

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.137

JIIBC 2013-2-18

## 공간 영역 신호에서 다중 빔 형성을 이용한 목표물 추정 방법에 대한 연구

### A Study on Target Incident Signal Estimaion Technique of spatial Spectrum in Wireless Network System

이관형\*, 송우영\*\*, 이명호\*\*

Kwan-Hyeong Lee, Woo-Young Song, Myeong-Ho Lee

**요 약** 도래 방향 추정은 공간상에서 안테나에 수신된 원하는 신호의 입사 방향을 추정하는 것이다. 본 논문에서는 레이더에서 다중 빔 형성을 이용하여 신호 도래 방향을 추정하였다. 신호 도래 방향의 추정방법으로 본 논문에서는 빔 조향 제안 알고리즘과 공간 상관 행렬 가중치를 이용하였다. 모의실험을 통하여 본 연구에서 제안된 알고리즘 성능을 기존 알고리즘과 비교분석하였다. 목표물 도래방향 추정에서 본 연구에서 제안한 방법이 고유치 전개를 하지 않기 때문에 처리시간 단축에서 효과적이다. 본 연구에서 제안한 방법이 목표물 추정에서 기존 알고리즘보다 우수함을 나타내었다

**Abstract** Direction of arrival is estimating for desire signal direction among received signal on antenna in spatial. In this paper, we were an estimation a receiving signal direction of arrival using multi beam forming in radar. We proposed, by signal direction of arrival estimation method, an algorithm which combine spatial correlation matrix weight value and beam steering algorithm in this paper. Through simulation, we were analysis a performance to compare general algorithm and proposal algorithm. In direction of arrival estimation, proposed algorithm is effectivity to decrease processing time because it is not doing an eigen decomposition. We showed that proposal algorithm improve more target estimation than general algorithm.

**Key Words** : SPT-LCMV, DoA, Array Antenna, Beam Steering

## 1. 서 론

도래 방향 추정은 여러개의 센서로 구성된 배열 안테나에 수신된 신호들의 입사 방향을 추정하는 방법이다. 소나(sonar), 레이더(radar), 지진파(seismic), 의료공학 등 많은 분야에 적용되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 도래 방향 추정능력의 우수성은 분해능(resolution), 추정오차(estimate bias),

일관성(consistency)으로 구분된다. 도래방향 추정 알고리즘의 분류는 고전적인 방법, parametric방법, nonparametric방법 등이 있다<sup>[3,4]</sup>. 본 논문에서는 디지털 빔 형성기의 공분산 행렬 가중치와 빔 조향 알고리즘을 제안하고 다중 빔을 형성하여 목표물의 도래방향을 추정하고자 한다.

목표물을 추정하기 위해서 레이더 적용되는 기술은

\*정회원, 대전대학교 통신공학과

\*\*정회원, 청주대학교 전자공학과

접수일자 : 2012년 10월 18일, 수정완료 : 2013년 2월 11일

게재확정일자 : 2013년 4월 12일

Received: 18 October 2012 / Revised: 11 February 2013 /

Accepted: 12 April 2013

\*Corresponding Author: khlee@daejin.ac.kr

Dept. of Communication Engineering, Daejin University, Korea

다양한 방식이 있으며 지금 까지 많은 연구가 되어왔다. 목표물을 추정하기위해 초기에 적용된 기술은 지표면 반사로 형성되는 다중경로 널 현상을 이용하는 방식과 기계적으로 빔을 조향하는 방식이 연구되었다<sup>[5]</sup>. 빔 스윙칭 기술로서 접시형 안테나를 사용하는 원뿔 조향 방법으로 안테나 중심축 위 아래 두개로 분리된 동일한 수신빔을 형성시켜, 2개 빔을 스윙칭하면서 관측된 신호의 진폭을 동일하게 하여 목표물을 정확하게 안테나 중심축에 유지할 수 있는 방법을 연구하였다<sup>[6,7]</sup>. 최근에는 현재는 대부분 이격 각도 측정에는 모노펄스 기술이 적용되고 있다. 목표물의 거리, 방위각, 및 고각 정보를 동시에 획득할 수 있는 방법으로 모노펄스 기법을 이용한 빔 조향방법이 연구되고 있다<sup>[8,9]</sup>. 일반적으로 고각과 방위각에 빔 조향방식을 채택한 레이더를 3차원 레이더라고 한다. 본 논문에서는 목표물 추정 알고리즘을 개발하여 디지털 빔 형성레이더에 빔 조향 방식을 적용하고, 공간 방향으로 다중 빔을 형성하여 정보를 추정한다. 안테나는 배열의 각 소자 안테나에서 여기 전류의 위상을 변화시켜 공간을 통해 방사하는 적용 위상 배열 안테나를 사용한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 신호 모델에 대해서 서술하고, III장에서는 다중 빔 형성 추정 알고리즘에 대해서 제안하였다. IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교분석하였고, V장에서는 결론을 맺었다.

## II. 안테나 가중치 오차 보정신호

일반적인 빔 형성기에서는  $m$  번째 센서의 출력의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m x_m(t + \tau_m) \quad (1)$$

일반적인 빔 형성방법은 원하는 방향에 대해서 지연 시간을 보상해 줌으로써 방향의 신호 성분을 크게 해주고 다른 방향의 신호 성분이나 잡음 성분의 영향을 작게 함으로써 출력 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)을 향상시킨다.  $m$  번째 센서의 지연시간을 보상해 준 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t + \tau_m) = \sum_{i=1}^K s_i(t + \tau_m) e^{-j\omega_0 \tau_{i,m}} + N_m(t - \tau_m) \quad (2)$$

여기서,  $\tau_{i,m}$  는  $i$  번째 수신신호의  $m$  번째 센서에 대한 지연시간으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{i,m} = (m-1)(d/c)\sin\theta_i \quad (3)$$

출력  $y(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m \left[ \sum_{i=1}^K s_i(t) e^{j\omega_0(\tau_i - \tau_{i,m})} + N_m(t - \tau_m) \right] \quad (4)$$

만약,  $w_m = 1$  이면 식(4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = M s_{i_0}(t) + \sum_{m=1}^M \left[ \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq i_0}}^K s_i(t) e^{j\omega_0(\tau_m - \tau_{i,m})} + N_m(t - \tau_m) \right] \quad (5)$$

빔 형성기의 출력 신호대 잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t)_{SNR} = \frac{ME[s_{i_0}(t)^2]}{\sigma^2} \quad (6)$$

빔형성기의 출력을 벡터 행렬로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = Z^H x(t) \quad (7)$$

$$Z = [w_1^*, w_2^* e^{j\omega_0 \tau}, \dots, w_M^* e^{j\omega_0(M-1)\tau}]^T \quad (8)$$

여기서, \*는 복소공액을 나타낸다. 출력에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_E = Z^H R Z \quad (9)$$

여기서  $R$ 은 공분산행렬로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = ASA^H + \sigma^2 I \quad (10)$$

여기서,  $S$ 는 신호 상관 행렬이고,  $I$ 는 단위 행렬이다. 신호 상관 행렬은 수신 신호사이에 상관 관계가 없으면 대각 행렬, 부분 상관관계 있으면 정칙행렬(nonsingular), 완전 상관관계가 있으면 비정칙(singular)행렬이 된다. 계수  $w_m = 1$ 로 한 경우 센서의 이득이 1인 균일한 경우를 일반적인 공간스펙트럼 추정기법이며 이때 계수 벡터를  $a(\theta)$ 라 하면 식(10)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\theta) = [1, e^{-j\omega_0\tau}, \dots, e^{-j\omega_0(M-1)\tau}]^T \quad (11)$$

$$A = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_K)] \quad (12)$$

$A$ 는  $M \times K$ 의 방향벡터로 배열응답 벡터를 나타낸다.  $a(\theta)$ 는 조향벡터라고 하며 임의의 방향으로 빔 조향을 나타낼 수 있다. 임의의 방향으로 주엽을 형성하는 역할을 하게 된다. 출력 전력 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{SE}(\theta) = a(\theta)^H R a(\theta) \quad (13)$$

### III. 다중 빔 도래 방향 추정 알고리즘

그림 1에서  $\theta$ 방향으로 입사되는 안테나 소자들의 경로차이는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$\delta(\theta) = dsin(\theta) \quad (14)$$

여기서  $d$ 는 안테나 소자 간격이고, 근접한 소자들간의 입사 신호 위상차이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\phi(f, \theta) = \frac{-2\pi f dsin(\theta)}{c} \quad (15)$$

서로 다른 안테나 소자에 입사되는 신호의 크기는 같

고, 채널의 위상과 크기가 보정된 신호의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_1(f, \theta) = \frac{1}{\sqrt{N}} e^{-j\psi} \begin{bmatrix} e^{-j\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \\ e^{-2j\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \\ \vdots \\ e^{-Nj\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

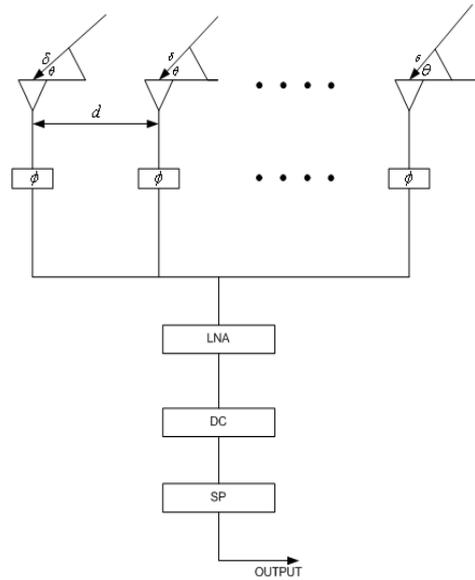


그림 1. 위상 배열 안테나 시스템  
Fig 1. Phase Array Antenna system

여기서,  $\psi$ 는 신호의 절대위상을 나타낸다. 안테나 소자의 이득함수 영향을 고려한 보정된 신호는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$z_2(f, \theta) = \frac{[\cos(\theta)]^{0.5}}{\sqrt{N}} e^{-j\psi} \begin{bmatrix} e^{-j\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \\ e^{-2j\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \\ \vdots \\ e^{-Nj\frac{2\pi f dsin(\theta)}{c}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

일반적으로 배열안테나는 중심축(boresight)이 기울어진 상태로 설치되어 있다. 왜냐하면, 중심축에서 방사 빔이 최대이득을 갖기 위해서이다. 안테나 좌표계에서

입사각 $\theta$ 와 안테나 최대빔 위치번호  $k$  사이의 관계식은 다음과 같다.

$$k = N \frac{d}{\lambda} \sin \theta \quad (18)$$

여기서,  $k = -N/2, \dots, 0, \dots, N/2 - 1$  이고,  $d$ 는 안테나 소자간격,  $\lambda$ 는 파장,  $\theta \equiv \theta_c$  이다.

$$\theta_c = \sin^{-1} \left( \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{k}{N} \right) \quad (19)$$

안테나 틸팅 각도는 중심주파수에서 배열안테나의 간격이  $\lambda/2$ 이다. 이때 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z(f, \theta - \theta_c) = \frac{[\cos(\theta - \theta_c)]^{0.5}}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} e^{-j\beta \sin(\theta - \theta_c)} \\ e^{-2j\beta \sin(\theta - \theta_c)} \\ \vdots \\ e^{-Nj\beta \sin(\theta - \theta_c)} \end{bmatrix} \quad (20)$$

원하는 각도에 최대이득이 되기 위해서는 각 채널에 정규화 된 가중치를 곱함으로써 최대 출력을 나타낼 수 있다. 여기서 만약 이득 값만을 고려한다면 최적의 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(f, \theta) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} e^{j \frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \\ e^{j \frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \\ \vdots \\ e^{j \frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \end{bmatrix} \quad (21)$$

빔 형성 가중치 행렬은 임의의 방향 집합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(f, \theta) = [w(f, \theta_1), w(f, \theta_1), \dots, w(f, \theta_N)] \quad (22)$$

출력신호는 다음과 같이 행렬연산으로 나타낼 수 있다.

$$s(\alpha, \theta - \theta_c) = W(f, \theta)^T z(f, \theta - \theta_c) \quad (23)$$

여기서,  $s(\alpha, \theta - \theta_c)$ 는  $\theta - \theta_c$  방향으로부터 수신되는 출력신호가  $\alpha$  방향으로 최대이득이 된다.

## IV. 모 의 실 험

본 장에서는 제안 알고리즘과 기존 알고리즘으로 목표물 입사 방향을 추정하였다. 기존 알고리즘은 선형 예측법을 적용하였다. 그림2와 그림3은 목표물 0o에서 추정한 그래프이다. 그림2는 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 목표물에 대한 도래방향을 추정한 그래프이다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 0o에서 정확히 빔을 조향하여 목표물을 추정하였다. 그림 3은 기존 선형예측법을 사용하여 목표물을 추정하였으나 0o에서 정확히 목표물을 추정하지 못하고 있다. 결국 원하는 방향으로 빔을 조향하지 못하여 목표물 추정 오차가 발생하였다. 원하는 목표물을 추정하기 위한 빔 조향은 본 연구에서 제안한 알고리즘이 기존의 선형 예측법보다 항상 되었음을 알 수 있다. 그림 4는 안테나 중심이 기준인 안테나 좌표계에서 중심주파수에서 형성되는 다중 빔을 나타내었다. 제안된 알고리즘으로 안테나 공간상에서 빔 간격 및 빔 폭이 일정하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 사용주파수가 높아지면 배열 안테나의 간격이 협소해져 전체 빔 조향 범위가 감소한다.

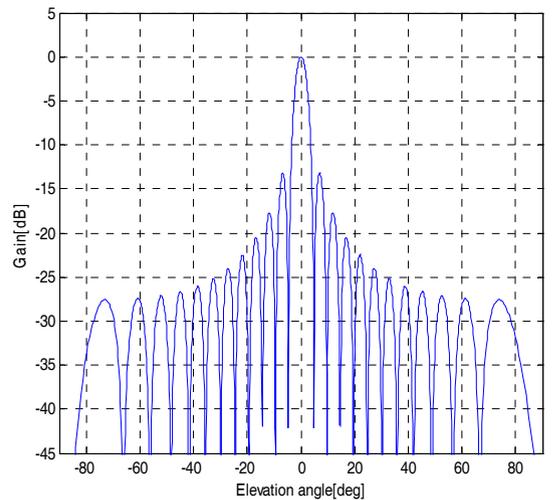


그림 2. 제안 알고리즘 목표물 빔패턴  
Fig. 2. Propose Algorithm Target Beam pattern

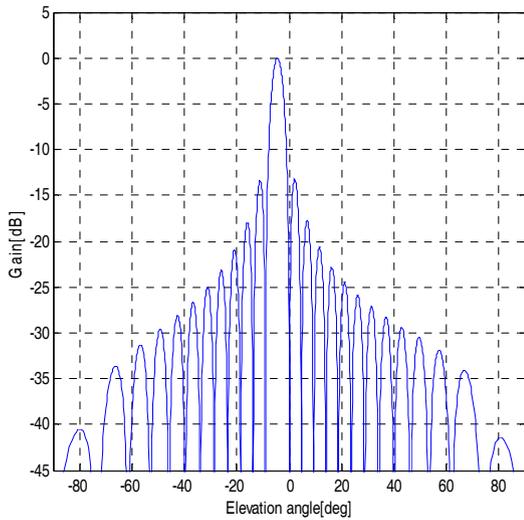


그림 3. 기존 알고리즘 목표물 빔 패턴  
Fig. 3. General Algorithm Target Beam Pattern

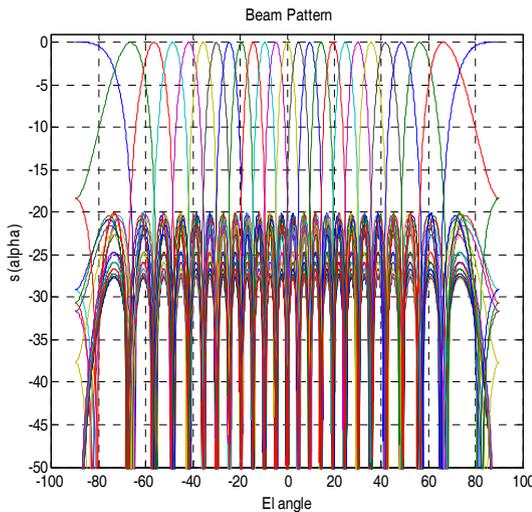


그림 4. 정현 공간 안테나 패턴  
Fig. 4. Antenna Pattern at sin Space

## V. 결론

본 논문에서는 적응 위상 배열 안테나를 이용하여 공간상에서의 신호 도래방향을 추정하였다. 디지털 빔 형성기의 공분산 행렬 가중치와 빔 조향 알고리즘을 결합한 알고리즘으로 다중 빔을 형성하여 목표물의 도래방향을 추정하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 목표물을 정확히 추정하는데 목적이 있다. 목표물 추정에서 기존의

방법보다 본 연구에서 제안한 방법이 우수함을 나타내었다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법이 부엽레벨이 증가하는 단점이 발생하였다. 부엽레벨을 감소시키기 위한 방법으로 부배열 LCMV 빔형성 방법을 적용하면 해결될 것으로 사료된다. 목표물의 움직임이 빈번한 경우에는 빔 형성한 후 신호 처리하여 다중 빔을 목표물 방향으로 조향할 경우에는 빔을 최적화하기가 매우 어렵지만, 본 연구에서는 목표물 방향으로 빔을 최적화 하는 방안으로 전체를 탐색 할 수 있는 다중 빔 알고리즘을 연구하였다. 목표물 도래방향 추정에서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존 방법보다 방향 추정능력이 향상되었음을 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] Nadav Levanom, Eli Mozeson, RADAR SIGNALS, John Wiley&Wiley, Publishing 2004.
- [2] Charles E.Cook, Marvin Bernfeld, RADAR SIGNAL An Introduction to Theory and Application, Artech house Publishing 1994.
- [3] Kwan Hyeong Lee, "A Study on the Decrease Estimation time using Covariance Vector Sparse Matrix", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vo. 10, No. 6, pp. 39-44, Jun, 2012
- [4] Kwan Hyeong Lee, "A Study on the Multi Target Position Estimation using Multi Input Multi Output Array Antenna System and 2D MUSIC Algorithm", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vo. 10, No. 4, pp. 64-70, April, 2012
- [5] Merrill. Skolnik, "Radar Handbook", McGraw-Hill Publishing Co, N.Y, 1990.
- [6] Merrill. Skolnik, Introduction to Radar Systems McGraw-Hill Publishing, 2000.
- [7] Cantrell B. Willwerth F., Leibowitz L. and Parris C. "Development of Digital Array Radar", IEEE AESS System Magazine, pp.22-27, Mar.2002.
- [8] Cantrell B. Willwerth F., Leibowitz L. and Parris C. "Development of Digital Array Radar", IEEE AESS System Magazine, pp.22-27, Mar.2002.

[9] Kai-Bor Yu and David J. Murrow, "Adaptive Digital Beamforming for Preserving Monopulse Target Angle Estimation Accuracy in Jamming", Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop 2000, Proceeding of the 2000 IEEE, pp.454-458, Mar, 2000.

[10] Y.H.Choi, "Subspace-based coherent source localisation with forward/backward covariance matrices", IEE Proc-Radar Sonar Navig, Vol.149, No.3, 145-151, 2002

저자 소개

이 관 형(정회원)



- 1998년 3월 ~ 2004년 8월 : 강릉영동대학정보통신과 조교수
  - 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소
  - 2010년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 통신공학과 조교수
- <관심분야 : 무선통신, 통신시스템>

송 우 영(정회원)



- 1977년 : 연세대학교 전자통신과(학사)
  - 1981년 : 연세대학교 전자공학과(석사)
  - 1998년 : 연세대학교 전자공학과(박사)
  - 1982년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수
- <관심분야 : 안테나, 초고주파>

이 명 호(정회원)



- 1979년 : 광운대학교 전자통신과(학사)
- 1981년 : 연세대학교 전자공학과(석사)
- 1991년 : 연세대학교 전자공학과(박사)
- 1984년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 데이터통신, 위성통신