
다수개의 GPS 신호들을 위한 혼합 역확산기와 널 역확산기 기반의 적응 어레이의 SINR 표현

황석승* · 김용재**

SINR Expression of an Adaptive Array Based on Composite and Null Despanders for Multiple GPS Signals

Suk-seung Hwang* · Yong-Jae Kim**

요 약

Global Positioning System (GPS)는 정확한 위치추정을 위해 최소 네 개의 위성들을 필요로 한다. 한 개의 일반적인 역확산기(despreader)는 한 개의 GPS 신호를 위해 동작하므로, 다수개의 GPS 신호들을 분리하기 위해서는 일반적으로 다수개의 역확산기들이 필요하다. 본 논문에서는 최근에 제안된 일반적인 역확산기와 널(null) 역확산기, 다중단계 CM (constant modulus) 어레이로 구성된 GPS 수신기의 다수개의 GPS 신호들을 검출하기 위한 확장에 대해 소개를 하고, 이에 따른 신호-대-간섭-및-잡음 비(SINR)에 대한 수학적 표현을 제시한다. 확대된 시스템은 방향성을 가지는 간섭을 제거하기 위해 GPS 신호들에 대한 정확한 도착각(DOA, direction of arrival)을 필요로 하지 않는다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다수개의 GPS 신호들에 대한 제안된 시스템의 간섭제거 성능을 보일 것이다.

ABSTRACT

In order to estimate the accurate location of a user, Global Positioning system (GPS) requires at least four satellites. Since a conventional despreader operate for an GPS signal of interest, we need multiple despanders for detecting multiple GPS signals. In this paper, we introduce the extension of the recently proposed system consisting of a null despreader, a conventional despreader, multi-stage CM (constant modulus) array, for the multiple GPS signals, and present the mathematical expression of the signal-to-interference-and-noise ratio (SINR). The extended system does not require the exact information of the direction of arrival (DOA) to suppress the directional interferences. We present the computer simulation to demonstrate the interference suppression performance of the proposed system for multiple GPS signals.

키워드

Global Positioning System, Interference Cancellation, Signal-interference-and-noise Ratio, Constant Modulus Array

1. 서 론

일반적인 GPS 수신기는 안테나 front-end,

A/D(analog-to-digital) 변환기, 신호처리를 위한 하드웨어/소프트웨어, 내비게이션을 위한 알고리즘 등으로 구성되어 있다 [1]. GPS는 연속파형(CW, continuous

* 조선대학교 메카트로닉스공학과
접수일자 : 2009. 10. 12

** 조선대학교 전기공학과
심사완료일자 : 2009. 11. 17

waveform), 주파수 변조(FM, frequency modulated), 광대역(WB, wideband) 잡음, 구형파 및 스푸퍼(spoof) 등과 같은 많은 종류의 고의적 또는 비고의적 신호들에 의해 간섭을 받는 저전력 직접 시퀀스 확산 스펙트럼(DSSS)방식을 사용한다. 본 논문에서는 [2]에서 제안된 널 역확산기 기반이고 GPS 신호들의 도착각의 정보 없이도 간섭을 제거할 수 있는 다수개의 안테나 시스템과 적응 신호처리 알고리즘에 대하여 소개 하고, 이에 따른 신호-대-간섭-및-잡음 비(SINR)에 대한 수학적 표현을 제시한다.

사용자의 위치와 시계오차(clock bias) 수정의 결정을 위하여 GPS는 32개의 위성[3]들로부터 최소한 네개의 사용가능한 위성들을 사용한다. 근래에 [4],[5],[6] 등에서 다수개의 GPS 신호들에 대한 간섭제거 기술들이 연구되어 왔지만, 이들 수신기들은 다수개의 역확산을 사용해야하므로 높은 계산량을 가지는 단점이 있다. 본 논문에서 소개되는 수신기는 혼합(composite) 역확산기와 널(null) 역확산기, GPS 신호들의 분리를 위한 다중단계 CM 어레이, GPS 데이터 비트들을 추정하기 위한 결정 장치 등으로 구성되어있다. 이 시스템은 정확한 도착각 정보 없이 방향성을 가지는 간섭신호들을 제거하고, 다수개의 원하는 GPS 신호들을 검출할 수 있다. 또한, 전체적으로 단지 두 개의 역확산기와 한 개의 상관 행렬(correlation matrix)만 필요하므로, 상당히 적은 계산량을 가진다.

II. 수신신호 모델

본 논문에서는 BPSK(binary phase-shift keying)을 사용하므로 CM 특성을 가지는 코드 획득(coarse acquisition, C/A) 코드[7]의 검출을 고려한다. M 개의 안테나 어레이 요소들을 가지는 수신기에 대하여 샘플 인덱스 k 에서의 수신신호 벡터 모델은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{D}_c \begin{bmatrix} c_1(k)b_1(k) \\ \vdots \\ c_K(k)b_K(k) \end{bmatrix} + \mathbf{D}\mathbf{j}(k) + \mathbf{v}(k) \quad (1)$$

식 (1)에서 K 는 GPS 위성들의 수를 뜻하고, \mathbf{D}_c (사이

즈 $M \times K$)와 \mathbf{D} (사이즈 $M \times L$, L 은 간섭신호들의 수)의 열들은 GPS 위성과 간섭신호들 각각의 도착각 어레이 응답 벡터들을 나타내며, $\mathbf{j}(k)$ (사이즈 L)은 간섭신호들을 포함하고, $\mathbf{v}(k)$ (사이즈 M)은 iid(independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 AWGN (additive white Gaussian noise) 벡터 (평균:0, 분산: σ^2)를 뜻한다. 또한, $c_i(k)$ 는 사이클로스테이션너리(cyclostationary) PRN(pseudorandom noise) 코드 (길이 $N=20 \times 1023$)이고, $b_i(k)$ 는 PRN 코드의 한 사이클 동안 같은 상수인 GPS 데이터 비트를 나타낸다. 우리는 수신기가 [8]과 [9]에서 자세히 설명되어 있는 격자 안테나 어레이(사이즈 $P \times Q$, $M=PQ$)를 사용한다고 가정한다.

III. 다수개의 GPS 신호를 위한 수신기

본 장에서는 다수개의 GPS 신호들을 위한 혼합 역확산기와 널 역확산기 기반의 블라인드(blind) 다중요소 수신기에 대하여 소개한다. 그림 1은 전체 수신기 구조의 블록 다이어그램을 나타낸다.

3.1 혼합 역확산기와 널 역확산기

PRN 코드는 각 위성에 대하여 고유의 20개의 동일한 C/A 코드들로 구성되어 있으므로 i 번째 위성에 대한 PRN코드는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\mathbf{c}_i = [\mathbf{c}_{a_i}, \dots, \mathbf{c}_{a_i}]^T, \quad i = 1, \dots, K \quad (2)$$

식 (2)에서 \mathbf{c}_{a_i} 는 길이 1023의 C/A 코드를 뜻한다. 우리는 $i = 1, \dots, K$ 번째 위성들이 원하는 GPS 신호들을 전송한다고 가정한다. K 개의 위성들에 대한 모든 PRN 코드들을 포함하는 다수개의 GPS 신호들에 대한 혼합된 PRN 코드는 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$\bar{\mathbf{c}} = \sum_{i=1}^K \mathbf{c}_i \quad (3)$$

$i \neq j$ 일 때, $\mathbf{c}_i^T \mathbf{c}_j = N$ 이고, $\mathbf{c}_i^T \mathbf{c}_i = -20$ 이므로, 혼합 역확산기의 출력은 식 (4)로 주어진다.

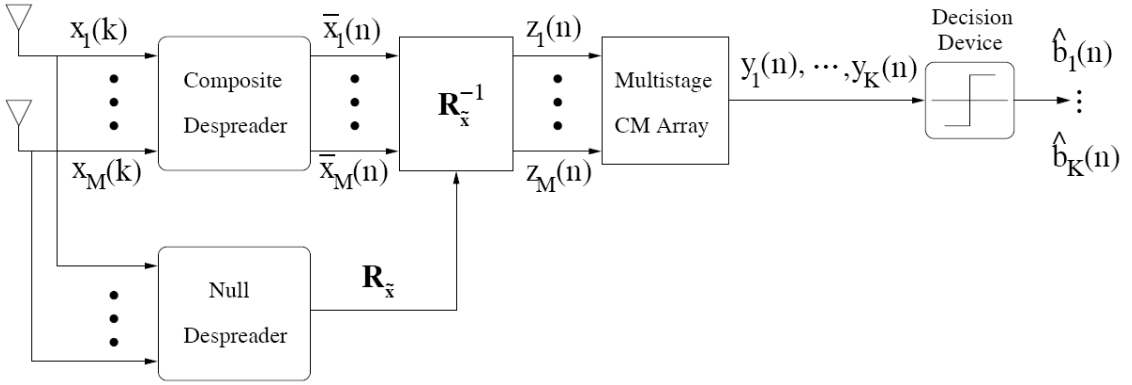


그림 1. 다수개의 GPS 신호들을 위한 널 역확산기와 혼합 역확산기 기반의 다중요소 수신기 구조
 Fig. 1 Multi-component receiver architecture based on a null despreader and a composite despreader for multiple GPS signals

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{x}}(n) &= \mathbf{X}(n)\bar{\mathbf{c}} \\ &= \mathbf{D}_c(N-20(K-1)) \begin{bmatrix} b_1(n) \\ \vdots \\ b_K(n) \end{bmatrix} \\ &\quad + \mathbf{D}\bar{\mathbf{j}}(n) + \bar{\mathbf{v}}(n) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 $\mathbf{X}(n) = [\mathbf{x}(k), \dots, \mathbf{x}(k+N-1)]$, $\bar{\mathbf{j}}(n) = \mathbf{J}(n)\bar{\mathbf{c}}_i$, $\mathbf{J}(n) = [\mathbf{j}(k), \dots, \mathbf{j}(k+N-1)]$, $\bar{\mathbf{v}}(n) = \mathbf{V}(n)\bar{\mathbf{c}}_i$, $\mathbf{V}(n) = [\mathbf{v}(k), \dots, \mathbf{v}(k+N-1)]$ 이다.

다수개의 GPS 신호들을 위한 널 역확산 코드는 열 개의 동일한 $\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}$ 와 열 개의 동일한 $-\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}$ 를 포함한다. $\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}$ 는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a} = \sum_{i=1}^K \mathbf{c}\mathbf{a}_i \quad (5)$$

예를 들어 널 역확산 코드는 식 (6)과 같이 정의될 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{c}} = [\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}, -\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}, \dots, \tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}, -\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a}]^T \quad (6)$$

$\mathbf{c}\mathbf{a}_i^T \tilde{\mathbf{c}}\mathbf{a} = 1023 - (K-1)$ 이고 $\mathbf{c}_i^T \tilde{\mathbf{c}} = 0$ 이므로 널 역확산기의 출력은 식 (7)로 주어진다.

$$\tilde{\mathbf{x}}(n) = \mathbf{X}(n)\tilde{\mathbf{c}} = \mathbf{D}\bar{\mathbf{j}}(n) + \bar{\mathbf{v}}(n) \quad (7)$$

식 (7)에서 $\tilde{\mathbf{j}}(n) = \mathbf{J}(n)\tilde{\mathbf{c}}_i$ 이고 $\tilde{\mathbf{v}}(n) = \mathbf{V}(n)\tilde{\mathbf{c}}_i$ 이다. 식 (7)에서 널 역확산기의 출력신호는 간섭 신호들과 AGN (additive Gaussian noise)를 포함하지만, GPS 신호들은 포함하지 않는다.

널 역확산기를 기반으로 하여, 혼합 역확산기와 다중단계 CM 어레이는 방향성을 가지는 간섭신호들을 제거하고, 원하는 모든 GPS 신호들을 검출해 낼 수 있다. 자기상관 행렬 $\mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}} = E[\tilde{\mathbf{x}}(n)\tilde{\mathbf{x}}^H(n)]$ 를 정의하면, 수신기는 식 (8)을 생성한다.

$$\mathbf{z}(n) = \mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}}^{-1}\tilde{\mathbf{x}}(n) \quad (8)$$

$\mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}}$ 는 단지 간섭과 잡음 부분 공간(subspace)을 포함하므로 GPS 신호의 부분 공간에는 영향을 미치지 않는다. 그러므로 $\mathbf{z}(n)$ 은 원하는 GPS 신호들과 AGN 및 매우 낮은 전력을 가지는 제거된 간섭신호들의 성분만을 포함한다.

3.2 다중단계 CM 어레이

GPS 신호들은 CM 특성을 가지므로 GPS 신호를 추출하기 위해 그림 2에서 설명되는 i 번째 단계에 대한 다중단계 CM 어레이를 사용한 다음의 과정을 수행한다:

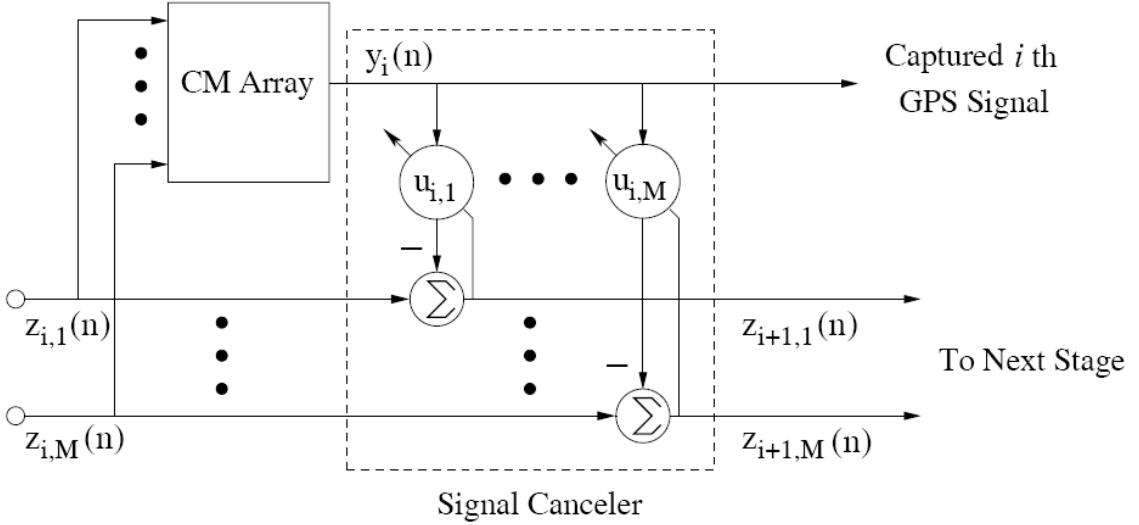


그림 2. 다중단계 CM 어레이의 i 번째 단계
Fig. 2 i th stage of the multi-stage CM array

$$\mathbf{z}_{i+1}(n) = \mathbf{z}_i(n) - \mathbf{u}_i(n)y_i^*(n) \quad (12)$$

- 출력신호는 식 (9)와 같이 주어진다.

$$y_i(n) = \mathbf{w}_{\text{cma},i}^H \mathbf{z}_i(n) \quad (9)$$

식 (9)에서 $\mathbf{z}_i(n)$ 은 입력 신호 벡터를 나타낸다. 여기서 구해진 출력은 적응 신호 제거기로 보내진다.

- 적응 가중치 벡터 $\mathbf{w}_{\text{cma},i}(n)$ 은 CMA(constant modulus algorithm)에 의해 갱신된다 [10]: $\mathbf{w}_{\text{cma},i}^H(n+1) = \mathbf{w}_{\text{cma},i}^H(n) + 2\mu_{\text{cma}}\mathbf{z}_i(n)\epsilon_i^*(n)$ (10) 식 (10)에서 $\mu_{\text{cma}} > 0$ 은 스텝-크기 매개변수이고 *은 켈레 복소수를 나타내며, 오차신호 $\epsilon_i(n)$ 는 식 (11)과 같이 정의된다.

$$\epsilon_i(n) = \frac{y_i(n)}{|y_i(n)|} - y_i(n) \quad (11)$$

- 적응 신호 제거기의 출력 신호 벡터는 식 (12)로 주어진다.

- 제거기 가중치 벡터 $\mathbf{u}_i(n)$ 은 식 (13)과 같이 LMS (least-mean-square) 알고리즘 [11]에 의해 갱신된다.

$$\mathbf{u}_i(n+1) = \mathbf{u}_i(n) + 2\mu_{\text{lms}}\mathbf{z}_i(n)y_i^*(n) \quad (13)$$

- 식 (13)에서 $\mu_{\text{lms}} > 0$ 은 스텝-크기 매개변수이다. CM 어레이 가중치들이 최적의 값으로 수렴할 때, 각 단계들은 원하는 한 개의 GPS 신호와 제거된 상태의 간섭들 및 AGN만을 포함하게 된다.

GPS 데이터 비트들은 실수이고 바이너리(binary)이므로, 최종적인 GPS 데이터 비트들을 구하기 위해 시그넘(signum)-함수 검파기를 식 (14)와 같이 사용한다.

$$\hat{b}_i(n) = [\text{real}[y_i(n)]], i = 1, \dots, K \quad (14)$$

IV. 널 역확산기 시스템에 대한 출력 SINR 표현

GPS 신호, 각 간섭 신호, 및 역확산 이후의 AGN

이 각각에 대하여 서로 독립이고 평균값이 '0'이라고 가정하면, i 번째 GPS 신호에 대한 널 역확산기 시스템의 신호-대-간섭 및 잡음 비(SINR)는 식 (15)와 같이 표현된다.

$$SINR_i = \frac{\alpha_i^2 (N - 20(K - 1))^2}{\sum_{l=1}^L \beta_{i,l}^2 \sigma_l^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^K \gamma_{i,k}^2 (N - 20(K - 1))^2 + \mathbf{w}_i^H \mathbf{R}_V \mathbf{w}_i} \quad (15)$$

식 (15)에서 \mathbf{w}_i 는 널 역확산 시스템에 대한 i 번째 단계 CM 어레이의 수렴된 가중치 벡터이고, 빔(Beam) 팩터(factor)는 $\alpha_i = \sigma_i |\mathbf{w}_i^H \bar{\mathbf{d}}_i|$ 로 정의되며, σ_i^2 는 역확산 전의 i 번째 GPS 신호 전력을 뜻하고, $\bar{\mathbf{d}}_i = \mathbf{T}_{i-1} \times \dots \times \mathbf{T}_1 \mathbf{R}_{\bar{\mathbf{x}}}^{-1} \mathbf{d}_i$ 이며, \mathbf{d}_i 는 i 번째 단계에서 검출되는 GPS 신호의 DOA 벡터이고, \mathbf{T}_i 는 식 (16)에서 정의된 널 역확산 시스템에 대한 신호 전이(transfer) 행렬이다.

$$\mathbf{T}_i = \mathbf{I}_M - \mathbf{u}_i \mathbf{w}_i^H \quad (16)$$

식 (16)에서 \mathbf{I}_M 은 크기 M 의 단위행렬을 나타내고, \mathbf{u}_i 는 식 (13)에 의해 수렴된 i 번째 단계 신호제거기의 가중치 벡터이다. 또한, 널링(nulling) 팩터 $\beta_{i,l}$ 는 $\beta_{i,l} = \sigma_i |\mathbf{w}_i^H \bar{\mathbf{d}}_{i,l}|$ 로 정의되며, $\bar{\mathbf{d}}_{i,l} = \mathbf{T}_{i-1} \times \dots \times \mathbf{T}_1 \mathbf{R}_{\bar{\mathbf{x}}}^{-1} \mathbf{d}_{i,l}$ 이고, $\sigma_l^2 = E[\mathbf{j}_l(n) \bar{\mathbf{c}} \bar{\mathbf{c}}^T \mathbf{j}_l^H(n)]$ 은 역확산 후의 l 번째 간섭 신호의 전력을 나타내며, 널링 팩터 $\gamma_{i,k}$ 는 $\gamma_{i,k} = \sigma_i |\mathbf{w}_i^H \bar{\mathbf{d}}_{i,k}|$ 로 정의되며, $\bar{\mathbf{d}}_{i,k} = \mathbf{T}_{i-1} \times \dots \times \mathbf{T}_1 \mathbf{R}_{\bar{\mathbf{x}}}^{-1} \mathbf{d}_k$ 이고, \mathbf{d}_k 는 $k(k \neq i)$ 번째 GPS 신호의 DOA 벡터를 뜻하며, 자기상관 행렬 $\mathbf{R}_V = E[\mathbf{V}(n) \bar{\mathbf{c}} \bar{\mathbf{c}}^T \mathbf{V}^H(n)]$ 으로 정의된다. 식 (17)은 식 (15)를 dB 스케일로 나타낸 것이다.

$$SINR_i \text{ (dB)} = 20 \log_{10}(N - 20(K - 1)) - 20 \log_{10}(\alpha_i) - 10 \log_{10}(\mathbf{w}_i^H \mathbf{R}_V \mathbf{w}_i) \text{ (dB)} \quad (17)$$

V. 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 소개된 시스템의 간섭제거 성능을 보이기 위한 컴퓨터 시뮬레이션이 제시된다. 표 1에 요약된 수신신호는 각기 다른 신호-대-잡음 비(SNR)를 가지는 네 개의 GPS 신호들, 한 개의 FM 간섭, 한 개의 WB 잡음 간섭, 천개의 샘플 on/off 주기를 가지는 한 개의 펄스(pulsed) 간섭, AWGN 등을 포함한다. 시뮬레이션에서 $M=8$ 의 안테나 어레이 요소(element)들을 사용하였으며, 각 간섭들의 간섭-대-신호 비(jammer-to-signal ratio, JSR)은 60 dB이고, 협대역 FM 간섭의 복조 인덱스는 $\beta=0.05$, 정규화된(normalized) 복조 주파수는 $f_m=0.001$ 로 가정하였다.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오

신호	방위각(°)	고도각(°)	중심 주파수
GPS	-46, 37, 82, -65	-14, 77, -14, -14	-
FM	67	-51	0.2
WB	21	-51	0.35
Pulsed	-31	-51	-

제안된 시스템의 출력 신호와 수신신호의 스펙트럼(spectrum)을 비교하기 위하여 [2]에서 설명된 것과 같이 단지 시뮬레이션을 목적으로 제안된 시스템을 변형시킨다. 이와 같이 시스템을 변형시키는 이유는 i 번째 단계의 CM 어레이 출력 $y_i(n)$ 과 수신신호 $\mathbf{x}(k)$ 의 시간 인덱스가 다르므로, 두 신호의 스펙트럼들을 직접 비교할 수 없기 때문이다. i 번째 CM 어레이에 대한 출력은 식 (18)과 같이 주어진다.

$$y_i(k) = \mathbf{w}_{\text{cma},i}^H \mathbf{x}(k) \quad (18)$$

식 (18)에서 $\mathbf{w}_{\text{cma},i}$ 식 (10)에 의해 갱신되어 수렴된 CM 어레이 가중치 벡터이고, 이 벡터는 CM 어레이 부분에 복사되어 사용된다.

그림 3(a)와 (b)는 수신신호와 제안된 수신기의 출력신호의 스펙트럼들을 보인다. 그림으로부터 시스템은 모든 간섭신호를 확실하게 제거했음을 관찰할 수 있다. 그림 4는 서로 다른 SNR 값 들을 가지는 다수

개의 GPS 신호들을 위한 널 역확산 시스템과 MVDR (minimum-variance-distortionless-response) 빔포머(beamformer)의 시물레이션 된 SINR을 비교한 것이다. 제안된 시스템이 블라인드하게 동작하지만, SINR은 MVDR의 SINR과 유사하다는 것을 확인할 수 있다.

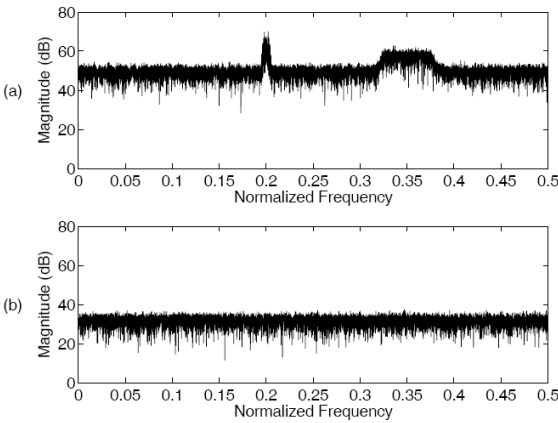


그림 3. 신호 스펙트럼(SNR = -28 dB) (a) 수신신호 (b) 널 역확산 시스템의 출력신호
Fig. 3 Signal spectra (SNR = -28dB) (a) received signal (b) output signal of the null despreader system

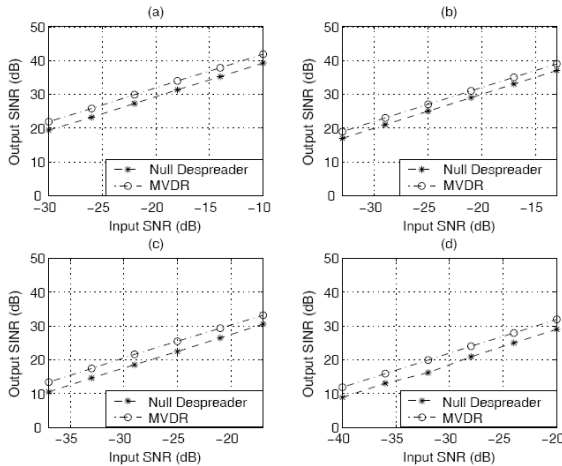


그림 4. 서로 다른 SNR 값을 가지는 다수개의 GPS 신호들을 위한 널 역확산 시스템과 MVDR 빔포머의 출력 SINR 성능: $SNR_1 = SNR_2 + 3dB = SNR_3 + 7dB = SNR_4 + 10 dB$ (SNR_i 는 i 번째 GPS 신호의 SNR을

뜻한다) (a) 첫 번째 GPS 신호 (b) 두 번째 GPS 신호 (c) 세 번째 GPS 신호 (d) 네 번째 GPS 신호

VI. 결론

본 논문에서는 근래에 제안된 널 역확산기와 CM 어레이 기반의 블라인드(blind) 다중요소 간섭제거 시스템을 원하는 다수개의 GPS 신호들을 검출해내기 위해 발전시켰으며, 그에 따른 시스템의 SINR 표현을 제시하였다. 한 개 이상의 GPS 신호들을 처리하기 위해 혼합 역확산기와 단일-단계 CM 어레이 대신 다중-단계 CM 어레이를 사용하였다. 본 논문에서 소개된 수신기는 정확한 DOA 정보 없이 간섭 신호들을 제거할 수 있으며, 혼합 역확산기와 널 역확산기의 단지 두 개의 역확산기만으로도 다수개의 GPS 신호들을 검출할 수 있다. 또한, 소개된 시스템은 GPS 신호의 수에 관계없이 단지 한 개의 상관 행렬과 두 개의 역확산기만 필요하므로, MVDR과 같은 일반적인 수신기에 비해 낮은 복잡도를 가진다. 컴퓨터 시물레이션을 통해 각종 간섭들을 제거하기 위해 소개된 시스템의 성능과 출력 SINR의 결과에 대한 성능을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. S. Braasch and A. J. Van Dierendonck, "GPS receiver architectures and measurements", Proc. IEEE, Vol. 87, pp.48-64, Jan. 1999.
- [2] S. Hwang and J. J. Shynk, "A blind adaptive GPS receiver based on a null despreader", in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., (Dallas, TX), Sept. 2005.
- [3] M. S. Grewal, L. R. Weill, and A. P. Andrews, Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. New York: Wiley, 2001.
- [4] 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.
- [5] D. -J. Moelker and Y. Bar-Ness, "An optimal array processor for GPS interference cancellation", in Proc.

Fifteenth AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conf., (Atlanta, GA), pp.285-291, Oct. 1996.

[6] T.-T. Lin, "A novel beamformer with multipath signal reception", in Proc. IEEE National Aerospace and Electronics Conf., (Dayton, OH), pp. 638-644, Oct. 2000.

[7] E. D. Kaplan, ed., Understanding GPS: Principles and Applications. Boston: Artech House, 1996.

[8] S. Hwang, R. E. Cagley, and J. J. Shynk, "A blind interference canceler for GPS signals based on the CM array", in Proc. Thirty-Seventh Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, (Pacific Grove, CA), pp. 192-196, Nov. 2003.

[9] R. A. Mozingo and T. W. Miller, Introduction to Adaptive Arrays. New York: Wiley, 1980.

[10] J. R. Treichler and M. G. Larimore, "The tone capture properties of CMA-based interference suppressors", IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-33, pp. 946-958, Aug. 1985.

[11] B. Widrow and S. D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.

저자 소개



황석승(Suk-seung Hwang)

1997년 2월 : 광운대학교 제어계측 공학과 (공학사)

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

2006년: University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department (공학박사)

2006.5~2008.3: 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008.3 - 현재: 조선대학교 메카트로닉스공학과 전임 강사

※관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이 동로봇용 위치추정, 간섭제거



김용재(Yong-Jae Kim)

1996년 2월: 조선대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

2001년 2월: 일본 Musashi Institute of Technology 대학원 공학연구과 전기공학전공 졸업 (공학석사)

2006년 2월: 일본 Musashi Institute of Technology 대학원 공학연구과 전기공학전공 졸업 (공학박사)

2006~2007: 일본 무라타 기계 (주) 연구원 및 Musashi Institute of Technology 객원연구원

2007.9 - 현재 조선대학교 전기공학과 조교수

※관심분야 : 각종 전기기기 자기해석 및 개발, 제어분야