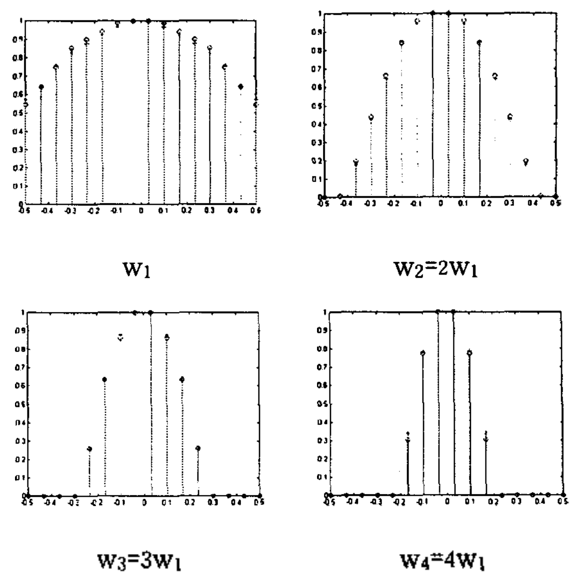
II절에서 구해진 허용분포에서 허용오차의 범위를 조절하면서 허용분포 곡선의 면적과 총 수행횟수 곡선 면적의 비가 원하는 확률과 동일한 범위를 찾음으로써 우리가 기대하는 확률에 대한 허용범위를 규정지을 수 있다. <그림 2>



<그림 2> 허용 오차의 범위 규정 방법

IV. 모의 실험

II절과 III절에서 언급된 방법으로 가중치를 1:2:3:4의 비율로 갖는 4개의 소자를 갖는 1차원 배열 안테나에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 우선 II절에서 언급된 방법의 타당성을 검증하기 위해서 deterministic한 방법으로 얻어진 허용분포 곡선과 합성적 방법으로 구해진 허용분포 곡선을 비교하였다 <그림 3>. 모의실험 시행은 deterministic simulation의 경우 16^4번의 simulation을 수행하였고 합성적 방법의 경우엔 64*500번의 수행을 하였다.



(o : deterministic , * : 합성적 방법)

<그림 3> 두 방법의 허용 분포 곡선의 비교

위에서 볼 수 있듯이 방법적인 차이에 의한 두 곡선의 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 위의 방법으로 얻어진 허용분포 곡선은 신뢰성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 이렇게 얻어진 곡선으로부터 III절의 방법으로 허용오차의 범위를 규정하였을 경우 <표 1>과 같은 범위를 얻을 수 있었다.

weight	통과확률 95%를 만족하는 error tolerance (%)
W1	30.5
W2	18.34
W3	11.52
W4	8.53

<표 1> 통과확률 95%를 만족시키는 error tolerance

위의 표에서 각 소자의 error tolerance는 소자

들의 가중치가 커짐에 따라서 줄어듦을 알 수가 있다.

V. 결론

본 논문에서는 전체적인 빔패턴의 영향을 고려하여 소자의 가중치에 따라 차별적인 허용 오차의 범위를 규정하기 위해서 기존에 쓰이던 deterministic simulation과Monte-Carlo simulation의 합성적 방법을 제시하였다. 제안된 기법은 더 적은 계산량 및 수행시간으로 타당한 허용오차를 얻을 수 있다는 장점이 있고, 이를 모의 실험을 통해서 검증하였다. 이러한 장점은 많은 수의 소자를 갖는 어레이의 해석에 적용할 경우 유용할 것으로 생각이 된다. 앞으로 실제의 소나 어레이에 적용하기 위해서 2차원 구조에 대한 해석과 주어진 허용분포로부터 진폭과 위상오차의 상관관계를 연구하는 방법들이 연구되어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] W. F. Richards and Y. T. Lo, "Antenna pattern synthesis based on optimization in probabilistic sense," *IEEE Trans. Antenna Propag.*, vol. AP-23, pp. 165-172, 1975.

[2] J. K. Hsiao, "Design of error tolerance of a phased array," *Elect. Letters,* vol. 21, no. 19, pp.834-836, sept. 1985.

[3] R. J. Mailoux, *Phased Array Antenna Handbook.*, Artech House, 1994.

[4] R. Spence, *Tolerance Design of Electronic Circuits,* Addison-Wesley, 1988.