

고 전력 간섭 환경에서의 GPS AOA 선택 알고리즘

GPS AOA Choosing Algorithm in Environment of High-Power Interference Signals

황석승*

Suk-Seung Hwang*

요 약

GPS(Global Positioning System)는 사용자 및 물체의 위치를 추정하기 위해 군사용과 상용으로 광범위하게 사용되고 있다. GPS는 다양한 고의적 또는 비고의적 간섭들로부터 영향을 받게 되는데, 이러한 간섭들을 제거하고 효율적인 데이터 수신을 위해 GPS의 정확한 도래각(AOA; angle-of-arrival) 추정이 필요하다. GPS의 신호전력은 잡음이나 간섭에 비해 매우 낮으므로, 역확산(despreading) 이전에 GPS 신호의 AOA를 추정하기는 매우 어려워 일반적으로 역확산 이후에 GPS의 AOA를 추정한다. 하지만, 고 출력의 간섭 존재 시 역확산 이후의 AOA 추정결과는 간섭신호의 AOA 들도 포함하고 있어, 어떤 추정 값이 GPS의 AOA 인지를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 추정된 AOA 값들로부터 효과적으로 GPS 신호의 AOA를 선택하기 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 역확산 이전과 이후의 AOA 들을 비교하여 정확한 GPS 신호의 AOA를 선택한다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 GPS AOA 선택 알고리즘의 성능을 확인한다.

Abstract

The Global Positioning System (GPS) is widely utilized for commercial and military applications to estimate the location of the user or object. The GPS suffers from various intentional or unintentional interferers and it requires estimating the accurate angle-of-arrival (AOA) of the GPS signal to suppress interference signals and to efficiently detect GPS data. Since the power of GPS signal is very low comparing with the noise and interference signals, it is extremely difficult to estimate GPS AOA before despreading. Although AOA of GPS signal is usually estimated after despreading, it requires choosing the GPS AOA among results of AOA estimation because they include AOAs of interference and GPS signals when existing high-power interferers. In this paper, we propose the efficient choosing algorithm of the GPS signal among the estimated AOAs. The proposed algorithm compares the estimated results before despreading and after despreading for choosing AOA of GPS signal. Computer simulation examples are presented to illustrate the performance of the proposed algorithm.

Key words : GPS(Global Positioning System), AOA(Angle-of-Arrival), MUSIC(Multiple Signal Classification), Beamformer

* 조선대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics Engineering, College of Engineering, Chosun University)

· 제1저자 (First Author) 및 교신저자 (Corresponding Author) : 황석승

· 투고일자 : 2012년 7월 16일

· 심사(수정)일자 : 2012년 7월 16일 (수정일자 : 2012년 8월 16일)

· 게재일자 : 2012년 8월 30일

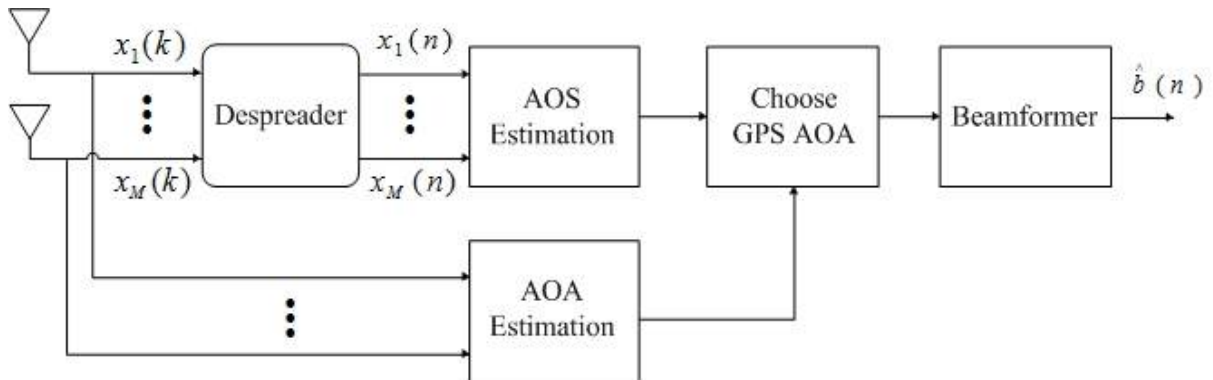


그림 1. GPS 신호의 AOA 선택 알고리즘 구조
 Fig. 1. Structure of GPS AOA Choosing Algorithm

표 1. 식 (1)의 수신신호 모델 요약
 Table 1. Summary of Received Signal in (1)

심볼	정의
\mathbf{a}_c	GPS 신호에 대한 어레이 응답 벡터(크기 M)
$c_i(k)$	i 번째 위성에 대한 사이크로스테이셔너리(cyclostationary) PRN 코드 요소 (길이 $N = 20 \times 30$)
$b(k)$	PRN 코드의 한 사이클 길이 동안 상수(constant)를 유지하는 GPS 데이터 비트
\mathbf{A}	$M \times L$ 어레이 응답 행렬
L	간섭 신호들의 개수
$\mathbf{s}(k)$	간섭 신호들의 벡터(크기 L)
$\mathbf{v}(k)$	평균 0과 분산 σ^2 의 i.i.d (independent identically distributed) 특성을 가지는 AWGN(additive white Gaussian noise) 벡터(크기 M)

I. 서 론

낮은 전력의 직접 시퀀스 확산 스펙트럼(DSSS; direct-sequence spread-spectrum) 신호를 사용하는 GPS 위성은 1574.42 MHz 반송주파수를 가지는 L_1 과 1227.60 MHz 반송주파수를 가지는 L_2 의 두 가지 타 입 신호를 전송한다[1]. 현대화된 GPS는 1227.6 MHz 반송주파수를 가지는 L_{2c} 와 1176.45 MHz 반송주파 수를 가지는 L_5 두 개의 상용화된 신호를 추가로 사 용한다[2]. 다중 안테나 요소들을 사용하는 GPS 안테 나를 위한 대부분의 빔형성기들은 GPS 신호의 효과 적인 수신을 위하여 정확한 GPS AOA 정보가 필요하 다. 높은 잡음 전력 레벨과 높은 간섭신호 전력에 비 해 GPS 신호의 전력은 매우 낮으므로, 정확한 GPS AOA의 정보를 추정하는 것은 매우 어렵다. GPS AOA를 추정하기 위해 Multiple Signal Classification

(MUSIC)[3] 이나 Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Techniques(ESPRIT)[4]와 같은 일반적인 AOA 추정 알고리즘들이 사용 된다. 이러 한 AOA 추정 알고리즘들이 뛰어난 AOA 추정 성능 을 가지지만, GPS AOA를 추정할 시에는 심각한 문 제점을 가진다. 역확산 이전에는 GPS 전력이 간섭이 나 전력에 비해 매우 낮으므로 GPS AOA 추정 자체 가 불가능 하고, 역확산 이후에 AOA를 추정하여도 추정된 AOA들은 GPS AOA와 간섭들의 AOA 모두를 포함한다.

본 논문에서는 추정된 AOA 정보들 중 GPS AOA 를 선택하는 방법을 제시한다. 역확산 이전의 수신신 호는 GPS, 간섭, 잡음 등을 포함하지만, GPS 신호의 전력이 잡음전력 레벨에 비해 현저히 낮으므로 GPS 신호는 잡음 부분공간(subspace)[5]에 포함되어, 추정 된 AOA들은 GPS AOA는 포함하지 않고 간섭들의

AOA만 포함하게 된다. 역확산 이후의 수신신호는 잡음전력 레벨보다 월등히 높은 전력(43dB의 확산이득[6])의 GPS 신호를 포함하므로 GPS 부분공간을 가지게 되어, 역확산 이후의 수신신호를 사용한 AOA 추정 정보들은 GPS 및 간섭들의 AOA들을 모두 포함하게 된다. 하지만, 추정된 AOA 정보들 중 어느 것이 GPS 신호의 AOA 인지를 판단할 수 없다. 이를 위해 본 논문에서 제시된 방법은 역확산 이전의 AOA 추정 값들과 역확산 이후의 AOA 추정 값들을 비교하여 역확산 이후의 AOA 추정 정보들에 포함되어 있고, 역확산 이전의 AOA 추정 정보들에는 포함되어 있지 않은 AOA 를 GPS 신호의 AOA로 선택한다.

II. 수신신호 모델

본 논문에서는 C/A(coarse acquisition) 코드에 대한 AOA 선택을 고려한다. M 개의 안테나 어레이 요소들을 가지는 수신기에 대하여 샘플 인덱스 k 에서의 수신신호 벡터(크기 M)은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{a}_c c_i(k) b(k) + \mathbf{A} \mathbf{s}(k) + \mathbf{v}(k) \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 위성 인덱스이고 식 (1)의 다른 변수들은 표 1에 요약되어 있다. 본 논문에서 수신기는 [7]과 [8]에서 묘사되어진 $P \times Q$ ($M = PQ$) 크기를 가지는 격자 안테나 어레이 구조를 사용한다고 가정한다. 식 (1)의 어레이 응답 벡터의 l 번째 열은 식 (2)와 같이 주어진다. 식 (2)에서 ζ_l 과 η_l 은 식 (3)과 (4)와 같이 주어지며, θ_l 은 l 번째 신호에 대한 고도각 (elevation angle)을 ϕ_l 은 l 번째 신호에 대한 방위각 (azimuth angle)을 나타낸다. 또한, 샘플링된 CM(constant modulus)[9] 간섭신호들의 주기는 GPS 의사랜덤 간섭(PRN; pseudorandom noise) 코드의 주기와 같다고 가정한다.

$$\mathbf{a}_l = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\zeta_l} \\ \vdots \\ e^{-j(Q-1)\zeta_l} \\ e^{-j\eta_l} \\ e^{-j(\zeta_l + \eta_l)} \\ \vdots \\ e^{-j((Q-1)\zeta_l + (P-1)\eta_l)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\zeta_l = \pi \sin \theta_l \cos \phi_l \quad (3)$$

$$\eta_l = \pi \sin \theta_l \sin \phi_l \quad (4)$$

III. GPS AOA 선택 알고리즘

본 장에서는 MUSIC이나 ESPRIT과 같은 일반적인 AOA 추정알고리즘을 사용해 추정된 간섭들을 포함하는 AOA 값들로부터 GPS AOA 정보를 선택하기 위한 알고리즘을 제안한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대한 기본 블록다이어그램을 나타낸다.

3-1 역확산 이전의 AOA 추정

본 논문에서는 신호들의 AOA 추정을 위하여 고 전력 신호의 AOA 추정에 훌륭한 성능을 가지는 MUSIC AOA 추정 알고리즘을 사용한다. MUSIC 알고리즘의 첫 번째 단계는 역확산 이전 수신신호의 자기상관(autocorrelation)[10] 행렬 \mathbf{R}_x 의 고유구조 (eigenstructure)를 결정하는 것으로 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{R}_x \mathbf{\Gamma} = \mathbf{\Gamma} \mathbf{\Lambda} \quad (5)$$

식 (5)에서 $\mathbf{\Lambda} = \text{diag}\{\lambda_1, \dots, \lambda_M\}$ 는 대각(diagonal) 행렬, $\{\lambda_i\}$ 는 고유값(eigenvalue), $\mathbf{\Gamma}$ 는 해당 고유벡터(eigenvector) 행렬이며, 자기상관 행렬 \mathbf{R}_x 는 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{R}_x = E[\mathbf{x}(k)\mathbf{x}^H(k)] \quad (6)$$

식 (5)를 기반으로 신호들의 AOA를 추정하기 위해 사용되어지는 함수는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_M(\theta, \phi) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta, \phi)\mathbf{\Gamma}_{M-L}\mathbf{\Gamma}_{M-L}^H\mathbf{a}(\theta, \phi)} \quad (7)$$

식 (7)에서 $\mathbf{\Gamma}_{M-L}$ 는 가장 작은 $M-L$ 개의 고유값들에 해당하는 $M-L$ 고유벡터들을 포함하는 열들로 구성되어진 $M \times (M-L)$ 행렬이다. $P_M(\theta, \phi)$ 의 L 개의 가장 큰 피크들로 신호들의 AOA를 결정한다.

역확산 이전의 수신신호들은 GPS 신호, 간섭신호, 잡음들을 포함하지만, GPS 신호의 전력이 잡음 전력 레벨보다 현저히 낮으므로 GPS 신호는 잡음 부분공간에 포함되어 추정된 AOA 값들에 포함되지 않는다. 하지만, 역확산 이전의 수신신호로부터 추정된 AOA 정보들은 역확산 이후의 수신신호로부터 추정된 AOA 정보들과 비교되어 GPS 신호의 AOA 정보를 선택하는데 사용된다.

3-2 역확산 이후의 AOA 추정

GPS 신호의 전력을 간섭 전력 레벨 이상으로 상승시키기 위해 역확산기를 사용한다. GPS의 PRN 코드는 각 위성에 대해 고유의 20개의 동일한 C/A 코드로 구성되어 있어 i 번째 위성에 대한 PRN 코드는 식 (8)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{c}_i = [\mathbf{c}_{a_i}, \dots, \mathbf{c}_{a_i}]^T \quad (8)$$

식 (8)에서 \mathbf{c}_{a_i} 는 길이 1023의 i 번째 위성에 대한 C/A 코드 행벡터이다. $\mathbf{c}_i^T \mathbf{c}_i = N$ ($N = 20 \times 1023$)이므로, \mathbf{c}_i 기반의 역확산기 출력은 식 (9)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{a}_c N b(n) + \mathbf{A} \mathbf{s}(n) + \mathbf{v}(n) \quad (9)$$

식 (9)에서 $b(n)$ 는 GPS 데이터 비트이고, 나머지 벡터에 대한 정의는 식 (10), (11), (12), (13)에서 주어진다.

$$\mathbf{s}(n) = \mathbf{S}(n)\mathbf{c}_i \quad (10)$$

$$\mathbf{S}(n) = [\mathbf{s}(k), \dots, \mathbf{s}(k+N-1)] \quad (11)$$

$$\mathbf{v}(n) = \mathbf{V}(n)\mathbf{c}_i \quad (12)$$

$$\mathbf{V}(n) = [\mathbf{v}(k), \dots, \mathbf{v}(k+N-1)] \quad (13)$$

GPS 및 간섭 신호들을 포함하는 AOA를 추정하기 위하여 역확산기 출력벡터 $\mathbf{x}(n)$ 에 MUSIC 알고리즘을 적용 시킨다. 역확산기 출력에 대한 자기상관 행렬을 식 (14)와 같이 정의하고, 수신신호에 한 개의 GPS 신호가 포함된다고 가정했을 때 식 (5)와 식 (7)을 이용하여 $L+1$ 개의 가장 큰 피크들로부터 GPS 및 간섭을 포함한 AOA 들을 결정한다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{x}(n)} = E[\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^H(n)] \quad (14)$$

GPS 신호의 부분공간은 신호들의 부분공간에 포함되므로 식 (7)의 $\mathbf{\Gamma}_{M-L}$ 는 $\mathbf{\Gamma}_{M-L-1}$ 로 바뀐다. 역확산 이후의 GPS 신호 전력은 잡음 전력 레벨과 비교하여 월등히 높으므로 자체 부분공간을 형성하여, GPS 신호의 AOA는 역확산기 출력벡터를 기반으로 한 AOA 추정값에 포함된다. 역확산 이후의 AOA 추정 정보에 GPS AOA가 포함되지만 간섭신호들의 AOA도 추정값들에 포함되어 있으므로 어떤 AOA가 GPS 신호의 AOA 인지 결정할 수 없다.

역확산 이전에 추정한 AOA 정보들은 GPS를 제외한 간섭들의 AOA 들만 포함하고, 역확산 이후에 추정한 AOA 정보들은 GPS 및 간섭신호들의 AOA를 포함한다. 역확산 이전과 이후의 간섭신호들의 AOA 들은 서로 일치하므로, 역확산 이후의 AOA 정보들에 포함되고 역확산 이전의 AOA 정보들에 포함되지 않는 AOA 값을 GPS 신호의 AOA로 결정한다. 그림 2는 제안된 알고리즘의 기본 순서도이다. 위의 방법으로 추정된 GPS 신호의 AOA는 간섭제거 및 GPS

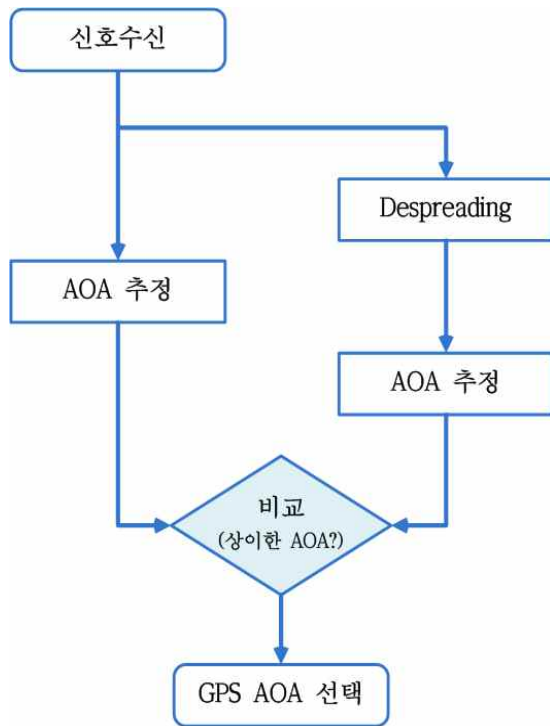


그림 2. GPS AOA 선택 알고리즘 기본 순서도
 Fig. 2. Flow-Chart for GPS AOA Choosing Algorithm

신호의 효과적인 수신을 위해 MVDR(minimum-variance-distortionless-response)[11]이나 GSC(generalized sidelobe canceler)[7]와 같은 적응 어레이 기반의 빔형성기에 적용된다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 제안된 GPS 신호의 AOA 선택 알고리즘 성능확인을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시한다. 시뮬레이션을 위해 여덟 개의 안테나 어레이 요소들($M=8$)을 사용한다고 가정하였고, 수신신호는 두 가지 시나리오를 고려하였다. 첫 번째 시나리오의 수신신호는 한 개의 GPS 신호, 두 개의 CW (continuous-wave) 간섭신호, 두 개의 FM(frequency-modulated) 간섭신호, 두 개의 WB (wideband) 잡음 간섭신호, AWGN(additive white Gaussian noise) 등을 포함한다. 첫 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 2에 요약되어 있다. 두 번째 시나리오의 수신신호는 한 개의 GPS 신호, 한 개의 CW 간섭

표 2. 첫 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오
 Table 2. First Scenario for Computer Simulations

신호	방위각 (°)	고도각(°)	중심 주파수
GPS	81	71	-
CW	52, -41	71, 71	0.14, 0.24
FM	-71, 38	71, 71	0.20, 0.45
WB	10, -12	71, 71	0.05, 0.35

표 3. 두 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오
 Table 3. Second Scenario for Computer Simulations

신호	방위각 (°)	고도각(°)	중심 주파수
GPS	25	-82	-
CW	-85	-82	0.41
FM	54, -42	-82, -82	0.07, 0.19
WB	87	-82	0.29
Pulsed	39, -16	-82	-, -

신호, 두 개의 FM 간섭신호, 한 개의 WB 잡음 간섭신호, 두 개의 구형파 간섭신호, AWGN 등을 포함한다. 구형파 간섭신호들은 각각 50 샘플과 500 샘플의 on/off 주기 신호로 가정한다. 두 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 3에 요약되어 있다. GPS 신호의 신호 대 잡음비(SNR; signal-to-noise ratio)는 -30dB로 가정하고, 각 간섭(또는 jammer) 신호들의 간섭 대 신호비(JSR: jammer-to-signal ratio)는 60dB로 가정한다. 또한, FM 간섭신호의 변조 인덱스(modulation index) β 는 0.05이며, 정규화(normalized)된 변조 주파수 f_m 은 0.001이다. 시뮬레이션의 편의상 각 시나리오의 모든 신호의 고도각은 같은 것으로 가정한다.

그림 3은 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼을 나타낸다. 그림 3에서 두 개의 CW 간섭신호, 두 개의 FM 간섭신호, 두 개의 WB 잡음 간섭신호를 확인할 수 있다. GPS 신호 전력은 간섭신호 전력 레벨에 비해 현저히 낮으므로 그림 2에서 GPS 신호의 스펙트럼은 확인할 수 없다. 그림 4는 첫 번째 시나리오의 역확산 이전 수신신호를 기반으로 한 MUSIC 비용함수(cost function)를 나타낸다. 그림 4로부터 여섯 개의 간섭신호들에 대한 여섯 개의 피크들을 확인할 수 있다. 그림 5는 첫 번째 시나리오의 역확산 이후 수신신호를 기반으로 한 MUSIC 비용함수를 나타낸다. 그림 5로부터 역확산 이후의 MUSIC 비용함수는 한 개의 GPS 신호와 여섯 개의 간섭신호들에 대한 일곱 개의 피크들을 포함한다는 것을 확인할 수

있다. 그림 4에는 포함되지 않고, 그림 5에 포함되는 피크값에 해당하는 81° 를 첫 번째 시나리오의 GPS 방위각으로 선택한다. 첫 번째 시나리오와 같은 결과를 두 번째 시나리오의 결과에서도 확인할 수 있다.

그림 6은 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼을 나타내고, 한 개의 CW 간섭신호, 두 개의 FM 간섭신호, 한 개의 WB 잡음 간섭신호를 확인할 수 있다. 두 개의 구형파 간섭신호는 모든 주파수 대역에 걸쳐 존재한다. GPS 신호 전력은 첫 번째 시나리오와 마찬가지로 간섭신호 전력 레벨에 비해 현저히 낮으므로 그림 6에서 GPS 신호의 스펙트럼은 확인할 수 없다. 그림 7은 두 번째 시나리오의 역확산 이전 수신신호를 기반으로 한 MUSIC 비용함수를 나타낸다. 그림 7로부터 여섯 개의 간섭신호들에 대한 여섯 개의 피크들을 확인할 수 있다. 그림 8은 두 번째 시나리오의 역확산 이후 수신신호를 기반으로 한 MUSIC 비용함수를 나타낸다. 그림 8로부터 역확산 이후의 MUSIC 비용함수는 한 개의 GPS 신호와 여섯 개의 간섭신호들에 대한 일곱 개의 피크들을 포함한다는 것을 확인할 수 있다. 그림 4에는 포함되지 않고, 그림 5에 포함되는 피크값에 해당하는 25° 를 두 번째 시나리오의 GPS 방위각으로 선택한다.

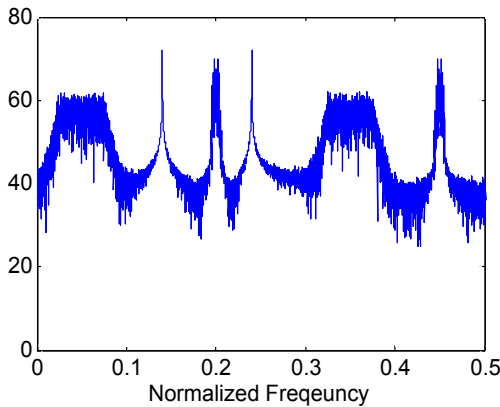


그림 3. 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼
Fig. 3. Received Signal Spectrum for First Scenario

V. 결 론

GPS 신호 수신 시 존재하는 다양한 고 전력의 간섭들을 제거하고 효율적인 GPS 데이터 수신을 위해 GPS 신호의 정확한 AOA 정보를 추정하는 것은 필수적이다. GPS 신호의 전력은 간섭이나 잡음 전력 레

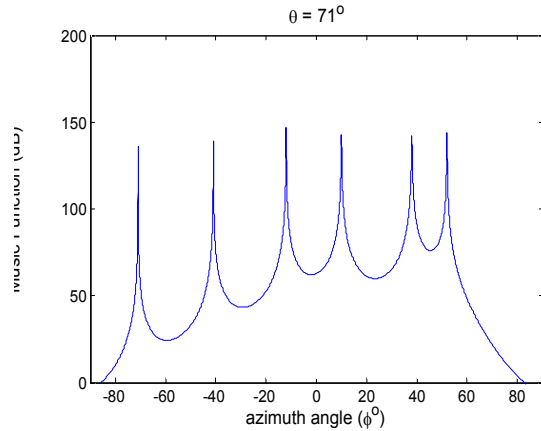


그림 4. 첫 번째 시나리오의 역확산 이전 MUSIC 비용함수

Fig. 4. MUSIC Cost Function Before Despreading for First Scenario

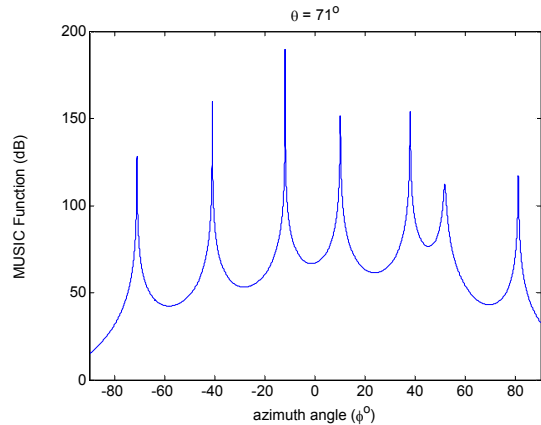


그림 5. 첫 번째 시나리오의 역확산 이후 MUSIC 비용함수

Fig. 5. MUSIC Cost Function After Despreading for First Scenario

벨에 비해 현저히 낮으므로 고 전력의 간섭이 존재할 시 역확산 전에 GPS AOA를 추정하는 것은 불가능하다. 또한, 역확산 이후의 AOA 추정 결과 값들은 간섭의 AOA 들도 포함하므로 추정된 결과들 중 GPS 신호의 AOA를 선택하여야만 한다. 본 논문에서는 수신 신호로부터 추정된 AOA 값들 중 GPS 신호의 AOA 정보를 효과적으로 선택할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 역확산 이전의 AOA 추정 값들은 GPS AOA를 포함하지 않지만, 역확산 이후의 GPS 신호 전력은 잡음 전력 레벨에 비해 현저히 높으므로 역확산 이후의 AOA 추정 결과는 GPS AOA를 포함하게 된다. 역확산 이전에는 존재하지 않고 역확산 이후에

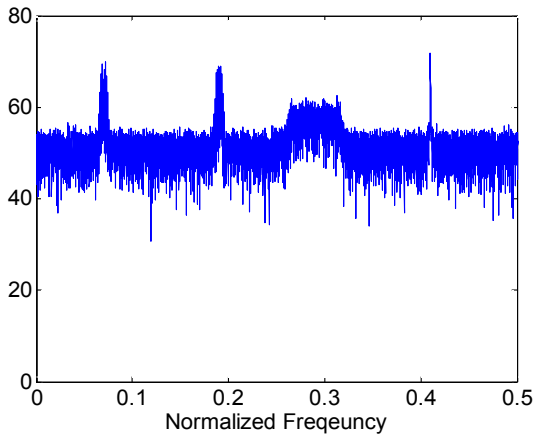


그림 6. 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼
Fig. 6. Received Signal Spectrum for Second Scenario

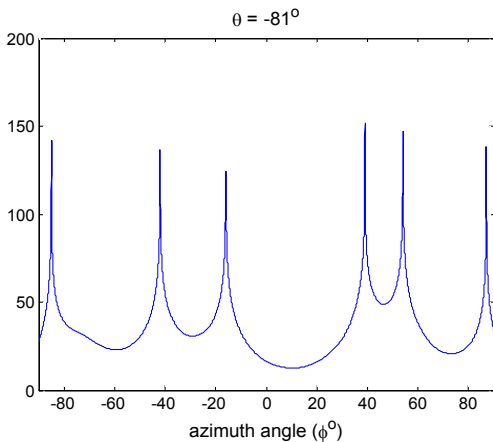


그림 7. 두 번째 시나리오의 역확산 이전 MUSIC 비용함수
Fig. 7. MUSIC Cost Function Before Despreading for Second Scenario

존재하는 AOA 값을 GPS AOA 값으로 결정한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 GPS AOA 선택 알고리즘에 대한 성능을 확인 하였다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0024811)

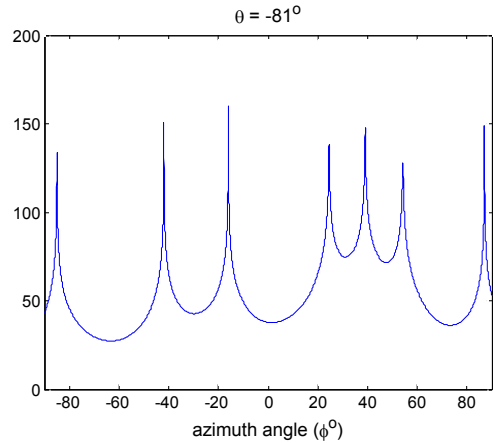


그림 8. 두 번째 시나리오의 역확산 이후 MUSIC 비용함수
Fig. 8. MUSIC Cost Function After Despreading for Second Scenario

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0020027)

참 고 문 헌

- [1] E.D. Kaplan and C. Hegarty, eds., *Understanding GPS: Principles and Applications*. Boston: Artech House, second ed., 2006
- [2] W. D. Wilde, J.-M. Sleewaegen, A. Simsky, C. Vandewiele, E. Peeters, J. Grauwen, and F. Boon, "New fast signal acquisition unit for GPS/Galileo receivers," in *Proc. IEEE/ION 2006 Position, Location, and Navigation Symposium*, (San Diego, CA), pp. 1074-1079, Apr. 2006.
- [3] Y.-T. LEE and J.-H. Lee, "Direction-finding method for cyclostationary signals in the presence of coherent sources," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 49, pp. 1821-1826, Dec. 2001.
- [4] F. Antreich, J. A. Nossek, G. Seco, and A. L. Swindlehurst, "The extended invariance principle applied to joint time-delay, frequency, and DOA estimation," in *Proc. IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2008*, (Las Vegas, NV), pp. 2485-2488, Apr. 2008.

- [5] C. D. Meyer, *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Philadelphia: siam, 2000.
- [6] M. S. Grewal, L. R. Weill, and A. P. Andrews, *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. New York: Wiley, 2001.
- [7] S. Hwang and J. J. Shynk, "Multicomponent receiver architecture for GPS interference suppression," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, pp. 489-502, Apr. 2006.
- [8] R. A. Mozingo and T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*. New York: Wiley, 1980.
- [9] S. Hwang and J. J. Shynk, "Blind GPS receiver with a modified despreader for interference suppression," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, pp. 503-513, Apr. 2006.
- [10] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [11] W. L. Myrick, J. S. Goldstein, and M. D. Zoltowski, "Low complexity anti-jam space-time processing for GPS," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, (Salt Lake City, UT), pp. 2233-2236, May 2001.

황 석 승 (黃錫丞)



1997년 2월 : 광운대학교 제어계측공학과 (공학사)

2001년 6월 : University of California, Santa Barbara, Dept. of Electrical & Computer Engineering(공학석사)

2006년 3월 : University of California, Santa Barbara, Dept. of Electrical & Computer Engineering(공학박사)

2006년 5월~2008년 3월 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008년 4월~현재: 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수
관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거, 무선통신, TPMS