

항공기 레이더에 있어 두 개의 주파수를 사용하였을 때 저고도 표적 다중경로 각도 추정의 CRLB

Cramr-Rao Lower Bound of Multipath Angle Estimation for Low-Flying Target of Dual-Frequency Airborne Radar

저자 (Authors)	정지현, 김진욱, 이주현, 전주환, 오유근, 서진배 Ji Hyun Jung, Jinuk Kim, Joohyun Lee, Joochwan Chun, Yougeun Oh, Jinbae Suh
출처 (Source)	한국전자파학회논문지 30(5) , 2019.5, 373-379(7 pages) The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 30(5) , 2019.5, 373-379(7 pages)
발행처 (Publisher)	한국전자파학회 Koea Electromagnetic Engineering Society
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08737166
APA Style	정지현, 김진욱, 이주현, 전주환, 오유근, 서진배 (2019). 항공기 레이더에 있어 두 개의 주파수를 사용하였을 때 저고도 표적 다중 경로 각도 추정의 CRLB. 한국전자파학회논문지, 30(5), 373-379
이용정보 (Accessed)	KAIST 143.***.103.24 2021/04/28 09:46 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

항공기 레이더에 있어 두 개의 주파수를 사용하였을 때 저고도 표적 다중경로 각도 추정의 CRLB

Cramér-Rao Lower Bound of Multipath Angle Estimation for Low-Flying Target of Dual-Frequency Airborne Radar

정지현 · 김진욱 · 이주현 · 전주환* · 오유근* · 서진배*

Ji Hyun Jung · Jinuk Kim · Joohyun Lee · Joohwan Chun* · Yougeun Oh* · Jinbae Suh*

요 약

같은 단일 주파수를 갖고 위상만 다른, 즉 코히런트(coherent)한, 두 개의 신호가 비슷한 각도에서 동시에 입사하면 두 신호의 위상이 0도 혹은 180도 다를 경우 각도 추정에 큰 오차가 발생한다. 항공기용 레이더는 신호의 대역폭이 비교적 작으므로 지표면 혹은 해면 가까이 낮게 나는 표적의 경우에 직접파와 표면 반사파가 같은 거리 빈(range bin)에 위치하여서 이와 같은 현상이 일어날 수 있다. 본 논문에서는 항공기용 레이더에 있어서 단일 주파수를 사용하였을 경우, 저고도 표적의 다중경로 간섭에 의한 각도 추정의 크래머 라오 하한(Cramer-Rao lower bound: CRLB)를 보이고, 두 개의 주파수를 사용하였을 경우 CRLB가 낮아짐을 보였다.

Abstract

If two signals with the same single-tone frequency and differing phases impinge simultaneously on an antenna at slightly differing angles, then a large error in the angle estimation might occur if the phase difference is either 0° or 180°. This phenomenon might arise with an airborne fire-control radar, which has a relatively small bandwidth, for a low-flying target over the sea or terrain surface. In this paper, we show that the Cramér-Rao lower bound for such a target can be significantly lowered with the use of two frequencies.

Key words: Airborne Radar, Multipath, CRLB, Angle Estimation

I. 서 론

해면이나 지면 위에 낮게 위치한 표적은 레이더 산란 파가 다중경로(multipath)로 거의 같은 시점에 수신기에 도달한다. 즉, 직접파와 표면 반사파의 두 파가 거의 같은

각도로, 같은 거리 빈(range bin)에 들어오므로 서로 간섭을 일으켜서 각도 추정에 큰 오차가 생기므로 표적의 탐지 및 추적에 어려움이 있다. 특히 일반적인 모노펄스(monopulse) 레이더의 경우, 안테나 혹은 빔이 두 개뿐이 없어서 두 개의 각도를 측정하는 것이 불가능하다. 다중

「본 연구는 한화시스템 산학협동과제로 수행되었음.」

한화시스템 PGM 그룹(Hanwha System PGM)

*한국과학기술원 전기전자공학부(KAIST Electrical Engineering)

· Manuscript received January 2, 2019 ; Revised February 28, 2019 ; Accepted May 22, 2019. (ID No. 20190102-001)

· Corresponding Author: Joohwan Chun (e-mail: chun@kaist.ac.kr)

경로 문제점은 특히 해상레이다(shipborne radar)에서 널리 알려져 있고, 이를 해결하기 위한 여러 가지 시도가 지난 수십 년간 연구되어왔다. 하지만 항공기 레이다에서도 지표면 혹은 해수면의 다중경로의 영향이 큰 문제가 된다^{[1],[2]}.

Complex indicated angle 방식^[3]은 모노펄스 레이다를 사용할 때 해수 표면의 반사 특성을 알고 있다고 가정하고 두 개의 각도를 찾는 방안이고, 참고문헌 [4]은 직접파, 반사파가 2개인 점을 고려하여 3개의 빔을 사용한 방법을 제안하였다. 한편, Zoltowski^[5]는 3개의 빔을 사용한 root-MUSIC 방안으로 2개의 파의 각도를 찾는 방법을 보였다. 이상의 방법과는 달리 참고문헌 [6]에서는 반사파 방향으로 널(null)을 주어서 간섭을 제거하는 방안을 제시하였는데, 이 방법은 통신 기능도 필요한 사격통제 레이다의 경우에 특히 유리하다.

다중경로에 의한 두 개의 파는 모두 코히런트(coherent)한 성질, 즉 두 개의 파가 단일 주파수이고 단지 위상만 다른 성질을 가지고 있는데, 이 경우 위상이 0도 혹은 180도 일 경우, 크래머 라오 하한(Cramer-Rao lower bound: CRLB) 분석을 통하여, 입사각 추정 혹은 널링(nulling)이 근본적으로 어려움이 잘 알려져 있다^{[7],[8]}. 그러므로 위에 소개한 간섭제거 방법들^{[1]~[6]}은 모두 두 개의 입사파의 위상이 0도 혹은 180도일 경우 오차가 매우 크게 됨을 피할 수 없다.

본 논문에서는 다중경로 각도 추정 문제의 CRLB를 수치 해석적으로 설명하고, 두 개의 다른 주파수를 사용하였을 경우 모든 위상 각도 구간에서 CRLB가 작아짐을 보인다.

II. 항공기와 표적 간 개념도

그림 1에 높이가 h_1 인 항공기용 레이다 빔이 높이가 h_2 인 지표면에 가까이 있는 표적을 향하는 모습을 보였다. 레이다는 직접파 s_1 과 반사파 s_2 를 동시에 수신하게 되는데, s_1 의 경로 길이는 R_d 이고, s_2 의 경로 길이는 $R_r = R_1 + R_2$ 이다. 여기서 정면(boresight) 기준 s_1 의 입사각은 θ_d , s_2 의 입사각은 θ_r 로 표시하였다. 또한, 레이다로부터 표적까지 수평거리는 G 이고, 레이다로부터 반사 지점까지 수평거리는 G_1 으로 표시하였다.

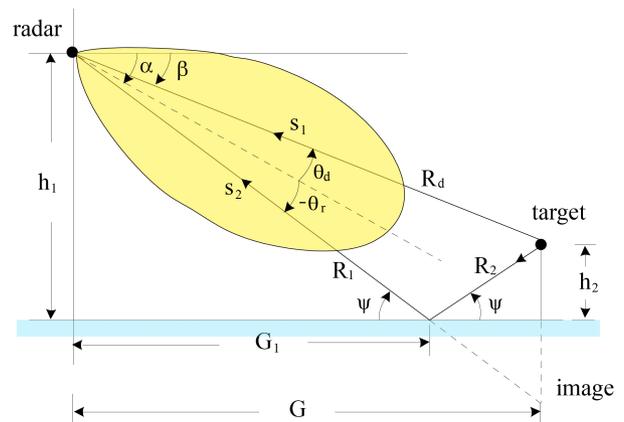


그림 1. 비행체가 표적을 향하여 날아가는 개념도
Fig. 1. Geometry of a vehicle flying towards a target.

이제 다중경로 간섭에 중요한 역할을 하는 경로 차 $\Delta R = R_r - R_d$ 는 다음의 식으로부터 얻은 R_d , R_r 로부터 구할 수 있다.

$$R_d^2 = G^2 + (h_1 - h_2)^2$$

$$R_r^2 = (R_1 + R_2)^2 = G^2 + (h_1 + h_2)^2$$

직접파의 입사각 θ_d 와 반사파의 입사각 θ_r 은 다음과 같이 구할 수 있다. 반사점에서의 지표각(grazing angle)

$$\psi = \cos^{-1} \frac{G_1}{R_1}$$

$$\frac{G}{G_1} = \frac{h_1 + h_2}{h_1}, R_1 = \sqrt{h_1^2 + G_1^2}$$

를 이용하여 구하고, $\beta = \cos^{-1} \frac{G}{R_d}$ 로부터 $\theta_d = \alpha - \beta$,

$\theta_r = \alpha - \psi$ 를 얻을 수 있다.

이제 $h_1 = 500$ m, $h_2 = 10$ m, $\alpha = 45^\circ$ 라고 가정하였을 때 경로 차 $\Delta R = R_r - R_d$ 를 그림 2에 보였다. 수평거리 $0 \leq G \leq 1$ km에서 경로 차는 20 m 이하에 불과하여 대역폭이 7.5 MHz 이하인 항공기 레이다에서는 직접파, 반사파가 같은 거리 빈(range bin)에 위치하여서 간섭을 일으키게 됨을 알 수 있다.

그림 3에 수평거리 $0 \leq G \leq 1$ km에서 직접파와 반사파의 입사각을 보였다. 두 각도가 매우 비슷함을 알 수 있다.

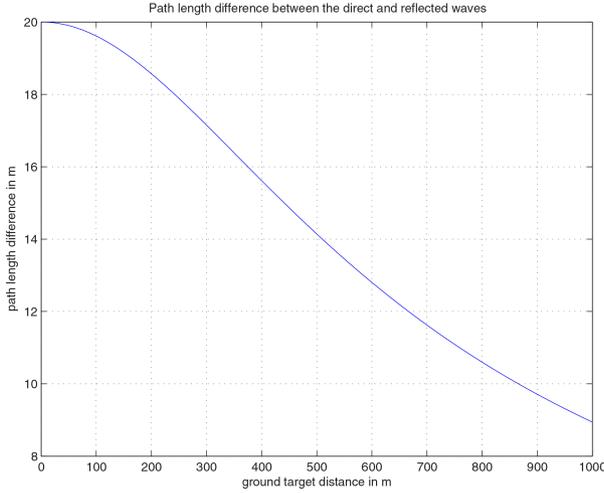


그림 2. 직접파와 반사파의 경로 차
Fig. 2. Path length difference between the direct and reflected waves.

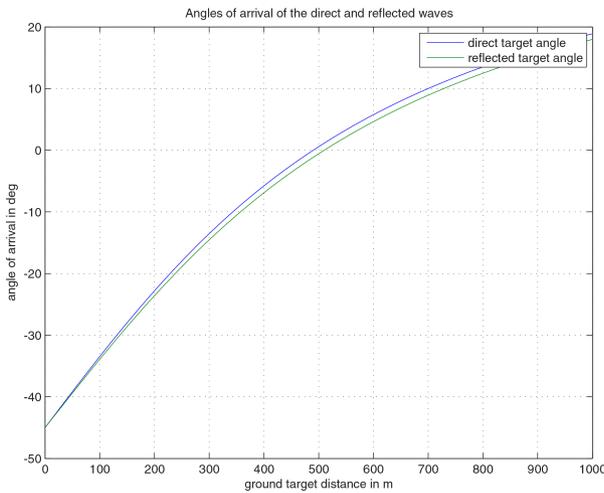


그림 3. 직접파와 반사파의 입사각
Fig. 3. Angles of arrival of the direct and reflected waves.

III. 단일 주파수를 사용할 때 각도 추정 CRLB

다중경로 간섭을 제거하고 표적의 각도를 찾는 가장 직접적인 방법은 직접파, 반사파의 각각의 각도를 구하는 것이다. 그림 4에 N 개의 안테나 사이의 간격이 $d = \frac{\lambda}{2}$ 인 등 간격의 안테나 어레이를 보였다.

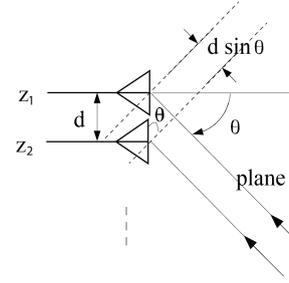


그림 4. 등 간격의 선형 안테나 어레이($d = \frac{\lambda}{2}$)
Fig. 4. Uniform linear antenna array($d = \frac{\lambda}{2}$).

입사각이 각각 θ_1, θ_2 인 두 개의 평면파(plane wave) 신호 s_1, s_2 가 있을 때 기저대역(baseband)에서 안테나 측정치 벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{z} = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s} + \mathbf{n}, \quad \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{ju_1} & e^{ju_2} \\ \vdots & \vdots \\ e^{j(N-1)u_1} & e^{j(N-1)u_2} \end{bmatrix}$$

여기서

$$u_i = kd\sin\theta_i, \quad i = 1, 2, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda},$$

$$\mathbf{s} = [s_1, s_2]^T, \quad \mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_N]^T, \quad \boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2]^T$$

$$\mathbf{n} \sim CN(0, \sigma_n^2 \mathbf{I})$$

이다.

직접파 신호 s_1 과 반사파 신호 s_2 는 코히런트하여서 다음과 같이 모델 할 수 있다.

$$s_1(k) = s, \quad s_2(k) = \alpha s$$

여기서 표적에서 반사되는 신호 s 는 분산이 $E_{ss^*} = \sigma_s^2$ 인 복소 영평균 랜덤 신호(complex zero-mean random signal)로 가정하고, $s_i(k)$ 는 시간 k 에서 샘플링한 신호를 의미하고, $\alpha = \rho e^{j\phi}$ 는 $s_1(k)$ 에 대한 $s_2(k)$ 의 복소 경로 이득(complex path gain)을 의미한다. 복소 이득 α 의 절대값 ρ 는 동작 주파수(operating frequency) f_1 및 반사 표면의 성질에 의하여 결정되고, 각도 ϕ 는 동작 주파수 f_1 및 반

사 표면의 성질뿐만 아니라, 경로 길이에 따라서 결정된다.

$$\phi = \phi_0 + \text{mod}(kR, 2\pi)$$

따라서 신호 벡터 \underline{s} 는 다음과 같은 공분산을 갖는다.

$$\begin{aligned} R_s &= E\mathbf{s}\mathbf{s}^H = \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix} E\mathbf{s}\mathbf{s}^* [1 \ \alpha^*] \\ &= \sigma_s^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho e^{-j\phi} \\ \rho e^{j\phi} & \rho^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

그러므로 안테나에서 받는 신호 \mathbf{z} 는 공분산이 $R_z = AR_sA^H + \sigma_n^2I$ 인 복소 영평균 랜덤 신호이다:

$$\mathbf{z} \sim CN(0, R_z).$$

여기서 우리가 찾으려는 변수 $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2]^T$ 는 R_z 에 포함되어 있는데, $\boldsymbol{\theta}$ 에 대한 피셔 정보 행렬(Fisher information matrix) $F = (f_{ij}) \in C^{2 \times 2}$ 는 다음과 같이 주어진다^{[7],[8]},

$$f_{ij} = \text{tr} \left(R_z^{-1} \frac{\partial R_z}{\partial \theta_i} R_z^{-1} \frac{\partial R_z}{\partial \theta_j} \right)$$

여기서 $\text{tr}(\cdot)$ 은 대각합(trace)을 의미하고, $\frac{\partial R_z}{\partial \theta_i}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial R_z}{\partial \theta_i} = \frac{\partial A}{\partial \theta_i} R_s A^H + A R_s \frac{\partial A^H}{\partial \theta_i}$$

그러므로 $\boldsymbol{\theta}$ 의 CRLB는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{var}(\hat{\boldsymbol{\theta}}|\boldsymbol{\theta}) \geq F^{-1}$$

즉, 어떤 추정값(estimator) $\hat{\theta}_i$ 를 선택하든지 간에 평균 제곱근 편차(mean square error)의 제공, $\text{var}(\hat{\boldsymbol{\theta}}|\boldsymbol{\theta})$ 는 다음의 식을 만족한다.

$$\text{var}(\hat{\boldsymbol{\theta}}|\boldsymbol{\theta}) \geq [F^{-1}]_{ii}, \quad i = 1, 2$$

그림 5에 $\rho = 0.9$, $\theta_1 = 0.05^\circ$, $\theta_2 = -0.05^\circ$, $f = 10$ GHz인 경우, 복소 경로 이득의 각도 $\phi \in [-180^\circ, 180^\circ]$ 에 대하여 θ_1 에 대한 CRLB를 그렸다. $\phi = 0^\circ, 180^\circ$ 근방에서 CRLB가 값을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, $\phi = 0^\circ, 180^\circ$ 에서는 θ_1 을 추정하기 위하여 모노펄스 혹은 최대 우도 추정(maximum likelihood estimation: MLE) 등의 어떠한 기법을

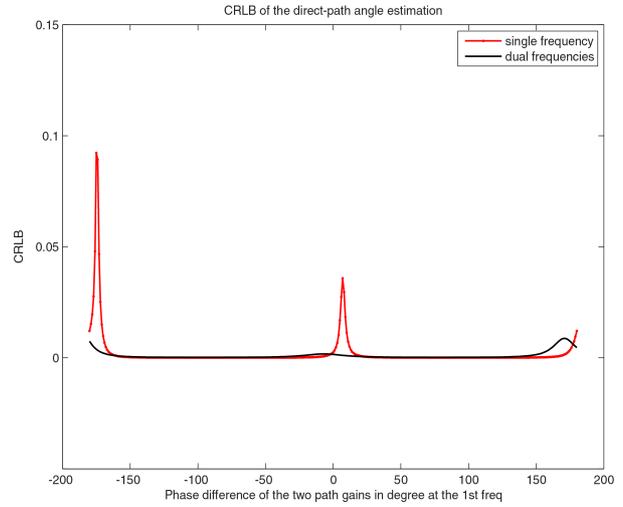


그림 5. 단일 주파수와 두 개의 주파수를 사용했을 때 직접파와 각도 추정에 대한 CRLB 비교

Fig. 5. Comparison of CRLB of the direct-path angle estimation.

사용하던 추정 오류가 클 수밖에 없다. 본 논문에서 보이지 않았지만 θ_2 의 CRLB도 그림 5와 비슷한 형태를 보인다.

많은 항공기용 레이다는 다음과 같이 위상 모노펄스 추정(monopulse estimation) 기법을 사용하여 각도 θ 를 구한다.

$$\frac{\Delta}{\Sigma} = -j \tan \left(\frac{\phi d \sin \theta}{\lambda} \right)$$

그림 3의 두 개의 가까운 입사각 상황의 경우, 위의 식으로 θ 를 구하면 그림 6과 같음을 볼 수 있다. 즉, 항공기와 표적 간 거리가 변화하면 $\phi = 0^\circ, 180^\circ$ 조건이 주기적으로 만족하게 되므로, 주기적으로 커다란 측정 오차가 발생하게 된다.

IV. 두 개의 주파수를 사용할 때 각도 추정 CRLB

이와 같은 오차를 줄이는 방안은 ϕ 가 주파수와 반사 표면의 성질의 함수임을 이용하여 여러 개의 주파수를 사용하는 것이다. 만약 두 개의 주파수 f_1 과 f_2 를 사용한다면 각각에 대하여 다음과 같은 수신 신호 모델을 얻는다.

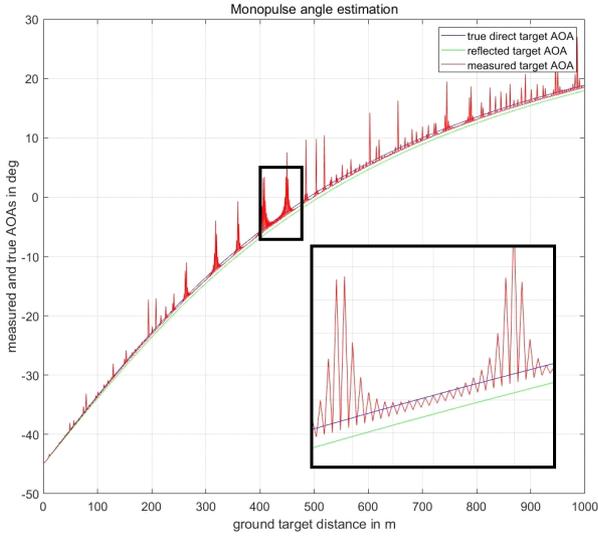


그림 6. 다중경로 신호의 모노펄스 입사각 추정
Fig. 6. Monopulse angle estimation for multipath signals.

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_1 &= A_1(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s}_1 + \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{z}_2 &= A_2(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s}_2 + \mathbf{n}_2 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_1 &= [s_{11}, s_{12}]^T, \quad \mathbf{s}_2 = [s_{21}, s_{22}]^T \\ \mathbf{s}_1 &= \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha_1 \end{bmatrix} s, \quad \mathbf{s}_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} s, \quad \alpha_1 = \rho e^{j\phi_1}, \quad \alpha_2 = \rho e^{j\phi_2}, \\ \phi_2 &= \frac{k_2}{k_1} \phi_1 + \phi_0, \quad k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}, \quad k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} \end{aligned}$$

이다.

이제 위 식을 하나로 묶으면 다시

$$\mathbf{z} = A(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s} + \mathbf{n}$$

의 형태가 된다. 여기서

$$\mathbf{z} = [\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2]^T, \quad \mathbf{s} = [\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2]^T, \quad \mathbf{n} = [\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2]^T, \quad A = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix}$$

이다. 또한, 신호의 공분산은

$$R_s = E \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{s}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^H & \mathbf{s}_2^H \end{bmatrix} = \sigma_s^2 \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha_1 \\ 1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1, \alpha_1^*, 1, \alpha_2^* \end{bmatrix}$$

가 된다.

그림 5에 단일 주파수에서와 같은 조건($\rho=0.9$, $\theta_1 = 0.05^\circ$, $\theta_2 = -0.05^\circ$)에서 위에서 설명한 두 개의 주파수를 사용하여 CRLB를 구한 결과를 보였다. 여기서

$$\begin{aligned} f_1 &= 10 \text{ GHz}, \quad f_2 = 10.1 \text{ GHz}, \\ \phi_2 &= \frac{k_2}{k_1} \phi_1 + \phi_0, \quad \phi_0 = 20^\circ \end{aligned}$$

를 사용하였다. 각도 $\phi_0 = 20^\circ$ 는 다른 주파수를 사용함에 따른 반사 계수의 차이에서 유래한다고 가정하였다.

그림 5에서 두 개의 주파수를 사용한 경우, 한 개의 주파수를 사용한 경우보다 CRLB가 현저하게 줄어들었음을 볼 수 있다.

그림 7에 두 개의 주파수를 사용할 때 두 주파수의 차이에 따라 직접파 각도 추정 CRLB가 어떻게 변화하는지 보였다. 사용한 주파수는 다음과 같다.

$$f_1 = 10 \text{ GHz}, \quad f_2 = 10.1 \text{ GHz}, \quad 10.5 \text{ GHz}, \quad 11 \text{ GHz}$$

CRLB가 비교적 높았던 180도 근처에서는 두 주파수 차이가 커질수록 CRLB가 크게 줄어들었음을 볼 수 있다. 하지만 두 주파수 차이가 커질수록, 0도 근처에는 CRLB가 약간 증가하는 경향을 보였다.

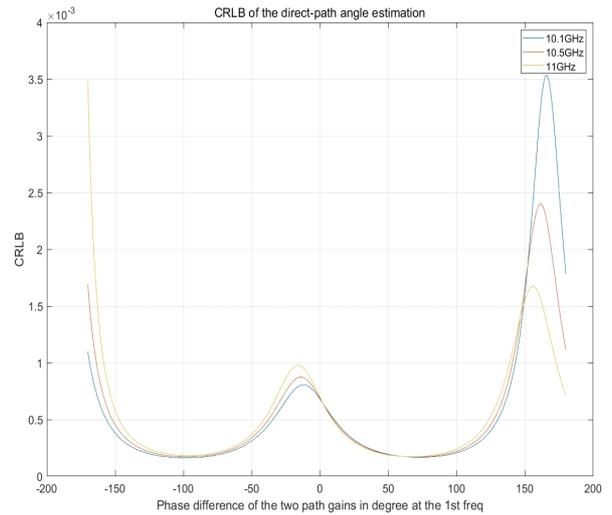


그림 7. 두 주파수 차이에 따른 직접파 각도 추정에 대한 CRLB 비교

Fig. 7. Comparison of CRLB of the direct-path angle estimation according to the difference of two frequencies.

V. 결 론

본 논문에서는 항공기 레이더에서 두 개의 주파수를 사용하면 저고도 표적의 다중경로 각도를 정확히 추정할 수 있음을 CRLB를 이용하여 이론적으로 보였다. 여기서 다이버전스(divergence) 효과 등⁶⁾을 포함한 다중경로의 보다 현실적인(realistic) 모델링은 단지 부수적인 영향만 주므로 여기서는 생략하였다. MLE 알고리즘은 정칙 조건(regularity condition)을 만족할 경우 점근적으로(asymptotically) 평균 제곱근 편차가 CRLB와 일치함이 잘 알려져 있다⁷⁾. 직접파 각도를 추정하는 알고리즘은 MUSIC, MLE, 혹은 모노펄스의 변형 등 여러 가지 방안이 가능한데, 구체적인 알고리즘 구현은 본 논문에서 다루지 않았다.

References

[1] J. Teti, "Wide-band airborne radar operatinmg considerations for low-altitude surveillance in the presence of specular multipath," *IEEE Transactions on Antenna and Propagations*, vol. 48, no. 2, pp. 176-191, Feb. 2000.

[2]. M. Man, Z. Lei, Y. Zie, B. Chen, and Q. Wang, "Monte Carlo simulation of the echo signals from low-flying targets for airborne radar," *International Journal of An-*

tennas and Propagation, vol. 2014, p. 416985.

[3] S. Sherman, "Complex indicated angles applied to unresolved radar targets and multipath," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, vol. AES-7, no. 1, pp. 160-170, Jan. 1971.

[4] W. White, "Low angle radar tracking in the presence of multipath," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, vol. AES-10, no. 6, pp. 835-852, Nov. 1974.

[5] M. Zoltowski, T. Lee, "Maximum likelihood based sensor array signal processing in the beamspace domain for low angle radar tracking," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 39, no. 3, pp. 656-671, Mar. 1991.

[6] D. Park, E. Yang, S. Ahn, and J. Chun, "Adaptive beamforming for low-angle target tracking under multipath interference," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, vol. 50 no. 4, pp. 2564-2577, Oct. 2014.

[7] H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory*, New York, NY, John Wiley & Sons, 1968.

[8] H. L. Van Trees, *Optimum Array Processing: Part 4 of Detection, Estimation and Modulation Theory*, New York, NY, John Wiley & Sons, 2002.

정 지 현 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7410-6033>



2004년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)

2006년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)

2011년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)

2016년 3월~현재: 한화시스템 레이더·

PGM 연구소 전문연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템 설계, 레이더 신호처리

김 진 옥 [한화시스템/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7162-0974>



2012년 2월: 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)

2014년 7월: 충남대학교 기계설계메카트로닉스공학과 (공학석사)

2017년 5월~현재: 한화시스템 레이더·PGM 연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템 설계, 레이

더 신호처리

이 주 현 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9845-5681>



2006년 2월: 한양대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2008년 2월: 한양대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2008년 2월~현재: 한화시스템 레이더·PGM 연구소 전문연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리/성능분석

오 유 근 [한국과학기술원/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-2779-9118>



2018년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 (공학사)
2018년 9월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석사과정
[주 관심분야] 레이더 신호처리

전 주 환 [한국과학기술원/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-3506-1722>



1980년: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1984년: 미국 Cornell University 전자공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Stanford University 전자공학과 (공학박사)
2007년~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 교수

[주 관심분야] 레이더

서 진 배 [한국과학기술원/석박통합과정]

<https://orcid.org/0000-0003-3612-4382>



2015년 2월: 성균관대학교 전자전기공학부 (공학사)
2015년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석박통합과정
[주 관심분야] 레이더 신호처리