

적응배열 시스템에서 빔 지향 오차 수정기법에 대한 연구

이 명 호*

A Study on the Beam Steering Error Modification method to Adaptive Array System

Myung-Ho Lee*

요 약

무선채널에서는 다중경로성분으로 인하여 간섭성분이 존재한다. 이러한 간섭성분을 제거하는 적응 배열 안테나는 간섭신호에 대해서는 영점을 형성하고 표적신호에 대해서는 이득을 최대화 시킨다. 표적신호와 상관도가 있는 코히런트 간섭신호가 입사된다면 배열출력에서 표적신호까지 제거시키는 문제점이 있다. 그리고, 적응배열안테나는 지향오차에 민감한 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 코히런트간섭에 대한 지향오차를 해결하기 위한 기존 알고리즘을 각각 소개하고 그 문제점을 분석하여 자유도의 손실을 최소화하면서 코히런트 간섭과 지향오차를 감소시키는 빔 형성 기법을 제안하였다.

Abstract

Wireless channel exists interference by multipath a component. Adaptation array antenna that remove this interference a component forms null point about interference signal and maximizes gains about target signal. If target signal and correlative coherent interference signal are received, there is problem that is removed from arrangement output to target signal. And, adaptation array antenna is shortcoming that is sensitive in directivity error. Therefore, in this paper, introduce each existing algorithm to solve directivity error about coherent interference, and proposed beam forming technique that minimize degree of freedom loss and damage because analyzes the problem and reduces coherent interference and directivity error.

▶ Keyword : SPT-LCMV, SPT-SALCMV, Adaptive Array, RADAR

• 제1저자 : 이명호
• 접수일 : 2008. 4. 13, 심사일 : 2008. 6. 17, 심사완료일 : 2008. 7. 25.
* 청주대학교

1. 서론

무선통신시스템에서는 간섭성분으로 인하여 시스템 성능이 감소한다.[1] 레이더는 적의 목표물을 정확히 탐지하고 추적해야 한다. 레이더에 관련된 연구는 지금까지 많은 연구가 진행되어왔으며[2][3][4], 본 논문에서는 추적 정확도를 높이기 위하여 빔 지향 오차 수정기법에 대해서 연구를 하였다.

적응 배열 안테나는 간섭신호의 방향에 대해서는 널 패턴(Null pattern)을 형성하여 이득을 감소시키고 표적신호의 방향으로는 빔 패턴의 이득을 일정하게 유지시킴으로서 원하는 신호를 추출한다.[5][6][7] 그러나 표적신호와 상관도가 있는 코히런트 간섭신호가 입사된다면 배열출력에서 표적신호까지 제거시키는 문제점이 있다. 그리고, 적응배열안테나는 지향오차에 민감한 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 코히런트간섭에 대한 지향오차를 해결하기 위한 기존 알고리즘을 각각 소개하고 그 문제점을 분석하여 자유도의 손실을 최소화하면서 코히런트 간섭과 지향오차를 감소시키는 빔형성 기법을 제안하였다.

Duvall[8]은 주 빔형성기와 종속 빔형성기로 구성된 이중의 빔형성기로 관심신호와 간섭신호를 분리한 후 가중치를 획득하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 두 개 이상의 코히런트 간섭신호가 입사할 경우 사용될 수 없다.

Evan[9]은 다수의 코히런트 간섭신호를 제거하기 위해 공간평활(spatial smoothing)알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 전체 배열을 몇개의 부배열로 나누고, 각 부배열에 대하여 순차적으로 가중치를 적용시켜 코히런트 간섭신호를 제거하는 방법이다. 이 방법은 선형 배열에서만 적용 가능하다.

Yeh[10]는 비선형 배열에서 사용할 수 있는 방법으로 코히런트 간섭신호의 입사각을 추정한 후 추정된 입사각에 널 패턴을 형성시키고, 배열 출력신호의 전력을 최소화시키는 MCMV(multiply constrained minimum variance)빔형성기법이 제안되었다. MCMV빔형성기법은 비선형 배열에 적용될 수 있으나, 추적 입사각과 실제 간섭신호의 입사각에 오차가 발행 할 경우 간섭신호를 효과적으로 제거 할 수 없다.

Lu[11]는 SPT-LCMV(spilt polarity transformation-Line arly constrained minimum variance)빔형성 기법을 제안하였다. SPT-LCMV빔형성기는 코히런트 간섭신호의 입사방향을 별도로 추정할 필요없이 임의로 설정된 표본입사각의 지향벡터로 제한행렬을 구성하여 SPT행렬을 얻는다. SPT행렬을 이용하여 표적신호와 코히런트 간섭신호 간의 상관도를 제거한 공분산 행렬을 얻을 수 있기 때문에 코히런트 간섭신호가 존재하여도 LCMV(Line arly constrained minimum

variance)빔형성기에 적용하여 출력에서 표적신호를 추출할 수 있다. 설정된 표본 입사각의 범위내에 실제 코히런트 간섭신호의 입사각이 포함되어야 하므로, 표본 입사각은 넓은 범위에 분포되어야 한다. 따라서, 표본 입사각의 개수가 증가할 수록 코히런트 간섭신호의 입사각을 포함할 확률은 증가하지만, 배열소자수가 증가하는 단점이 있다.

또한, 표본 입사각과 실제 코히런트 간섭신호의 입사각과 오차를 보상하기 위해 제한행렬에 고차 제한조건을 첨가하므로 필요한 배열 소자수는 더욱 증가되어 자유도를 감소시킨다.

본 논문에서는 코히런트간섭을 감소시키는 변형된 SPT-LCMV 알고리즘을 제안하고, 제안된 알고리즘으로 빔 지향에 적용시켜 지향오차를 감소시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 빔형성과 지향오차 대해서 서술하고, III장에서는 표적의 방향을 정확히 추정할 수 있는 지향 오차 수정 기법을 제안하였다. IV장에서는 모의실험을 하여 알고리즘을 분석하였고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 빔 형성과 지향 오차

2.1 SPT-LCMV 빔형성기

SPT-LCMV 빔형성기는 표적신호의 입사방향으로 일정한 이득을 유지하면서 출력신호의 전력을 최소화하여 최적 가중치를 추정한다. 수신신호에 원하는 이득과 위상을 가지도록 하는 조건을 만족하면서, 출력전력을 최소화 하도록 하는 방법이다. 즉 constraint를 만족하면서, 출력전력을 최소화하는 가중치를 찾는 것이다. 그림1은 적응배열 안테나의 디지털 빔 형성기이다.[12]

그림1에서 N 개의 배열소자에 원하는 신호 $s_0(t)$ 와 k 개의 간섭신호가 입사한 수신신호는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$x(t) = A(\theta)s(t) + n(t) \dots\dots\dots (2.1)$$

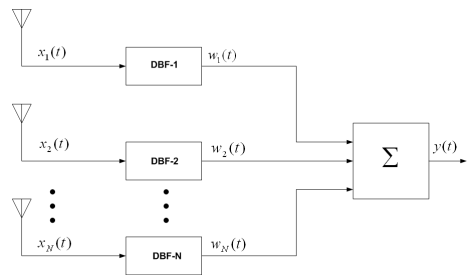


그림 1. 적응배열 디지털 빔 형성기
Fig 1. Adaptive Array Digital Beam forming

여기서 $s(t)$ 는 신호벡터, $A(\theta)$ 는 배열 소자 벡터, $n(t)$ 는 백색잡음으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = [s_0(t), s_1(t), \dots, s_p(t)]^T \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A(\theta) = [a(\theta_0), a(\theta_1), \dots, a(\theta_p)] \dots\dots\dots (2.3)$$

$$n(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서, T 는 전치행렬, $a(\theta_i)(i=1,2,\dots,l)$ 는 신호 $s_i(t)$ 의 지향벡터, $n_j(t)(j=1,2,\dots,N)$ 는 j 번째 배열 소자에서의 백색잡음을 나타낸다. 이때, 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = w^H x(t) \dots\dots\dots (2.5)$$

배열 출력의 신호전력은 다음과 같이 나타낸다.

$$E[|y(t)|^2] = w^H R_{xx} w \dots\dots\dots (2.6)$$

여기서 R_{xx} 는 배열 입사신호의 공분산 행렬로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{xx} = E[x(t)x^H(t)] \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2 지향 오차 기법

지향오차란 배열 자체의 결함이나 부정확한 입사각 추정으로 주빔이 실제 표적신호의 입사방향을 정확히 지향하지 못하는 현상을 나타낸다. 지향오차가 발생할 경우 적응배열안테나는 원하는 신호방향에 정확히 주빔을 형성하지 못하므로 좋은 성능을 얻을수 가 없다. 이때, 주빔의 방향을 조금씩 변화시켜가면서 배열 출력신호의 전력을 반복적으로 검사하여 최적가중치를 획득하는 지향오차 수정기법을 이용하면 빔 지향 오차를 감소시킬 수 있다. 빔형성의 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{opt} = \frac{R_{xx}^{-1} a(\theta_0)}{a^H(\theta_0) R_{xx}^{-1} a(\theta_0)} \dots\dots\dots (2.8)$$

배열 출력신호 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(w_{opt}) = \frac{1}{a^H(\theta_0) R_{xx}^{-1} a(\theta_0)} \dots\dots\dots (2.9)$$

지향오차가 존재할 경우 배열 출력신호의 전력은 최대가 아니므로 지향방향을 변화시켜가면서 출력신호의 전력이 최대가 되는 방향을 반복적으로 추정한다. 따라서, 식(2.9)을 최대화시키기 위하여 분모를 최소화시키는 지향벡터를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\arg \min_{a(\theta_0)} a^H(\theta_0) R_{xx}^{-1} a(\theta_0) \dots\dots\dots (2.10)$$

초지향방향 과 최종지향방향 간의 오차가 δ_ϕ 로 미소한 경우 배열의 초지향방향이 ϕ_0 이면, 테일러 급수를 이용하여 최종지향벡터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\theta_0) = a(\phi_0 + \delta_\phi) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$= a(\phi_0) + \delta_\phi a_1(\theta_0) \dots\dots\dots (2.12)$$

여기서 $a_1(\theta_0)$ 는 다음과 같다.

$$a_1(\theta_0) = - \left. \frac{da(\phi)}{d\phi} \right|_{\phi = \phi_0} \dots\dots\dots (2.13)$$

식(2.10)과 식(2.12)을 이용하여 지향오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_\phi = - \frac{Re[a^H(\phi_0) R_{xx}^{-1} a_1(\phi_0)]}{a_1^H(\phi_0) R_{xx}^{-1} a_1(\phi_0)} \dots\dots\dots (2.14)$$

식(13)을 초기 지향벡터와 더하여 표적신호의 입사방향을 구하면 다음 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_0 = \phi_0 + \delta_\phi \dots\dots\dots (2.15)$$

III. 제안 지향오차 수정 기법

지향오차 수정기법은 지향오차가 발생할 경우, 배열의 주빔이 초기에 표적신호의 입사방향을 정확히 지향하지 못하므로 출력신호의 전력을 관찰하면서 주빔의 방향을 조금씩 변화시켜 정확한 지향 방향을 찾는다. 그러나, 코히런트 간섭신호가 입사하면 코히런트 간섭신호에 의해 표적신호가 상쇄되므로 지향오차 수정기법을 사용 할 수 없다. 그래서 본 논문에서는 코히런트 간섭에 의한 신호왜곡과 지향오차를 해결하기 위하여 SPT-LCMV 빔형성기와 지향오차수정기법을 결합하는 방법을 제안한다. 제한행렬 \hat{A} 를 구성하는 표본입사각과 코히런트 간섭신호 사이에 오차가 존재하면 빔 형성기의 성능은 크게 저하되므로, 고차제한조건을 이용하여 입사각의 범위를 증대시키면 실제 값과 임의로 설정된 값 사이에 발생하는 오차를 보상 할 수 있다. 고차 제한조건을 적용한 제한행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{A} = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\theta_1), \dots, a(\hat{\theta}_g), a^1(\theta_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \dots \dots \dots (3.1)$$

여기서 g 는 임의로 설정한 표본 입사각 개수이고, $a^D(\hat{\theta}_g)$ 는 각각 θ_g 방향의 지향벡터에 대한 D 차 미분을 의미한다. 미분차수가 D 인 고차 제한조건을 사용할 경우, 전체 제한행렬 \hat{A} 는 표본입사각수 만큼의 부분제한행렬로 나타낼 수 있다.

$$\hat{A}_{1,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\hat{\theta}_1), \dots, a^D(\hat{\theta}_1)] \dots (3.2)$$

$$\hat{A}_{2,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_2), a^1(\hat{\theta}_2), \dots, a^D(\hat{\theta}_2)] \dots (3.3)$$

⋮

$$\hat{A}_{g,n} = [a(\phi_n), a(\hat{\theta}_g), a^1(\hat{\theta}_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \dots (3.4)$$

이경우 SPT행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_i(\phi_n) = \hat{A}_i J A_i^H \dots \dots \dots (3.5)$$

여기서 $i=1,2,\dots,g$ 이고, J 는 D 행, D 열차원의 대각행렬이다. 첫 번째 표본입사각으로 이루어진 부분제한행렬 \hat{A}_1 으로부터 생성된 위상이 반전된 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{zzi} = T_i(\phi_n) R_{xx} T_i(\phi_n)^H \dots \dots \dots (3.6)$$

본 논문에서 제안한 방식으로 원하는 신호와 간섭신호 간의 상관도를 제거한 입력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{R_{xxzzi}} = \frac{1}{2}(R_{xx} + R_{zzi}) \dots \dots \dots (3.7)$$

이때 최적 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{ospt} = \frac{\overline{R_{g,n}^{-1}} a(\phi_n)}{a^H(\phi_n) \overline{R_{g,n}^{-1}} a(\phi_n)} \dots \dots \dots (3.8)$$

지향오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_\phi = - \frac{Re[a^H(\phi_n) \overline{R_{g,n}^{-1}} a_1(\phi_n)]}{a_1^H(\phi_n) \overline{R_{g,n}^{-1}} a_1(\phi_n)} \dots \dots \dots (3.9)$$

식(3.9)을 초기 지향벡터와 더하여 표적신호의 입사방향을 구하면 다음 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_{n+1} = \phi_n + \delta_{\phi_n} \dots \dots \dots (3.10)$$

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 무선채널에서 코히런트 간섭신호가 존재할 때 제안된 SPT-SALCMV 빔형성기법과 기존의 방법으로 빔 지향 오차 비교 분석하였다. 모의실험에서 배열 안테나 소자는 19개의 사용하였고, 배열간격은 1/2파장인 균일 선형 배열 안테나를 고려하였다. SPT-SALCMV 빔형성기에서 빔을 정확히 지향하기 위해서 제한 행렬에 2차 미분을 적용하였고, 방사각을 10o, 20o, 30o를 설정하였다. 그림2는 본 논문에서 제안된 알고리즘으로 10o, 20o, 30o에서 정확하게 빔 패턴이 방사되었다. 그러나 그림3은 기존의 알고리즘을 사용하여 10o, 20o, 30o에서 빔 패턴을 나타내었지만, 약 30의 빔조향 오차가 생겼다. 본 논문에서 제안된 SPT-SALCMV 알고리즘의 빔 패턴은 빔 방향을 정확히 조향하지만, 기존의 알고리즘은 약 30 정도의 빔조향 오차가 생겼다. 따라서 본 논문에서 제안한 SPT-SALCMV 알고리즘이 기존의 SPT-LCMV 알고리즘보다 우수함을 입증하였다.

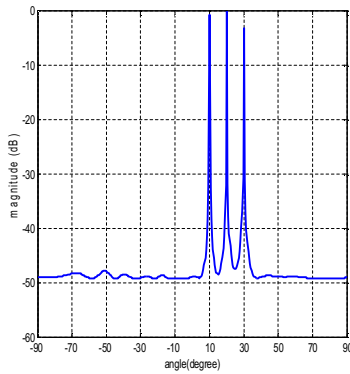


그림 2. 제안 SPT-LCMV 빔 조향 방사
Fig 2. Beam Steering Pattern of Proposed SPT-LCMV

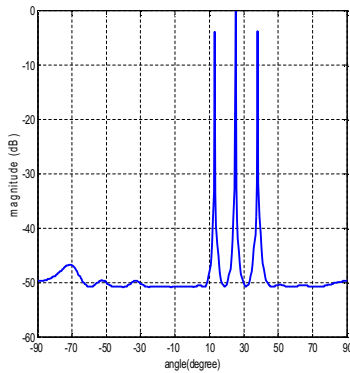


그림 3. SPT-LCMV 빔 조향 방사
Fig 3. Beam Steering Pattern of SPT-LCMV

V. 결론

본 논문에서는 코히런트간섭에 대한 지향오차를 해결하기 위한 기존 알고리즘을 각각 소개하고 그 문제점을 분석하여 자유도의 손실을 최소화하면서 코히런트 간섭과 지향오차를 감소시키는 빔 형성 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 변형된 SPT-LCMV 알고리즘으로 코히런트간섭을 감소시키고, 빔 지향에 오차에 적용시켜 지향 오차를 감소시킴으로서 목표물에 대한 추적 정확도를 증가 시켰다.

코히런트 간섭신호가 입사하면 코히런트 간섭신호에 의해 표적신호가 상쇄되므로, 제한행렬을 구성하는 표본입사각과 코히런트 간섭신호 사이에 오차가 존재하여 빔 형성기의 성능은 크게 저하되어 지향오차 수정기법의 성능이 크게 감소된

다. 그래서 본 논문에서는 코히런트 간섭에 의한 신호왜곡과 지향오차를 해결하기 위하여 SPT-LCMV 빔형성기와 지향오차수정기법을 결합한 SPT-SALCMV(spilt polarity transformation-Line arly constrained mini mum variance)빔형성 알고리즘 방법을 제안하였다. 고차제한조건을 이용하여 입사각의 범위를 증대시키면 실제 값과 임의로 설정된 값 사이에 발행하는 오차를 보상 할 수 있다. 다중경로 환경에서는 재밍신호나 클러터 등에 의해서 신호상관도가 높은 코히런트 간섭신호가 존재한다. 향후 이와같은 환경에서의 잡음, 클러터, 간섭 등에 대한 연구가 지속되어야 한다고 사료된다.

참고문헌

- [1] C.C.Y도, W.D.Wan, "Coherent interference suppression by an antenna array of arbitrary geometry", IEEE Trans. Antenna Propag. Vo. AP-37, pp.1317-1322, Oct, 1989.
- [2] David K. Barton, Modern Radar System Analysis, Artech House, Inc, Norwood., 2004
- [3] F.Vincent and O.Besson, "Estimating time - varying DOA and Doppler shift in radar array processing", IEE Proc.-Radar: Sonar Navig., Vol. 147, No. 6, December 2000
- [4] MATI WAX AND THOMAS KAILATH, "Detection of Signals by Information Theoretic Criteria", IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, VOL. ASSP-33, NO. 2, APRIL 1985
- [5] 이관형, 김학운, 송우영, "가중치를 이용한 CDMA 시스템 성능분석", 한국컴퓨터정보학회 제11권 제3호, pp.213-220, 7월, 2006.
- [6] 이관형, 이사원, "스마트 안테나를 이용한 CDMA 시스템 성능분석", 한국컴퓨터정보학회 제4권 제3호, pp.101-113, 9월, 1999.
- [7] 이관형, 이명호, "다중경로 페이딩 채널에서 멀티캐리어 코드분할다중접속시스템 성능분석", 한국컴퓨터정보학회 제11권 제3호, pp.271-280, 7월, 2006
- [8] B.Widrow, "Signal cancellation phenomena in adaptive antennas: causes and cures", IEEE Trans. vo. AP-30, No.3, pp.469-478, May 1982

- [9] J.E.Evans, J.R.Johnson, and D.F.Sun, "Applications of advanced signal processing techniques to angle of arrival estimation in ATC navigation and Surveillance system", Lincoln Laboratory, MIT, Lexington, MA, Tech. Rep. 582, Jun.1982
- [10] C.C.Yeh, W.D.Wang, "Coherent interference suppression by an antenna array of arbitrary geometry", IEEE Trans, Vol.AP-37, pp.1317-1322, Oct.1989
- [11] M.Lu and Z.He, "Adaptive beam forming using split-polarity transformation for coherent signal and interference," IEEE Trans, Antennas Propag, vol.41, No.3, pp.314-324, Mar, 1993
- [12] Edmond Nicolaou, "Adaptive Arrays", 1989, ELSEVIER

저 자 소 개



이 명 호(Myung-Ho Lee)
1979년 2월 : 광주대학교 전자통신
과 (공학사)
1981년 2월 : 연세대학교 전자공학
과(공학석사)
1991년 2월 : 연세대학교 전자공학
과(공학박사)
1984년 3월~ 현재 :
청주대학교 전자정보공학부 교수
관심분야 : 위성통신, 데이터통신,
Ad-Hoc