creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266732

2018년 2월

석사학위 논문

적응 빔형성기 기반의 위성 시스템 구조 연구

조선대학교 대학원

전자공학과

문 지 윤

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

적응 빔형성기 기반의 위성 시스템 구조 연구

Study of satellite system architecture based on adaptive beamformer

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

전자공학과

문 지 윤

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

적응 빔형성기 기반의 위성 시스템 구조 연구

지도교수 황 석 승

이 논문을 공학석사학위 신청 논문으로 제출함

2017년 10월

조선대학교 대학원

전자공학과

문 지 윤

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

문지윤의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 이 충 규 (인)

위 원 조선대학교 교수 오 순 수 (인)

위 원 조선대학교 교수 황 석 승 (인)

2017년 11월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

도 목 차 ····· iii
표 목 차 ····· iv
ABSTRACT ····· v

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구배경 ····· 1
제2절 연구목적 및 방법 ····· 2

제2장 신호정보 수집 시스템의 수신신호 모델 ····· 3
제1절 시스템의 수신신호 모델 ····· 4
제2절 신호 특성 분석 ····· 6
제3절 컴퓨터 시뮬레이션 ····· 8

제3장 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템 ····· 14
제1절 도래각 추정기법 ····· 16
제2절 간섭 제거기와 신호처리 및 D/B 유닛 ····· 18
제3절 송신 빔형성기 ····· 20
제4절 시스템 성능평가 ····· 22

제4장 결론 ····· 40

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Reference 41

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도 목 차

그림 2.1 신호정보 수집을 위한 위성 시스템 ····· 4
그림 2.2 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 9
그림 2.3 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 11
그림 2.4 세 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 13
그림 3.1 제안된 위성 시스템의 구조 ····· 15
그림 3.2 도래각 추정 알고리즘 ····· 16
그림 3.3 간섭제거 알고리즘 ····· 18
그림 3.4 송신 빔포밍 알고리즘 ····· 20
그림 3.5 첫 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수 ····· 23
그림 3.6 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 24
그림 3.7 첫 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 ····· 24
그림 3.8 첫 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 SINR ····· 25
그림 3.9 첫 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴 ····· 26
그림 3.10 첫 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR ····· 27
그림 3.11 두 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수 ····· 29
그림 3.12 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 30
그림 3.13 두 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 ····· 30
그림 3.14 두 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 SINR ····· 31
그림 3.15 두 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴 ····· 32
그림 3.16 두 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR ····· 33
그림 3.17 세 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수 ····· 35
그림 3.18 세 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼 ····· 36
그림 3.19 세 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 ····· 36
그림 3.20 세 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력 SINR ····· 37
그림 3.21 세 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴 ····· 38
그림 3.22 세 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR ····· 39

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 2.1 첫 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오 ····· 8
표 2.2 두 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오 ····· 10
표 2.3 세 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오 ····· 12
표 3.1 수신신호에 대한 첫 번째 시뮬레이션 시나리오····· 22
표 3.2 송신신호에 대한 첫 번째 시뮬레이션 시나리오 ····· 26
표 3.3 수신신호에 대한 두 번째 시뮬레이션 시나리오····· 28
표 3.4 송신신호에 대한 두 번째 시뮬레이션 시나리오 ····· 32
표 3.5 수신신호에 대한 세 번째 시뮬레이션 시나리오····· 34
표 3.6 송신신호에 대한 세 번째 시뮬레이션 시나리오 ····· 38

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Study of satellite system architecture based on adaptive beamformer

Mun, Ji-Youn
Advisor : Prof. Hwang Suk-seung, Ph.D.
Dept. of Electronic Engineering
Graduate School of Chosun University

The adaptive beamformer based on the AOA estimation, interference cancellation, and transmission beamforming techniques is a cutting edge technology for efficient acquisition of various data. In order to effectively acquire data, it is necessary to estimate the accurate AOA of signal, and to suppress unnecessary interference signals.

In this thesis, we present the structure of a satellite system based on the adaptive beamformer consisted of an AOA estimator and an interference canceler, a signal processing and D/B unit, and a transmit beamformer, for efficient data acquisition. We, also, provide the received signal model including the desired signal, interference or jamming signal, and noise. For estimating AOA of various signals, we employ the Multiple Signal Classification (MUSIC) algorithm and, for efficiently suppressing high-power interference signals, we consider the Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) algorithm. In addition, we employ the Minimum Mean Square Error (MMSE) algorithm for efficiently transmitting the specific data, to a control center. Also, we provide computer simulation examples to show the performance of the presented satellite system based on adaptive beamformer.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서론

제1절 연구배경

최근 레이더, 위성 등과 같은 각종 첨단 장비를 활용하여 원하는 데이터를 획득하기 위한 통신 시스템 관련 기술이 각광을 받고 있다[1-3]. 대표적으로 데이터 획득을 위한 방법은 지상의 레이더 등에서 발생되는 데이터를 감지하고 분석하는 방법과 장비와 지상기지 간에 이루어지는 내용을 획득하는 방법 등이 있다[4-5]. 이러한 데이터 획득 기술은 통신, 방송, 기상관측, 위치확인 및 군사통신 등의 분야에서 다양하게 활용되고 있으며[6-8], 위성을 이용한 데이터 전송 및 획득 기술에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 위성 환경에서 효율적으로 데이터를 획득하기 위해서는 정확한 신호의 방향 탐지가 필요하다. 또한, 위성에서 획득되는 데이터는 상대적으로 신호의 전력이 매우 작아 잡음 및 간섭에 취약하므로 적절한 간섭제거 기술이 필요하며[9-11], 획득된 데이터를 지상 관제센터로 송신 할 시, 각종 고의적/비고의적 간섭 및 재밍 신호에 상당한 영향을 받을 수 있으므로 효율적인 송신 빔형성 기법이 필요하다.

본 연구에서는 효율적으로 미소전력 데이터를 획득하고 송신하기 위해 위성 환경에 최적화된 도래각 (: Angle-of-Arrival, AOA) 추정기법[12-16], 간섭제거 기술[17-19], 송신 빔형성(Beamformer)[20-22] 기법이 탑재된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 구조를 제안한다. 또한, 제안된 시스템의 입력으로 사용되는 간섭과 잡음이 포함된 신호 모델을 제시하고, 이 신호에 포함될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석한다. 제시된 신호 모델은 본 연구에서 제안된 적응 빔형성 위성 시스템의 성능평가에 적용된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 연구목적 및 방법

본 연구에서는 위성 환경에서 효율적으로 데이터를 획득하기 위해 도래각 추정기와 적응 빔형성기 및 송신 빔형성 기술이 탑재된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 구조를 제안한다. 또한, 제안된 시스템의 성능평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 연구수행 방법은 다음과 같다.

1. 데이터 획득을 위한 송/수신 시스템의 입력신호 모델 분석

위성 환경에서 원하는 데이터를 획득하는 기술을 개발하기 위해서는 시스템의 성능평가를 위한 수학적 신호 모델이 필요하다. 본 연구에서는 효율적인 데이터 획득을 위한 송/수신 시스템의 입력 신호로 사용이 가능한 수신신호 모델을 제시한다. 또한, 제시된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 다양한 신호들을 분석하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다.

2. 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템 구조

신호의 도래각 추정과 간섭제거 기술 및 송신 빔형성 기술 등은 효율적인 데이터 획득을 위한 핵심 기술들이다. 본 연구에서는 이러한 핵심 기술들이 탑재된 적응 빔형성기 기반의 효율적인 데이터 획득 시스템의 구조를 제안한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 신호정보 수집 시스템의 수신신호 모델

본 연구에서 제시된 적응 빔형성 기반의 송/수신 시스템은 신호의 도래각 추정기법, 간섭제거 기술 및 송신 빔형성 기법 등이 탑재되어 간섭과 잡음이 존재하는 환경에서 효율적으로 원하는 신호의 정보를 수집 할 수 있게 설계되어 있다. 간섭이 존재하는 환경에서 효율적으로 원하는 신호의 정보를 수집하는 기술을 개발하기 위해서는 시스템에 적용 가능한 수학적 수신신호 모델이 필요하다. 본 장에서는 적응 빔형성 기반의 송/수신 시스템의 입력으로 사용 될 수 있는 수신신호 모델을 제시하고, 제시된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 여러 가지 신호들을 분석한다. 또한, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다. 본 절에서 수신신호 모델에 적용하기 위해 고려한 신호들은 CW(: Continuous Wave) 신호, WB(: Wideband) 잡음 신호, PULSE 신호, AM(: Amplitude Modulation) 신호, FM(: Frequency Modulation) 신호, PM(: Phase Modulation) 신호 등이다[23-24]. 신호정보 수집을 위한 송/수신 시스템의 입력이 되는 수신신호 모델은 MUSIC(: Multiple Signal Classification)[25-28] 알고리즘이나 CAPON 기법과 같은 신호 도래각 추정 알고리즘과 MVDR(: Minimum Variance Distortionless Response)[29-32] 기법이나 GSC(: Generalized Sidelobe Canceller)[33-34]와 같은 적응 간섭제거 빔형성기 및 MMSE(: Minimum Mean Square Error)[35-37] 기반의 송신 빔형성기의 성능평가에 효과적으로 적용될 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1절 시스템의 수신신호 모델

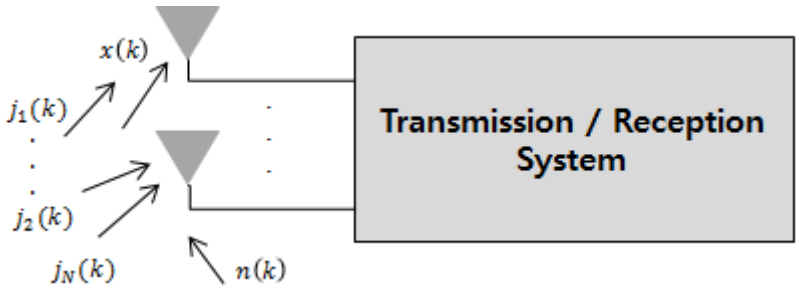

그림 2.1 신호정보 수집을 위한 위성 시스템

본 절에서는 신호정보 수집을 위한 위성 시스템의 입력이 되는 간섭 신호와 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제시한다. 그림 2.1은 원하는 신호, 간섭 신호, 잡음 등이 신호정보 수집을 위한 송/수신 시스템의 안테나에 수신되는 개략도를 나타낸다. 안테나가 M개의 어레이 요소를 가진다고 가정하면, 샘플(sample) 인덱스 k에 대한 수신신호는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$v(k) = x(k) + \sum_{i=1}^{N} j_i(k) + n(k) \tag{1}$$

식 (1)에서 $x(k)$는 원하는 신호이고, $j_i(t)$은 i번째 간섭신호, N은 간섭신호의 개수이며, $n(k)$는 i.i.d(independent identically distributed) 특성을 가지는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다.

도래각을 고려한 수신신호 벡터는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{v}(k) = \mathbf{a}_x x(k) + \mathbf{A}\mathbf{j}(k) + \mathbf{n}(k) \tag{2}$$

식 (2)에서 $\mathbf{a}_x$는 $x(k)$에 대한 $M \times 1$ 크기의 어레이 응답 벡터이고, $\mathbf{A}$는 $M \times N$ 크기의 어레이 응답 행렬이며, $\mathbf{A}$의 열은 간섭신호의 도래각 어레이 응답 벡터이다. 또한 $\mathbf{j}(k)$는 $N \times 1$ 크기의 간섭신호 벡터이고, $\mathbf{n}(k)$은 $M \times 1$ 크기의 AWGN 잡음 벡터이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 연구에서 수신기는 [18]에서 묘사된 $P \times Q\,(M = PQ)$ 크기의 격자 안테나 어레이 구조를 사용한다고 가정한다. 어레이 응답 벡터의 l번째 열은 식 (3)과 같이 주어지며, 식 (4)와 (5)는 식 (3)에서 ξ_l과 ι_l에 대한 정의이다.

$$\mathbf{a}_l = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\xi_l} \\ \vdots \\ e^{-j(Q-1)\xi_l} \\ e^{-j\iota_l} \\ e^{-j(\xi_l+\iota_l)} \\ \vdots \\ e^{-j((Q-1)\xi_l+(P-1)\iota_l)} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\xi_l \triangleq 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right)\sin\theta_l\cos\phi_l \tag{4}$$

$$\iota_l \triangleq 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right)\sin\theta_l\sin\phi_l \tag{5}$$

식 (4)와 (5)에서 θ_l과 ϕ_l은 l번째 신호에 대한 고도각(elevation angle)과 방위각(azimuth angle)을 나타내며, d는 안테나 사이의 간격, λ는 신호의 파장이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 수신신호 특성 분석

본 절에서는 신호정보 수집을 위한 송/수신 시스템을 이용하여 수집 가능한 신호 또는 간섭신호로 고려될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석한다. 분석된 다양한 신호들은 본 연구에서 제안된 도래각 추정기법과 간섭제거 기술 및 송신 빔형성 기법이 탑재된 신호정보 수집 시스템의 입력으로 사용되어 시스템의 성능평가에 적용 된다.

1. CW 신호

식 (6)은 CW 신호에 대한 수식이다.

$$J_{CW}(k) = \Upsilon \exp(2\pi f_c k + \psi) \tag{6}$$

식 (6)에서 Υ는 신호 세기이고, f_c는 반송파의 주파수이며, ψ는 위상이다. CW 신호는 진동진폭이 일정하고 반송파만을 가지는 신호이며, 주파수 스펙트럼 영역에서 임펄스 형태를 보인다. 또한, 시간 영역에서 절대값이 일정한 CM(: Constant Modulus) 특성을 가진다.

2. PULSE 신호

PULSE 신호는 일정 주기를 가지고 펄스가 존재하고 부재하는 것을 반복하는 신호(on/off)이다. 펄스 신호의 대역폭(Bandwidth)은 무한대이므로 주파수 스펙트럼 영역에서 전 대역에 걸쳐 스펙트럼이 존재한다. 또한, 시간 영역에서는 임펄스의 형태를 보인다.

3. WB 잡음 신호

광대역(wideband) 잡음 신호는 특정 대역폭을 가지는 AGN(Additive Gaussian Noise) 신호이다. 주파수 스펙트럼 영역에서 특정 주파수 대역에 스펙트럼이 존재하는 형태를 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. AM 신호

식 (7)은 AM 신호에 대한 수식이다.

$$J_{AM}(k) = \Upsilon[1+\alpha m(k)]\exp(2\pi f_c k) \tag{7}$$

식 (7)에서 $\Upsilon[1+\alpha m(k)]$는 포락선을 나타내며, $m(k)$는 메시지 신호 파형이며, α는 변조 지수(modulation index)이다. AM 신호는 시간 영역과 주파수 영역에서 메시지 신호와 관련된 파형 및 스펙트럼을 가진다.

5. FM 신호

식 (8)은 FM 신호에 대한 수식이다.

$$J_{FM}(k) = \Upsilon\exp[2\pi f_c k+\beta\sin(2\pi f_m k)] \tag{8}$$

식 (8)에서 β는 변조 지수이며, f_m은 변조 주파수(modulation frequency)이다. FM 신호는 주파수 영역에서 특정 대역의 스펙트럼을 가진다. 또한, 시간 영역에서는 CW 신호와 같이 CM 특성을 가진다.

6. PM 신호

식 (9)는 PM 신호에 대한 수식이다.

$$J_{PM}(k) = \Upsilon\exp[2\pi f_c k+K_p m(k)] \tag{9}$$

식 (9)에서 $K_p m(k)$는 위상편이를 나타내며, K_p는 위상감도(phase sensitivity)이다. PM 신호는 FM 신호와 유사하게 주파수 영역에서 특정 대역의 스펙트럼을 가지고, 시간 영역에서 CM 특성을 가진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 제시된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 분석된 신호들의 특성을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 보인다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 세 가지의 시나리오를 고려하였다. 본 절에서 수행한 모든 컴퓨터 시뮬레이션에서 AM 신호의 변조지수 α는 0.05이고, FM 신호의 변조 인덱스 β는 0.05이며, 정규화 된 변조 주파수 f_m은 0.001이며, PM 신호의 위상감도 K_p는 0.001이다. PULSE 신호는 50 샘플의 on/off 주기 신호로 가정하였다. 또한, AM 신호와 PM 신호의 메시지 신호는 BPSK(: Binary Phase Shift Keying)로 가정하였다. 시뮬레이션 편의상 각 시나리오에서 모든 신호의 고도각(Elevation angle)은 같은 것으로 가정한다.

1. 첫 번째 시나리오

첫 번째 시나리오의 수신신호는 두 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 AM 신호, 두 개의 FM 신호 등을 포함한다. 첫 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 2.1에 요약되어 있으며, 시나리오에서 각 신호에 대한 SNR(: Signal-to-Noise Ratio)은 20dB로 가정하였다.

표 2.1 첫 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-32, 89	-73, -73	0.05, 0.3
WB	-157	-73	0.45
AM	21	-73	0.23
FM	-101, 152	-73, -73	0.15, 0.35

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

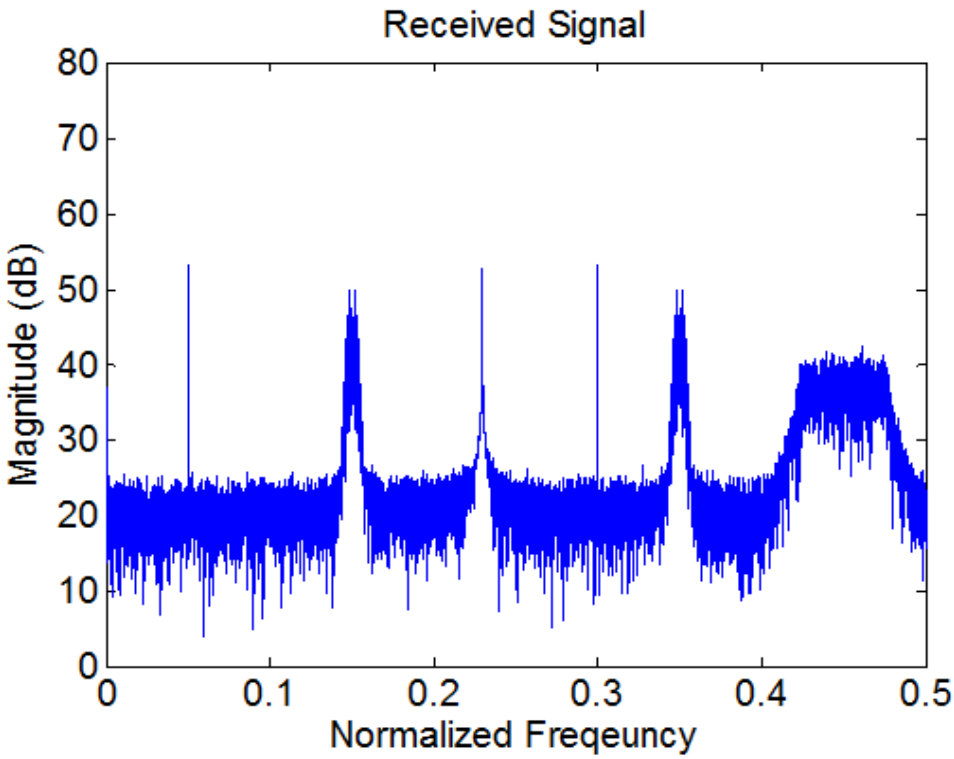

그림 2.2 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

그림 2.2는 첫 번째 시나리오의 수신신호에 두 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 AM 신호, 두 개의 FM 신호가 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화된 주파수 {0.05}와 {0.3}에서 CW 신호, {0.45}에서 WB 잡음 신호, {0.23}에서 AM 신호, {0.15}와 {0.35}에서 FM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 두 번째 시나리오

두 번째 시나리오의 수신신호는 한 개의 CW 신호, 두 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 FM 신호, 한 개의 PM 신호 등을 포함한다. 두 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 2.2에 요약되어 있으며, 시나리오에서 각 신호에 대한 SNR은 20dB로 가정하였다.

표 2.2 두 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	147	-81	0.15
WB	-113, 21	-81, -81	0.05, 0.35
Pulsed	89	-81	-
FM	-165	-81	0.25
PM	-43	-81	0.46

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

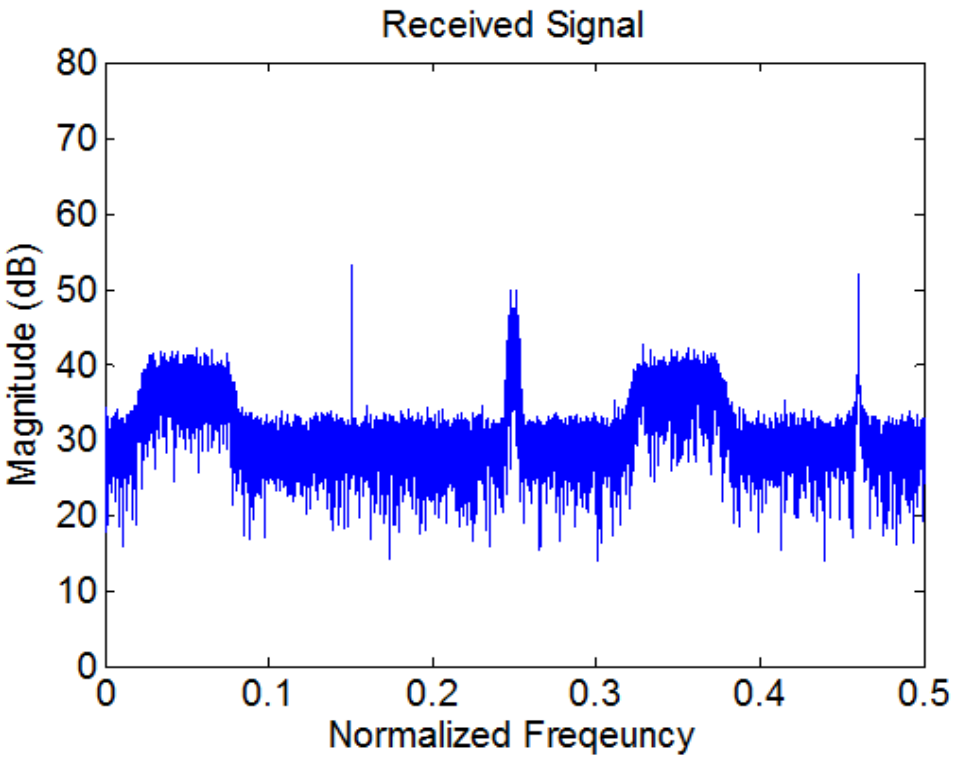

그림 2.3 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

그림 2.3은 두 번째 시나리오의 수신신호에 한 개의 CW 신호, 두 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 FM 신호, 한 개의 PM 신호가 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화 된 주파수 {0.15}에서 CW 신호, {0.05}와 {0.35}에서 WB 잡음 신호, {0.25}에서 FM 신호, {0.46}에서 PM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다. PULSE 신호는 무한대의 대역폭을 가지므로, 주파수 영역에서 전 대역에 걸쳐 분포하여 그림에서 확인할 수 없다. 그림 2.2와 그림 2.3을 비교해보면, PULSE 신호의 유무에 따라 스펙트럼의 절대값이 다르다는 것을 확인 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 세 번째 시나리오

세 번째 시나리오에서는 본 논문에서 고려한 모든 신호들인 CW 신호, WB 잡음 신호, Pulsed 신호, AM 신호, FM 신호, PM 신호가 수신신호에 각 한 개씩 포함된다. 세 번째 시나리오에 대한 각 신호들의 매개변수들은 표 2.3에 요약되어 있으며, 각 신호에 대한 SNR은 10dB로 가정하였다.

표 2.3 세 번째 컴퓨터 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-149	-77	0.15
WB	151	-77	0.25
Pulsed	-95	-77	-
AM	-38	-77	0.36
FM	21	-77	0.45
PM	73	-77	0.06

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

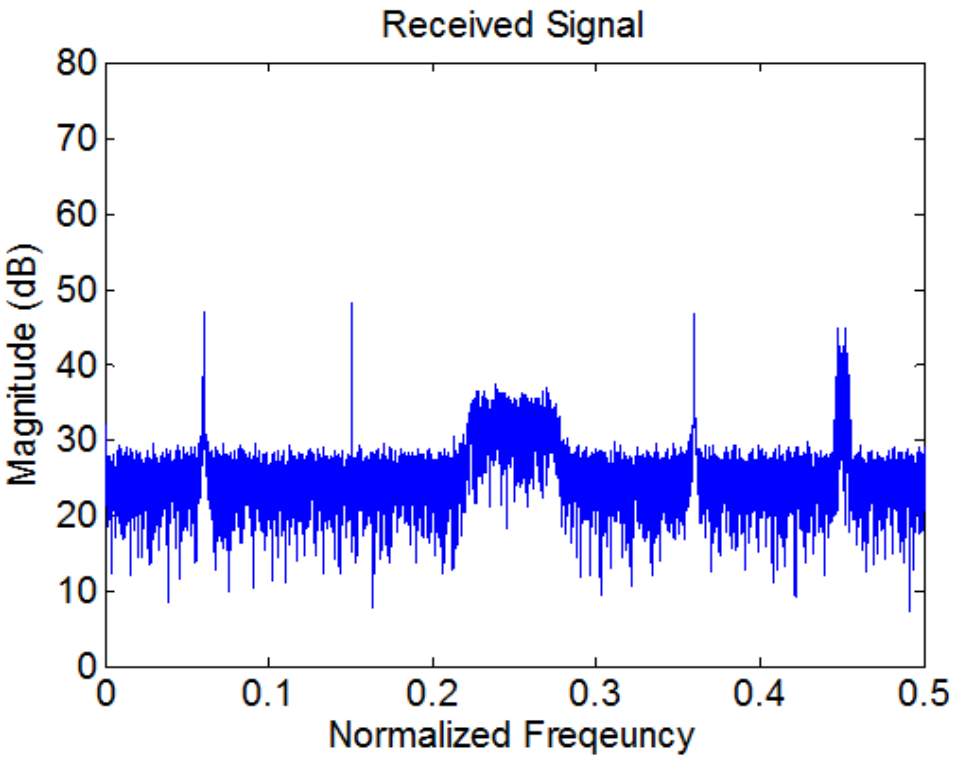

그림 2.4 세 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

그림 2.4는 세 번째 시나리오의 수신신호에 CW 신호, WB 잡음 신호, PULSE 신호, AM 신호, FM 신호, PM 신호가 한 개씩 포함된 경우에 대한 스펙트럼이다. 정규화 된 주파수 {0.15}에서 CW 신호, {0.25}에서 WB 잡음 신호, {0.36}에서 AM 신호, {0.45}에서 FM 신호, {0.06}에서 PM 신호에 대한 스펙트럼을 각각 확인할 수 있다. 세 번째 시나리오에서도 역시 PULSE 신호는 주파수 전 대역에 걸쳐 분포하여 그림에서 확인이 불가능하다.

본 절에서 분석된 신호들은 제안된 시스템의 입력으로 사용되어 원하는 신호 또는 간섭 신호로 고려될 수 있으며, 신호의 도래각 추정 알고리즘, 적응 빔형성기, 송신 빔형성기의 성능평가에 효율적으로 적용된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템

신호의 도래각 추정기법, 간섭제거 기술 및 송신 빔형성 기법 등으로 구성된 적응 빔형성기 기반의 신호정보 수집 시스템은 레이더나 위성 및 통신감청 등의 첨단 장비를 활용하여 신호를 분석하고 수집하는 최첨단 기술이다. 위성 환경에서 효과적으로 정보를 수집하기 위해서는 정확한 신호의 도래각 추정이 필요하며, 수집된 신호들에 포함된 불필요한 간섭제거 기술이 필요하다. 또한, 수집된 신호정보를 효율적으로 지상의 관제센터로 송신하기 위한 송신 빔형성 기법이 필요하다. 대표적인 신호의 도래각 추정 알고리즘에는 MUSIC과 ESPIRT(: Estimation Signal Parameter via a Rotational Invariant Technique)[38-40] 등이 널리 사용되고 있으며, 대표적인 간섭제거 기술로는 MVDR기법, LCMV(: Liner Convenience Minimum Variance)[41-42], GSC 기법 등이 있다. 송신 빔형성 기법에는 MMSE 기법, ZF(: Zero Forcing)[43-45] 기법 등이 대표적이다.

본 연구에서는 위성 환경에서 효율적으로 신호정보를 수집하기에 최적화된 도래각 추정기법과 불필요한 간섭 신호를 제거하기 위한 기술 및 위성에서 지상의 관제센터로 신호를 송신할 시, 간섭 신호 또는 재밍 신호에 대해 신호의 정보손실을 최소화하기 위한 송신 빔형성 기법 기반의 적응 빔형성기[46-47] 기반의 효율적인 신호정보 수집 시스템의 구조를 제안한다. 또한, 제안된 시스템의 입력으로 사용되는 간섭 신호와 잡음이 포함된 수신신호 모델을 제시하고, 이 신호에 포함될 수 있는 다양한 신호들에 대한 특성을 분석한다. 제시된 신호 모델은 본 연구에서 제안한 적응 빔형성기 기반의 신호정보 수집 시스템의 성능평가에 사용된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

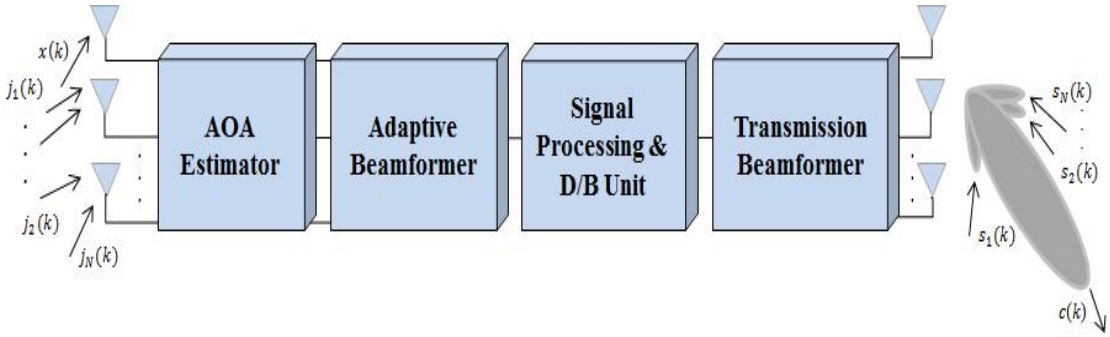

그림 3.1 제안된 위성 시스템의 구조

본 장에서는 도래각 추정기와 수신 간섭을 제거하기 위한 MVDR 기반의 적응 빔형성기, 정보저장 및 가공을 위한 신호처리 및 D/B 유닛, 효율적인 정보 전송을 위한 송신 빔형성기로 구성된 효율적인 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 구조를 제안한다. 제안된 위성 시스템의 구조는 다양한 간섭 신호 또는 재밍 신호가 존재하는 환경에서 원하는 신호의 정보를 효율적으로 수집하고, 지상의 관제센터로 down-link 할 수 있도록 설계되어 있다. 수신되는 다양한 신호의 정확한 도래각 추정을 위하여 우수한 성능을 보유한 MUSIC 알고리즘을 사용하며, 불필요한 간섭 신호 또는 재밍 신호를 효율적으로 제거하기 위해 MVDR 기법을 사용한다. 또한 수집된 신호정보를 지상의 관제센터로 효율적으로 송신하기 위해 MMSE 알고리즘을 사용한다. 제안된 시스템은 MUSIC 알고리즘을 사용하여 안테나를 통해 들어오는 수신신호들의 도래각을 추정한 뒤, 그 결과를 MVDR 적응 빔형성기에 적용하여 원하는 신호를 제외한 나머지 간섭 신호 또는 재밍 신호를 제거한다. 이러한 과정을 거쳐 수집된 신호들은 신호처리 및 D/B 유닛을 통하여 저장되고, 효율적으로 송신하기 위해 가공된다. 마지막으로 가공된 신호를 MMSE 송신 빔형성기에 적용하여 각종 간섭 신호에 영향을 받지 않고 신호의 왜곡 없이 지상으로 신호를 송신한다. 그림 3.1은 제안된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 구조를 보인다. 본 절에서 제안된 시스템의 성능평가를 위해 제 1절에서 제시된 신호 모델을 고려한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1절 도래각 추정 기법

1. 도래각 추정 알고리즘 기초조사

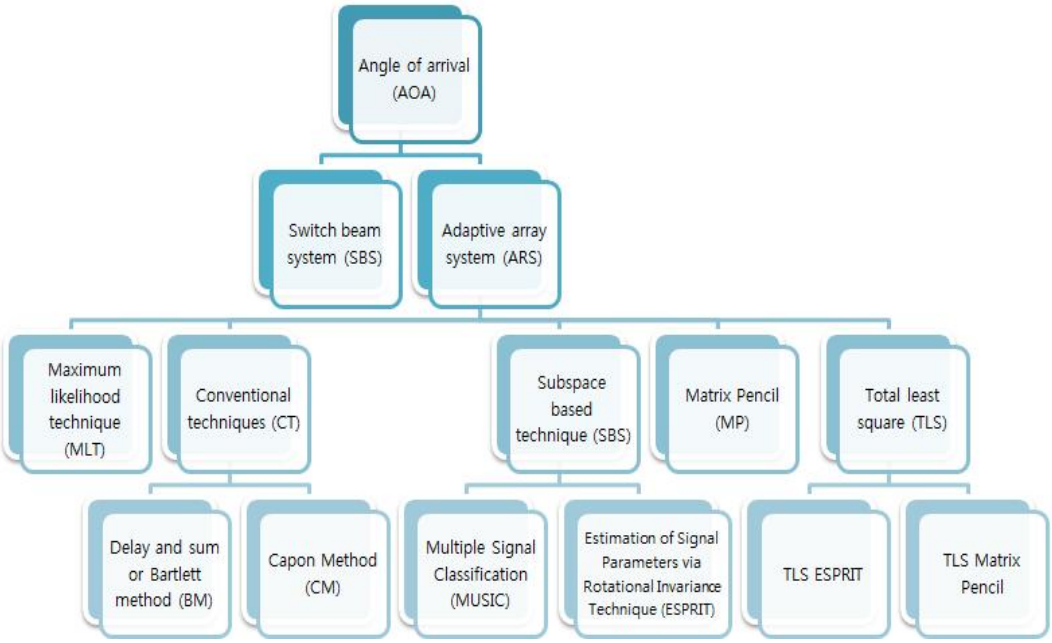

그림 3.2 도래각 추정 알고리즘

그림 3.2는 현재 사용되고 있는 도래각 추정 알고리즘을 조사한 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 도래각 추정 알고리즘은 크게 Switch Beam System(SBS)과 Adaptive Array System(ARS)으로 분류된다. ARS 방식의 대표적인 추정 알고리즘에는 우도 함수를 생성하여 입사각을 추정하는 Maximum Likelihood 방식, 스펙트럼 분석방법을 사용하는 Conventional 방식, 입사신호의 기하학적인 구조를 이용하는 Subspace based 방식, 고유 구조 접근법을 변형시킨 Matrix Pencil 방식, 완전최소자승법을 사용하는 Total Least Square 방식 등이 있다. 이 기법들 가운데 Conventional 방식 기반의 CAPON Method와 Subspace Based 방식 기반의 MUSIC 알고리즘이 위성 환경에서 도래각을 추정하기 위해 가장 적합할 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. MUSIC 기반의 도래각 추정기

본 연구에서 제안된 신호정보 수집을 위한 위성 시스템은 안테나를 통하여 수신되는 다양한 신호의 정확한 도래각 추정을 위하여 우수한 정확성과 분해능을 보유한 MUSIC 알고리즘을 적용한다. MUSIC 알고리즘은 고유치 분석 기술을 사용하는 대표적인 도래각 추정기법이다. 이 알고리즘은 신호 부공간(signal subspace)과 잡음 부공간(noise subspace)이 서로 직교한다는 성질을 이용하여 공간 스펙트럼(spatial spectrum)을 구하고, 공간 스펙트럼에서의 피크값을 신호의 도래각으로 추정하는 알고리즘이다. 잡음 부공간은 R의 고유분해를 통하여 구할 수 있다. 여기서 $\mathrm{R}=E[\mathbf{v}(k)\mathbf{v}^H(k)]$은 수신신호 벡터의 공분산 행렬이며, 위첨자 ^{H}는 켤레 전치를 뜻한다. MUSIC 알고리즘에서 신호의 입사방향은 식 (10)을 통해 계산된다[25-26].

$$a(\phi)^H E_N E_N^H a(\phi) = 0 \tag{10}$$

식 (10)의 $a(\phi)$는 특정각도 ϕ에 대응하는 어레이 응답벡터이며, E_N은 잡음 부공간 고유 벡터들로 구성된 행렬이다. 식 (11)은 피크값을 얻기 위한 MUSIC 비용 함수이다.

$$P(\phi) = \frac{1}{a(\phi)^H E_N E_N^H a(\phi)} \tag{11}$$

식 (11)의 피크값에 해당되는 ϕ를 신호의 입사각으로 결정한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 간섭 제거기와 신호처리 및 D/B 유닛

1. 간섭제거 알고리즘 기초조사

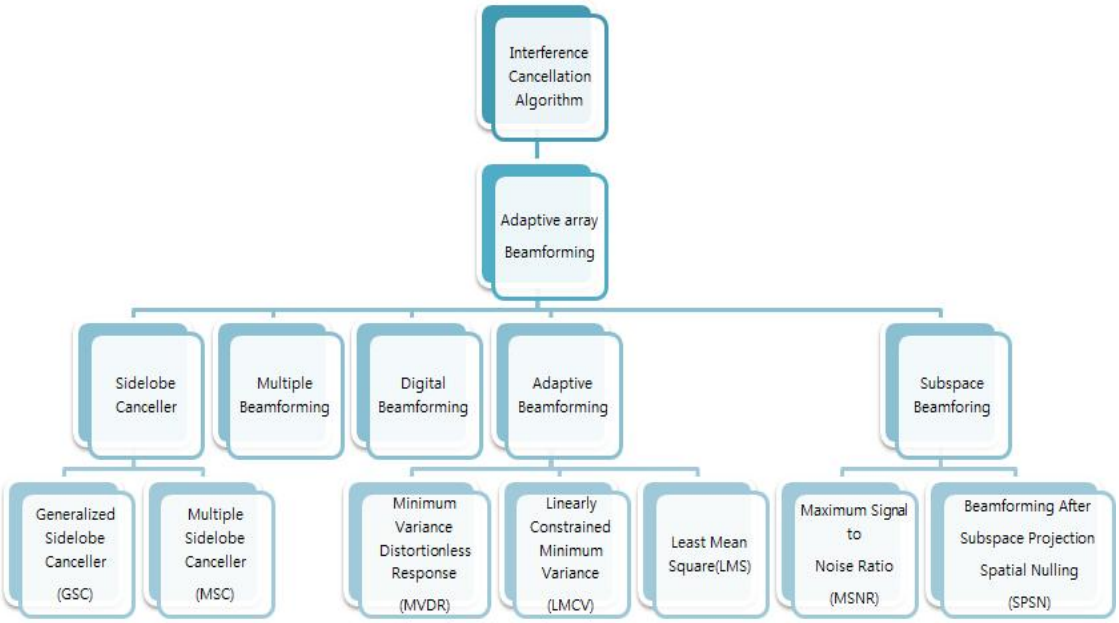

그림 3.3 간섭제거 알고리즘

그림 3.3은 현재 사용되고 있는 간섭제거 알고리즘을 조사한 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 불필요한 간섭신호를 제거하기 위해 적응 어레이를 이용한 빔포밍 방식이 가장 대표적으로 이용된다. 간섭제거 방식에 따라 보조 안테나의 배열을 조정하여 간섭을 제거하는 Sidelobe Canceller 기법, 동시에 여러 개의 빔포밍을 수행하는 Multiple Beamforming 기법, 디지털 신호를 받아 신호의 공간적 처리를 수행하여 간섭을 제거하는 Digital Beamforming 기법, 적응신호처리 방법을 사용하여 간섭을 제거하는 Adaptive Beamformign 기법, 부공간으로 신호를 투영하여 후처리를 통해 잡음을 제거하는 Subspace Beamforming 기법 등으로 분류된다. 조사된 방법들 중 Adaptive Beamforming 기법의 일종인 우수한 간섭제거 성능을 가지는 MVDR 알고리즘이 위성환경에 가장 적합할 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. MVDR 기반의 간섭 제거기

제안된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템은 간섭 신호 또는 재밍 신호를 효율적으로 제거하기 위해 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성하고, 원하지 않는 신호의 방향으로 널(null)을 형성하여 간섭 신호의 성분을 최소화시킴으로써 출력 SINR을 극대화 하는 MVDR 기법을 사용한다. MVDR 기법은 자기 상관행렬의 연산으로 복잡도가 높으나, 방위각 분해능이 우수하다. 식 (12)는 MVDR 알고리즘의 가중치 벡터를 나타낸다 [29-30].

$$\mathbf{w}_{mvdr} = [\mathbf{a}_x^H \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}_x]^{-1} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}_x \tag{12}$$

MVDR 빔형성기의 출력은 식 (13)과 같다.

$$y(k) = \mathbf{w}_{mvdr}^H \mathbf{v}(k) \tag{13}$$

식 (12)의 어레이 응답 벡터는 2.1절의 도래각 추정 기법의 결과로부터 얻을 수 있다. 식 (12)에서 계산된 가중치 벡터를 사용하여 불필요한 간섭신호들을 제거하고, 원하는 신호를 효율적으로 수신할 수 있다.

3. 신호처리 및 D/B 유닛

신호처리 및 D/B 유닛은 제안된 위성 시스템에서 수집된 신호의 정보를 저장하고, 효율적으로 송신할 수 있도록 정보를 가공하는 장치이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 송신 빔형성기

1. 송신 빔형성 기술 기초조사

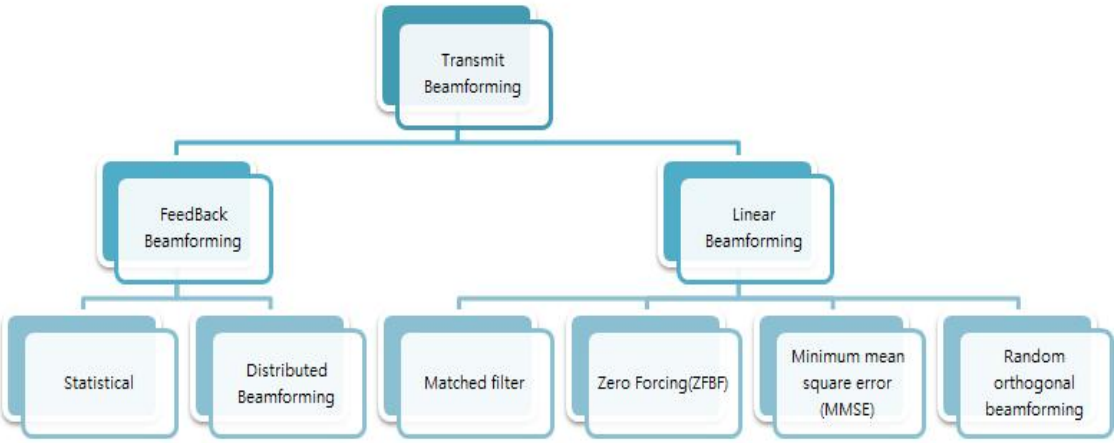

그림 3.4 송신 빔포밍 알고리즘

그림 3.4는 현재 사용되고 있는 송신 빔형성 알고리즘을 조사한 결과에 대한 그림이다. 송신 빔포밍 기법은 위성에서 각종 간섭 또는 재밍 신호에 영향을 받지 않고 신호의 왜곡 없이 원하는 신호정보를 지상의 관제센터로 효율적으로 송신하기 위해 사용된다. 송신 빔포밍 기법은 피드백 빔포밍 기법과 선형 빔포밍 기법으로 분류된다. 피드백 빔포밍 기법에는 Statistical 빔포밍 기법과 Distributed 빔포밍 기법 등이 있으며, 선형 빔포밍 기법은 대표적으로 Matched filter, Random Orthogonal 빔포밍 기법, Zero Forcing 기법, MMSE 기법 등의 기술이 있다. 위성환경에서 가장 적합한 송신 빔형성 알고리즘은 송신신호의 평균제곱오차를 최소화하는 방법인 MMSE 기술로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. MMSE 기반의 송신 빔형성기

제안된 신호정보 수집 시스템은 위성에서 지상으로 수집된 신호를 송신할 시, 고의적/비고의적 간섭 또는 재밍 신호에 의한 정보의 손실을 최소화하기 위해 우수한 성능을 보유한 MMSE 기법을 down-link 기술에 적용한다. MMSE 알고리즘은 가중치 벡터를 예측하기 위해서 기준 신호(Reference Signal)를 사용하는 빔형성 기법으로, 안테나의 출력과 기준신호 사이의 MSE(Mean Square Error)를 최소화시킴으로써 가중치를 조정한다. 식 (14)는 MMSE 기법의 가중치 벡터를 나타낸다[35-36].

$$\mathbf{w}_{mmse} = \sigma_r^2 \mathbf{R}_r^{-1} \mathbf{a}_t \tag{14}$$

식 (14)에서 σ_r^2은 송신신호의 전력을 나타내며, $\mathbf{R}_r = E[\boldsymbol{r}(k)\boldsymbol{r}^H(k)]$은 송신신호 벡터의 공분산 행렬이며, $\mathbf{a}_t$는 $t(k)$에 대한 어레이 응답벡터이다. 식 (15)는 MMSE 송신 빔형성기의 출력이다.

$$y_r(k) = \mathbf{w}_{mmse}^H \mathbf{r}(k) \tag{15}$$

식 (15)에서 $\mathbf{r}(k)$는 송신 신호 $t(k)$, 송신신호에 대한 간섭 신호 또는 재밍 신호, 잡음이 포함된 신호이다. 식 (14)에서 계산된 가중치를 이용하여 특정 신호를 지상 관제센터로 왜곡 없이 효과적으로 송신할 수 있다. 앞의 절에서와 마찬가지로, 위 신호들은 1.1절에서 제시된 신호 모델을 이용할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4절 시스템 성능평가

본 절에서는 효율적인 신호정보 수집을 위해 제시된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 성능평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 세 가지 시나리오를 고려하였다. 모든 시뮬레이션 시나리오에서 AM 신호의 변조지수 α는 0.05이고, PM 신호의 위상감도 K_p는 0.001이다. 또한, FM 신호의 변조 인덱스 β는 0.05이며, 정규화된 변조 주파수 f_m은 0.001로 가정하였다. PULSE 신호는 50 샘플의 on/off 주기신호로 가정하였고, 출력 SINR(: Signal-to-Interference and Noise Ratio) 시뮬레이션을 제외한 모든 시뮬레이션에서 SNR은 20dB로 가정하였다. 또한, 시뮬레이션 편의상 모든 신호의 고도각은 같은 것으로 가정한다.

1. 시스템 성능 평가를 위한 첫 번째 시나리오

첫 번째 시나리오에서는 원하는 신호는 CW 신호라고 가정하였고, 한 개의 CW 신호, 두 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 AM 신호로 총 다섯 개의 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 첫 번째 시나리오에 대한 각 수신 신호들의 매개변수들은 표 3.1에 요약되어 있다.

표 3.1 수신신호에 대한 첫 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-33, 97	-55, -55	0.25, 0.45
WB	-92, 149	-55, -55	0.05, 0.35
Pulsed	42	-55	-
AM	-151	-55	0.16

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

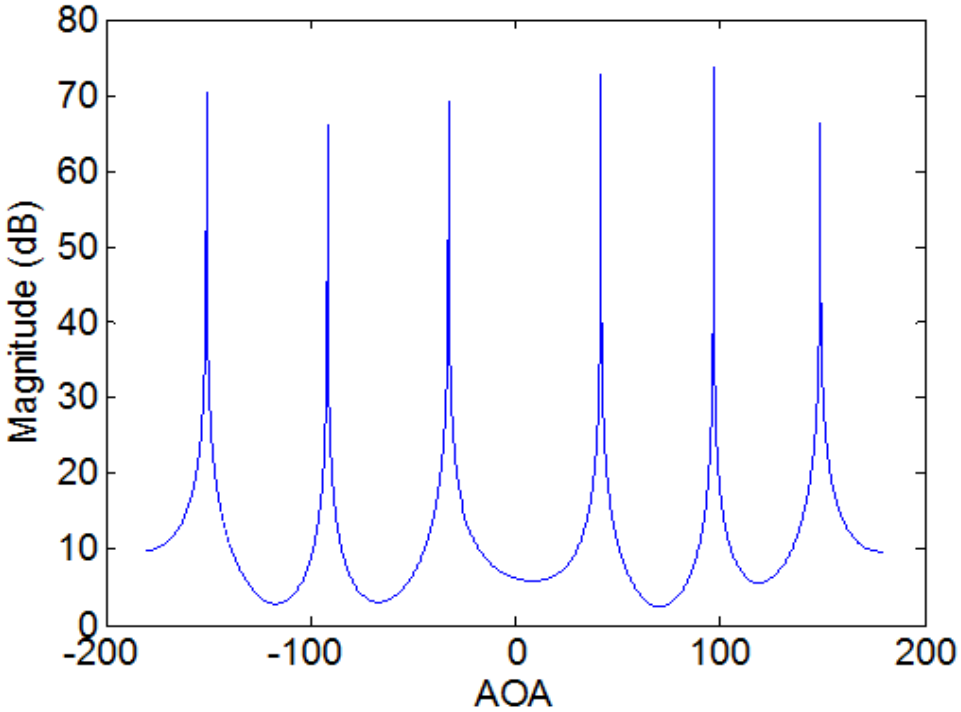

그림 3.5 첫 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수

그림 3.5는 첫 번째 시나리오에 대한 MUSIC 알고리즘의 방위각 추정 결과를 보인다. 표 3.1과 추정된 결과들을 비교하면, 첫 번째 시나리오의 모든 신호들의 방위각도가 효과적으로 추정된 것을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

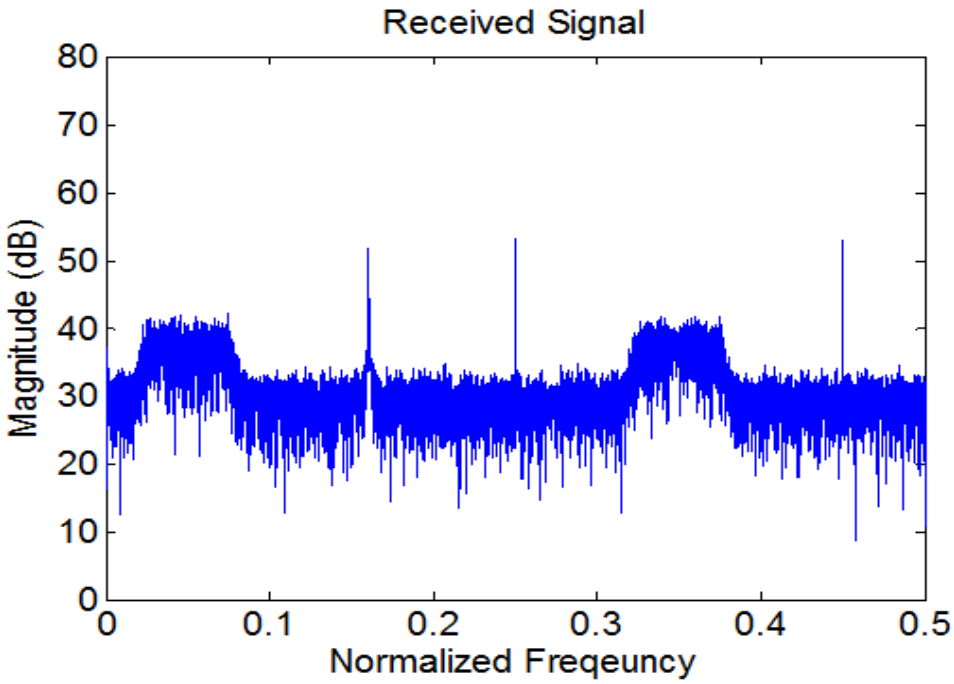

그림 3.6 첫 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

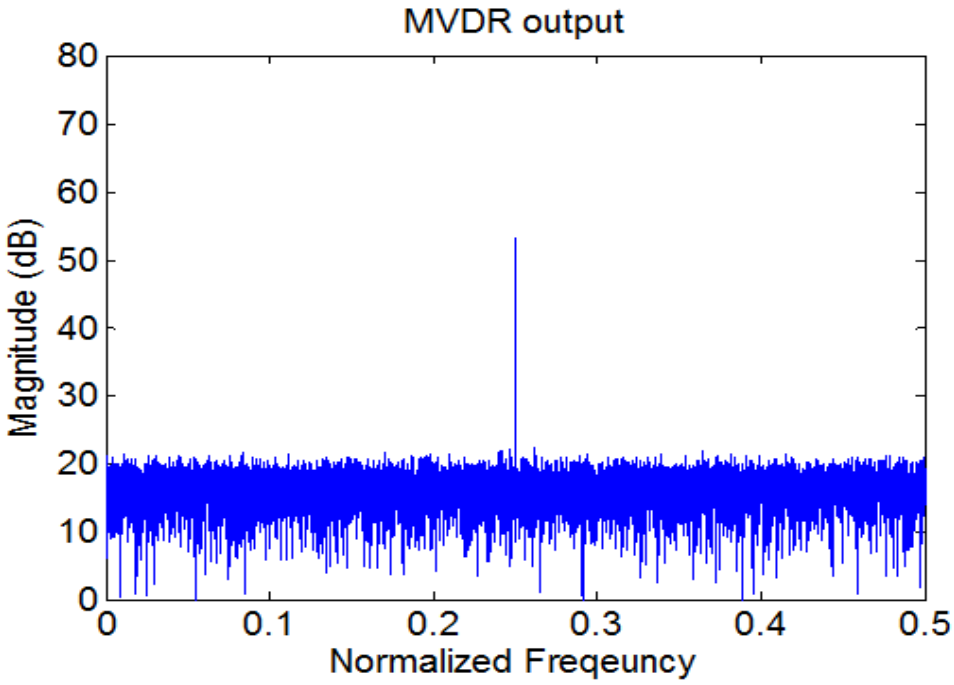

그림 3.7 첫 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

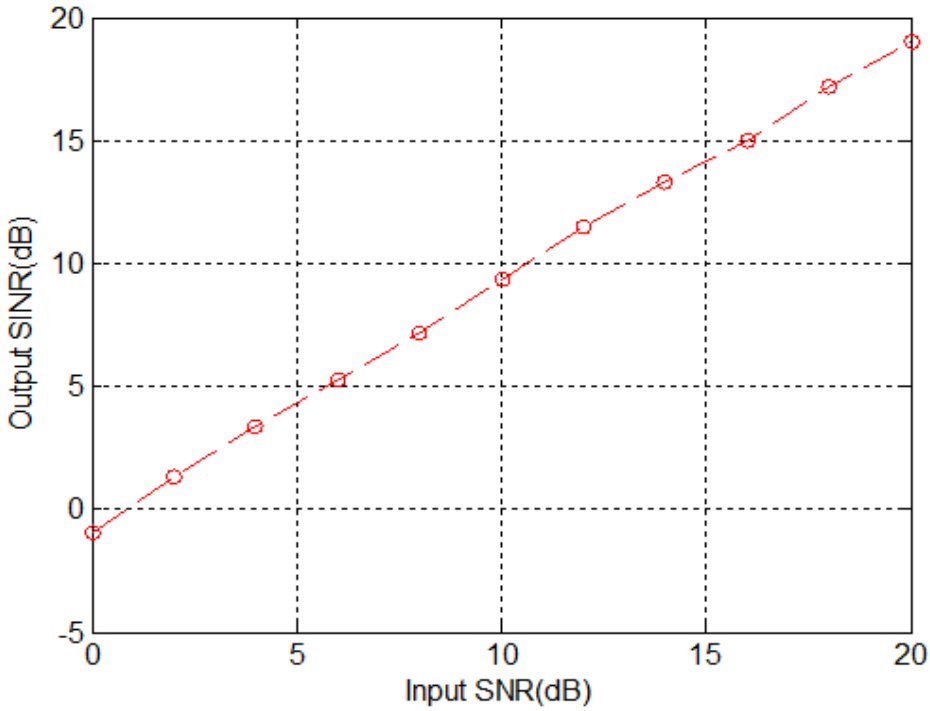

그림 3.8 첫 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기에 대한 출력 SINR

그림 3.6은 첫 번째 시나리오에 대한 주파수 영역에서의 수신신호 스펙트럼이다. 그림으로부터 수신신호에 포함된 모든 신호들을 확인할 수 있다. 다른 신호들과 달리 PULSE 신호는 모든 주파수 영역에 걸쳐 분포하므로 스펙트럼 자체에 신호가 나타나지는 않지만, 스펙트럼의 "Magnitude" 수치를 세 번째 시나리오 그림과 비교해 보면, PULSE 신호의 존재를 확인할 수 있다. 그림 3.7은 첫 번째 시나리오에 대한 MVDR 빔형성기 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 3.8은 첫 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기의 입력 SNR에 대한 출력 SINR이다. 두 그림들로부터, 원하는 신호인 CW 신호를 제외한 모든 간섭신호들이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다. PULSE 신호에 대한 제거여부는 그림 3.6과 3.7의 "Magnitude" 수치를 비교하여 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위성에서 지상 관제센터로 신호처리 및 D/B 유닛을 통하여 가공된 CW 신호를 송신한다고 가정하였고, 간섭 신호는 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 AM 신호로 총 세 개의 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 첫 번째 시나리오에서 송신에 관련된 신호들의 매개변수들은 표 3.2에 요약되어 있다.

표 3.2 송신신호에 대한 첫 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-141	-71	0.2
WB	137	-71	0.1
Pulsed	-31	-71	-
AM	72	-71	0.4

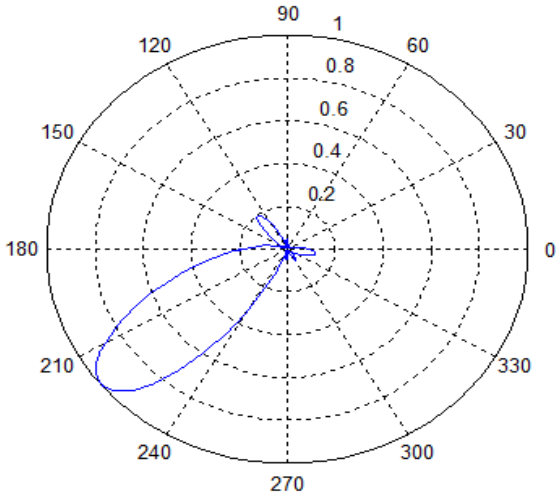

그림 3.9 첫 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

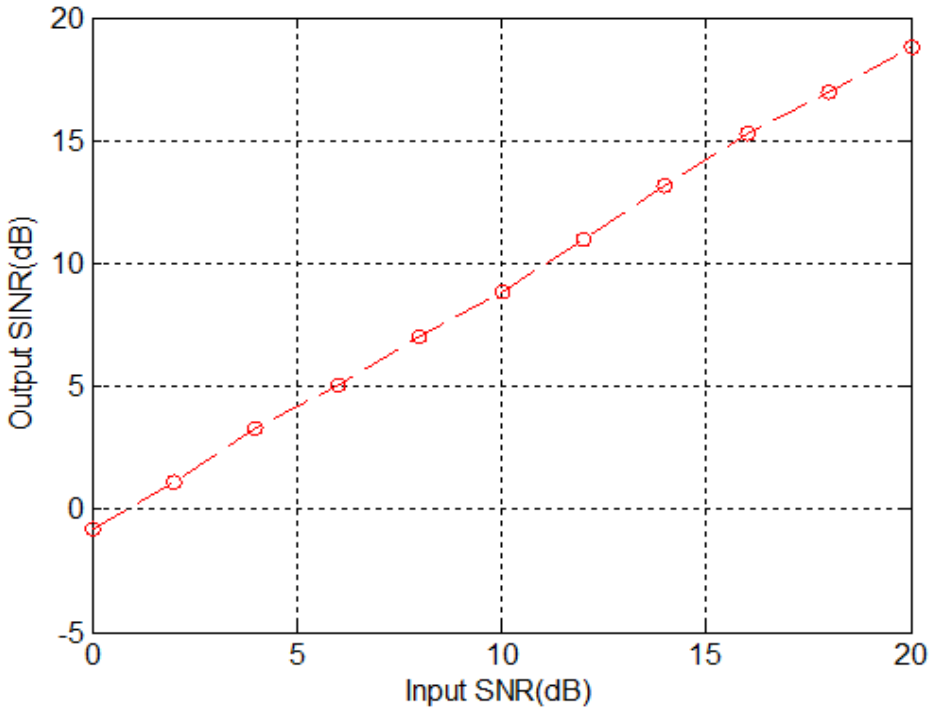

그림 3.10 첫 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR

그림 3.9는 MMSE 기반의 송신 빔형성기를 사용하여 얻은 빔 패턴을 보인다. 그림 3.9로부터 원하는 송신 방향으로 빔이 형성되었고, 간섭신호 방향으로는 널이 형성되었음을 확인할 수 있다. 그림 3.10은 MMSE 빔형성기의 입력 SNR에 대한 출력 SINR을 보인다. 이 결과로부터 신호를 송신할 시, 간섭 신호들의 영향이 효율적으로 제거되었음을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 시스템 성능 평가를 위한 두 번째 시나리오

두 번째 시나리오에서 원하는 신호는 AM 신호라고 가정하였고, 한 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 두 개의 FM 신호로 총 다섯 개 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 두 번째 시나리오에 대한 각 수신 신호들의 매개변수들은 표 3.3에 요약되어 있다.

표 3.3 수신신호에 대한 두 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-163	-81	0.1
WB	91	-81	0.45
Pulsed	-101	-81	-
AM	32	-81	0.28
FM	-29, 156	-81, -81	0.2, 0.35

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

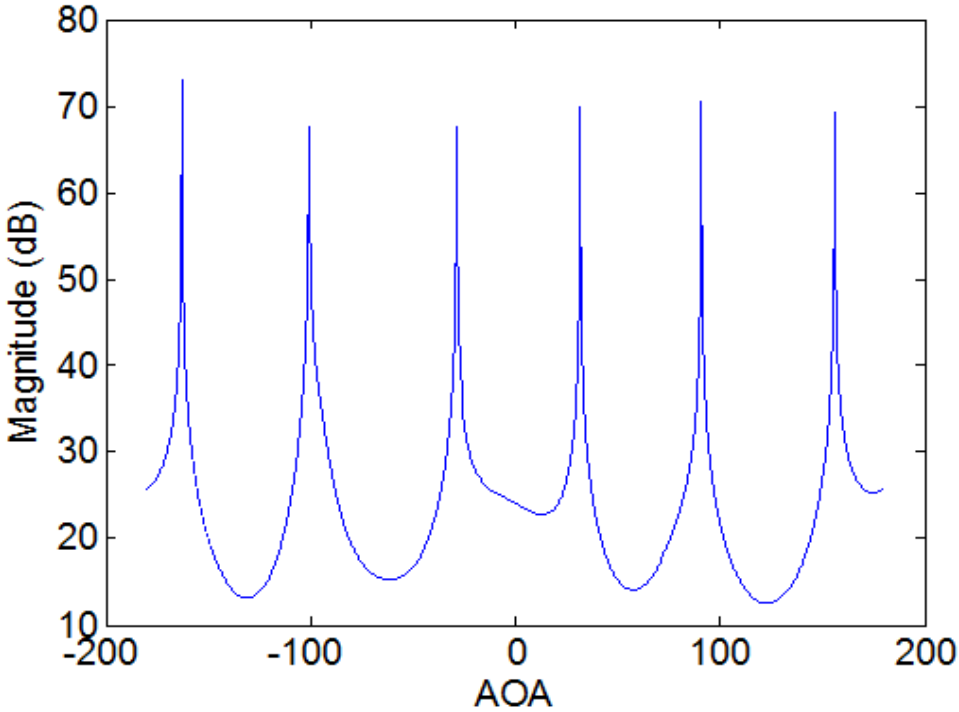

그림 3.11 두 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수

그림 3.11은 두 번째 시나리오에 대한 MUSIC 알고리즘의 방위각 추정 결과를 보인다. 표 3.3의 방위각도와 추정된 결과들을 비교하면, 두 번째 시나리오에 대한 모든 신호들의 도래각이 효과적으로 추정된 것을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

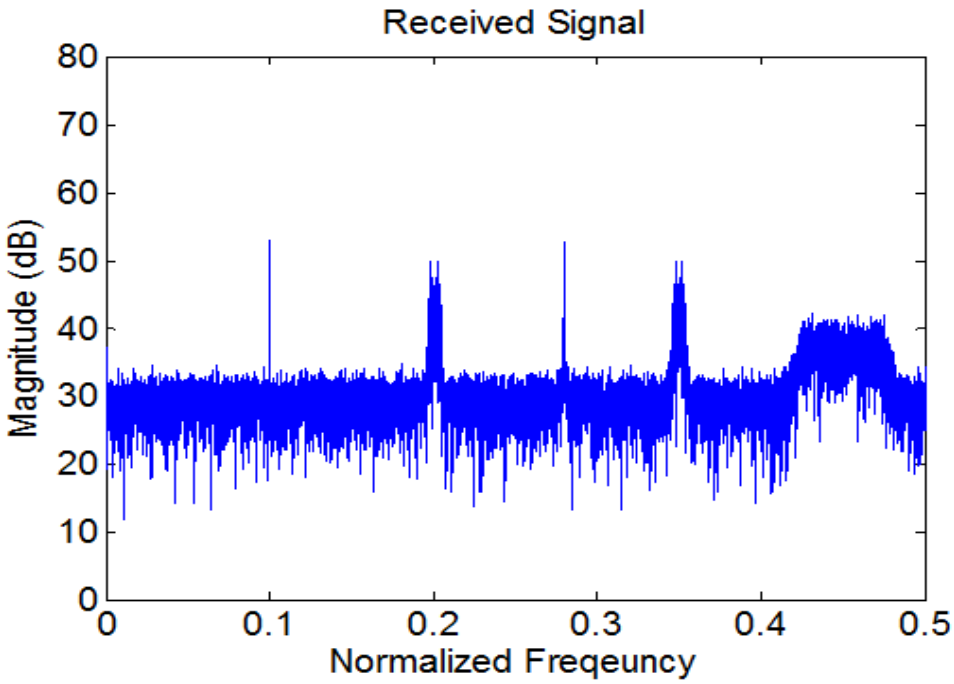

그림 3.12 두 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

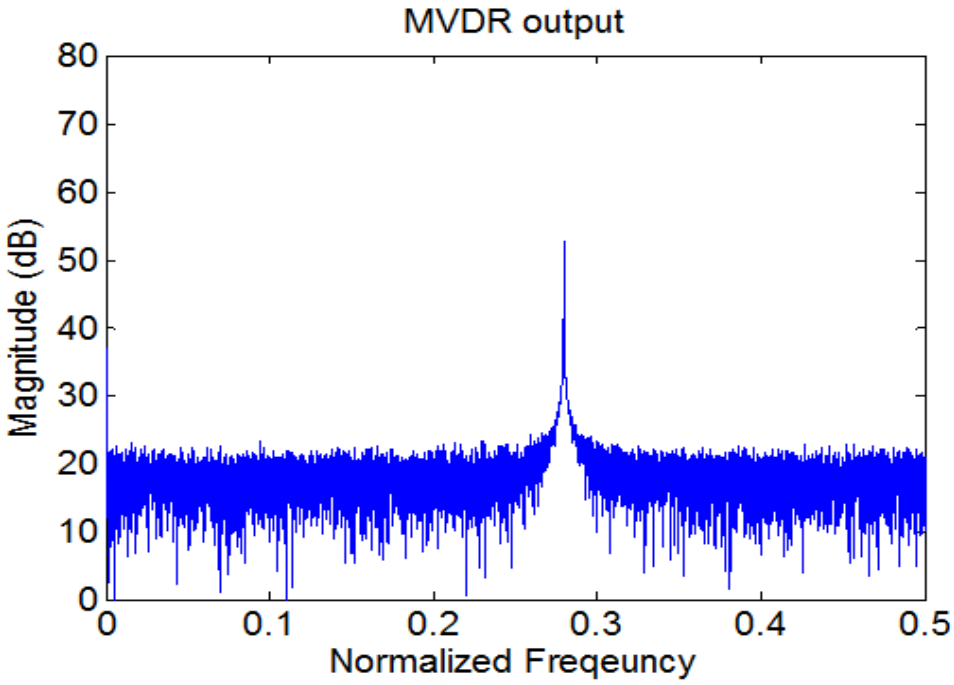

그림 3.13 두 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

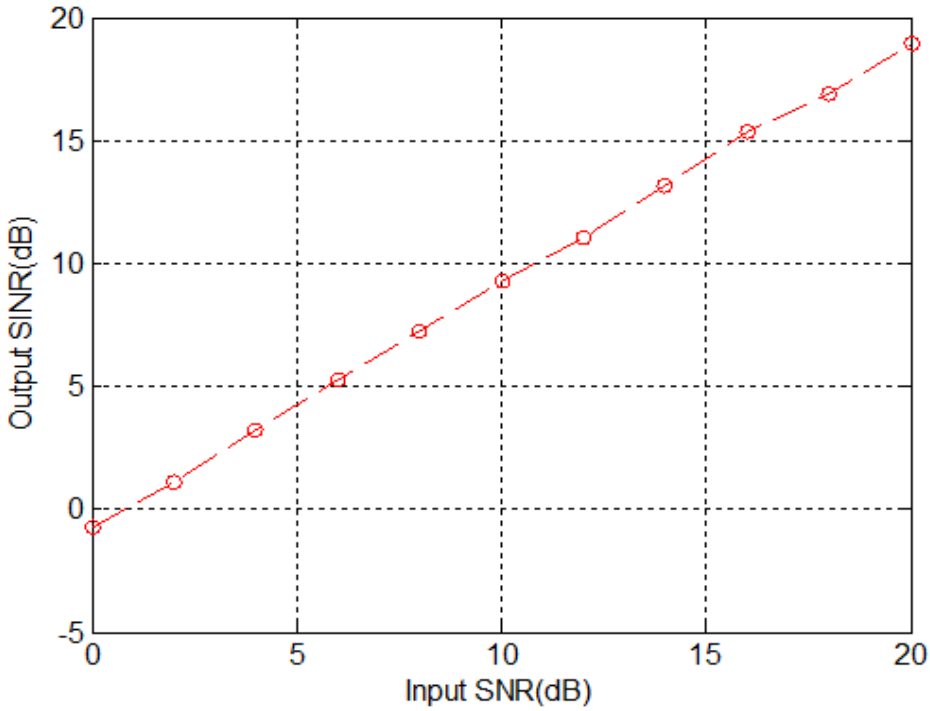

그림 3.14 두 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기에 대한 출력 SINR

그림 3.12는 두 번째 시나리오의 주파수 영역에서의 수신신호 스펙트럼이다. 그림으로부터 수신신호에 포함된 원하는 신호와 모든 간섭 신호들을 확인할 수 있다. PULSE 신호는 첫 번째 시나리오와 동일하게 모든 주파수 영역에 걸쳐 분포한다. 그림 3.13은 두 번째 시나리오에 대한 MVDR 빔형성기 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 3.14는 두 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기에 대한 출력 SINR이다. 위의 결과들로부터, 원하는 신호인 AM 신호를 제외한 모든 간섭 신호들이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다. PULSE 신호에 대한 제거여부는 그림 3.12와 3.13의 “Magnitude” 수치 비교를 통하여 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위성에서 지상 관제센터로 AM 신호를 송신한다고 가정하였고, 간섭 신호는 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 FM 신호로 총 세 개의 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 두 번째 시나리오에서 송신에 관련된 신호들의 매개변수들은 표 3.4에 요약되어 있다.

표 3.4 송신신호에 대한 두 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
WB	145	-73	0.15
Pulsed	83	-73	-
AM	17	-73	0.3
FM	-115	-73	0.4

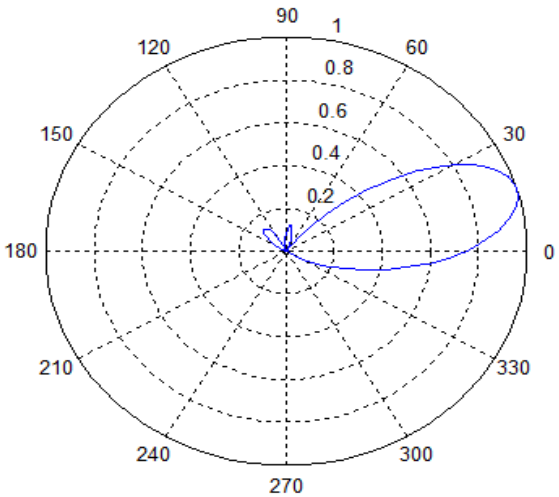

그림 3.15 두 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

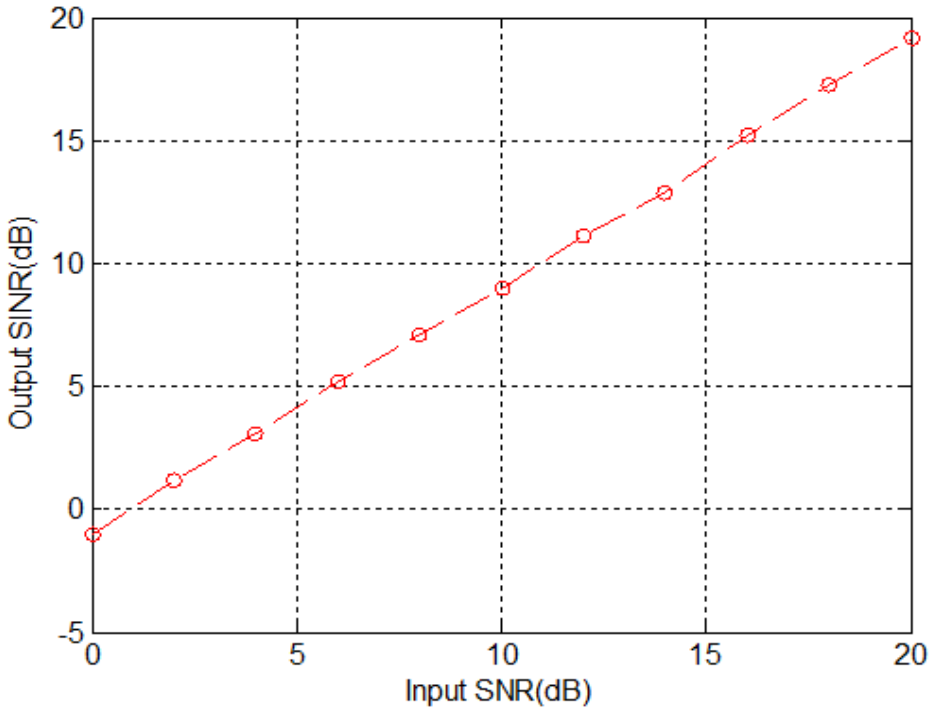

그림 3.16 두 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR

그림 3.15는 두 번째 시나리오에서 MMSE 송신 빔형성기를 사용하여 얻은 빔 패턴을 보인다. 그림으로부터 원하는 방향으로 빔이 형성되었고, 간섭신호들의 방향으로는 널이 형성되었음을 확인할 수 있다. 그림 3.16은 두 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기에 대한 출력 SINR을 보인다. 두 그림들로부터, 송신신호에 대한 간섭들의 영향이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 시스템 성능평가를 위한 세 번째 시나리오

세 번째 시나리오의 원하는 신호는 FM 신호라고 가정하였고, 두 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 AM 신호, 한 개의 PM 신호로 총 다섯 개의 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 세 번째 시나리오에 대한 각 수신 신호들의 매개변수들은 표 3.5에 요약되어 있다.

표 3.5 수신신호에 대한 세 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	-147, 34	-62, -62	0.25, 0.45
WB	159	-62	0.15
AM	-83	-62	0.37
FM	-22	-62	0.3
PM	98	-62	0.05

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

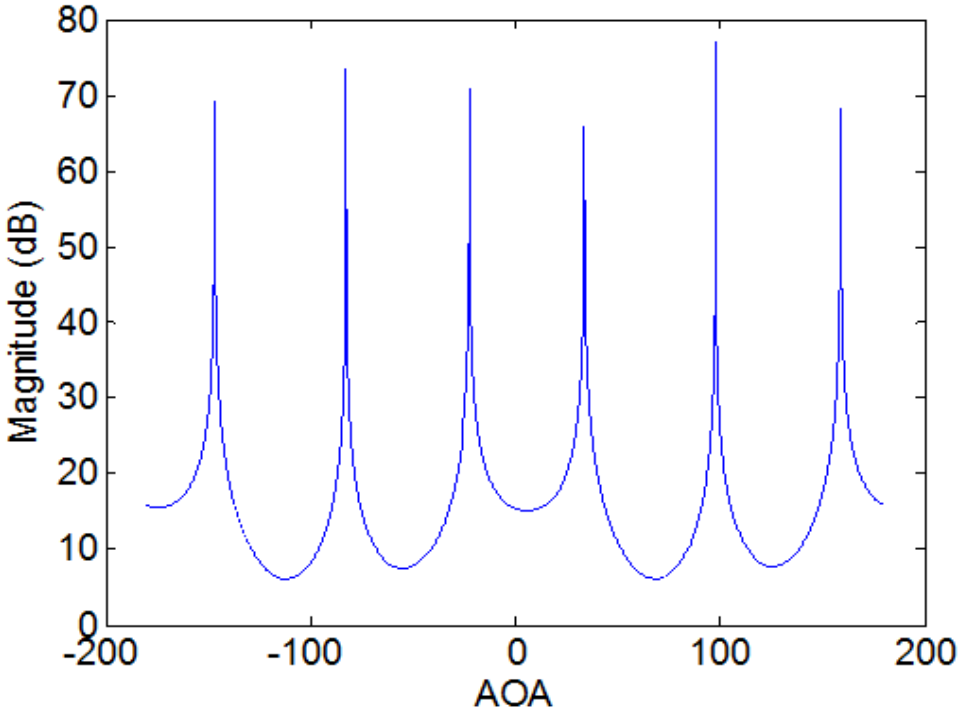

그림 3.17 세 번째 시나리오의 MUSIC 비용함수

그림 3.17은 제안된 시스템의 성능 평가를 위한 세 번째 시나리오에 대한 MUSIC 알고리즘의 비용함수를 보인다. 표 3.5와 피크에 대한 방위각들을 비교하면, 시나리오에서 고려한 모든 신호들의 방위각도가 효과적으로 추정된 것을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

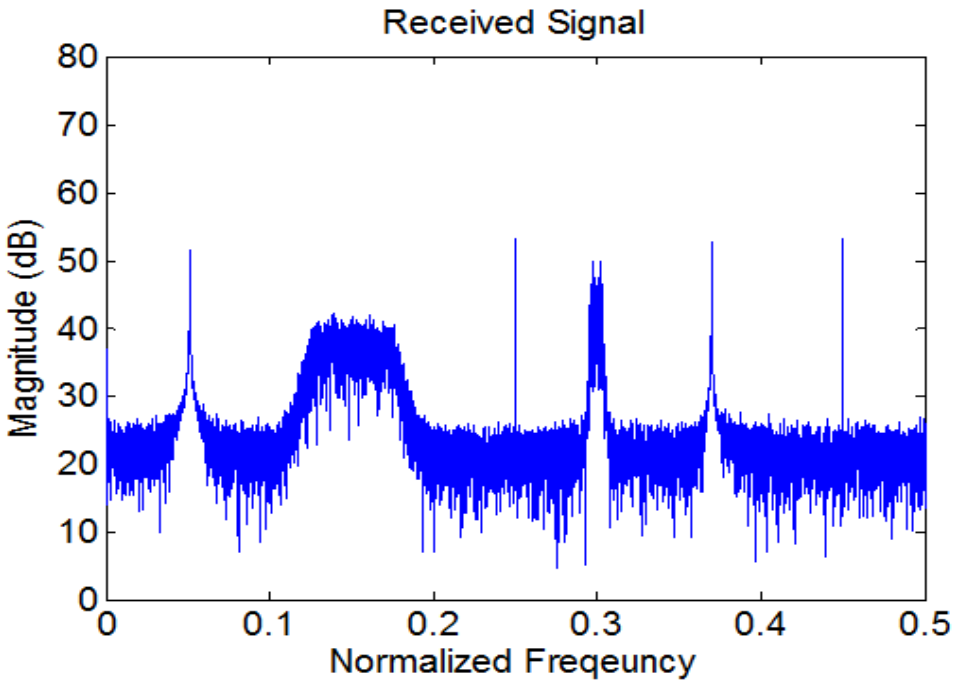

그림 3.18 세 번째 시나리오의 수신신호 스펙트럼

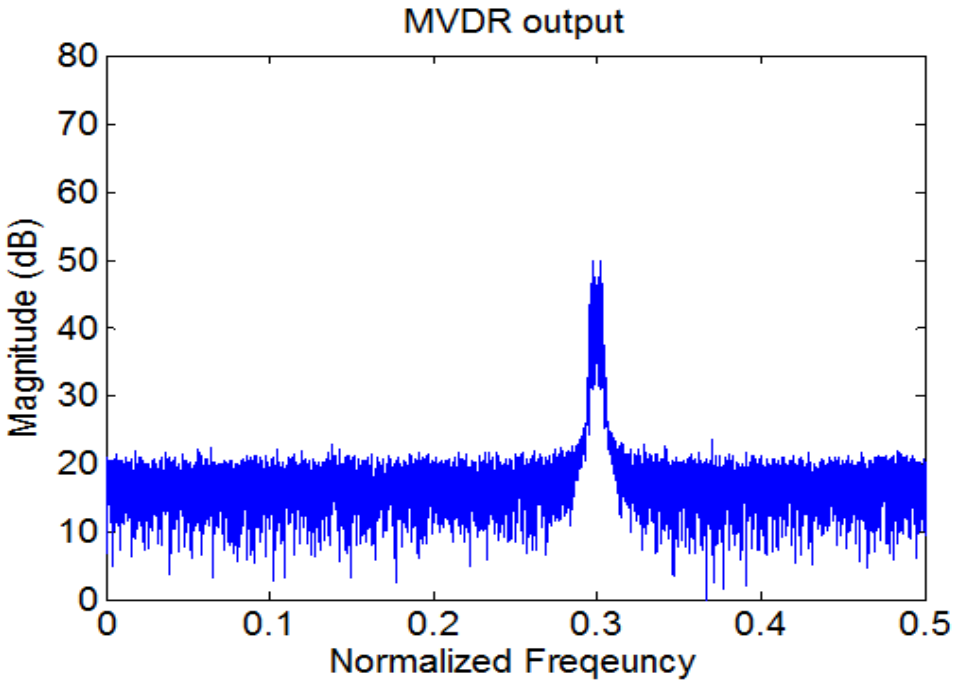

그림 3.19 세 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기 출력

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

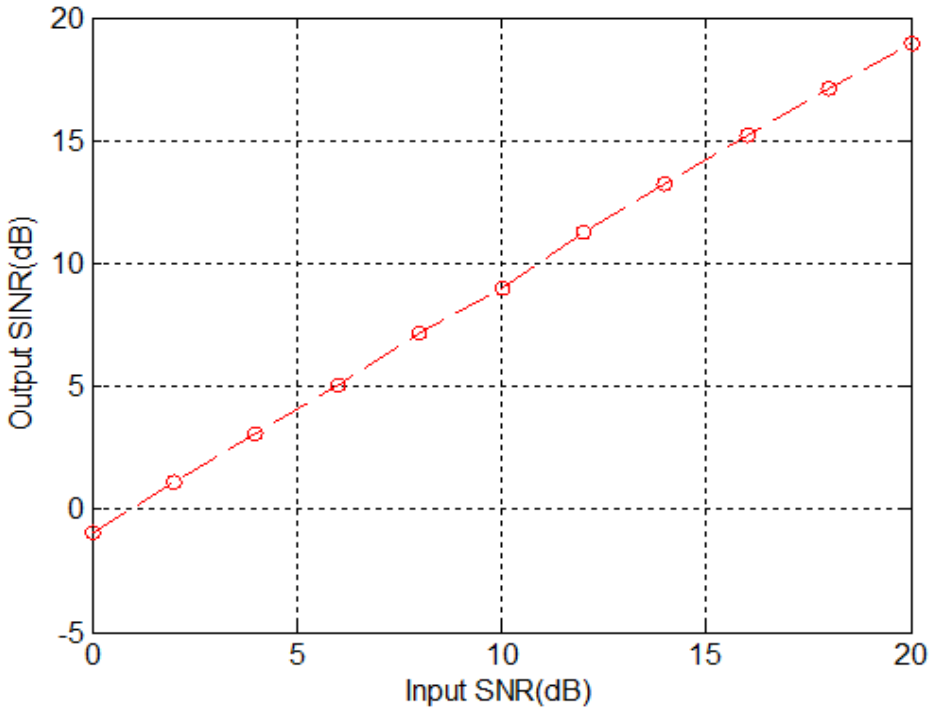

그림 3.20 세 번째 시나리오의 MVDR 빔형성기에 대한 출력 SINR

그림 3.18은 제안된 시스템의 성능 평가를 위한 세 번째 시나리오에 대한 주파수 영역에서의 수신신호 스펙트럼이다. 그림으로부터 수신신호에 포함된 모든 신호들을 확인할 수 있다. 그림 3.19는 세 번째 시나리오에 대한 MVDR 기반의 적응 빔형성기 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 3.20은 MVDR 빔형성기의 입력 SNR에 대한 출력 SINR을 보인다. 위의 결과들로부터, 원하는 신호인 FM 신호를 제외한 모든 간섭 신호들이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

세 번째 시나리오에서는 신호처리 및 D/B 유닛을 통하여 가공된 FM 신호를 송신한다고 가정하였고, 간섭 신호는 두 개의 CW 신호, 한 개의 WB 잡음 신호, 한 개의 Pulsed 신호, 한 개의 FM 신호로 총 다섯 개의 간섭 신호가 존재한다고 가정하였다. 세 번째 시나리오에서 송신에 관련된 신호들의 매개변수들은 표 3.6에 요약되어 있다.

표 3.6 송신신호에 대한 세 번째 시뮬레이션 시나리오

Signal	Azimuth(°)	Elevation(°)	Center Frequency
CW	138, -105	-65, -65	0.1, 0.3
WB	-169	-65	0.4
Pulsed	13	-65	-
FM	74, -53	-65, -65	0.05, 0.2

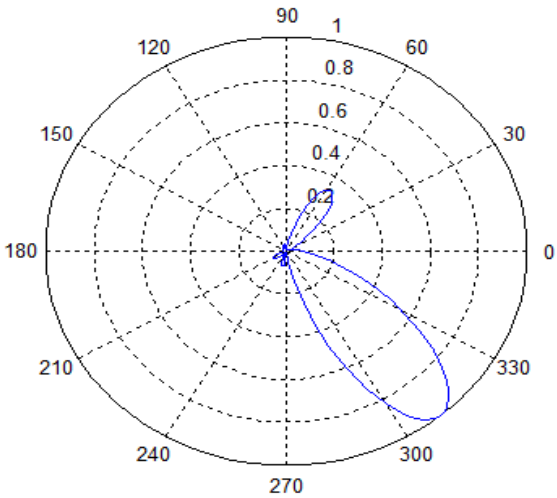

그림 3.21 세 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 빔 패턴

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

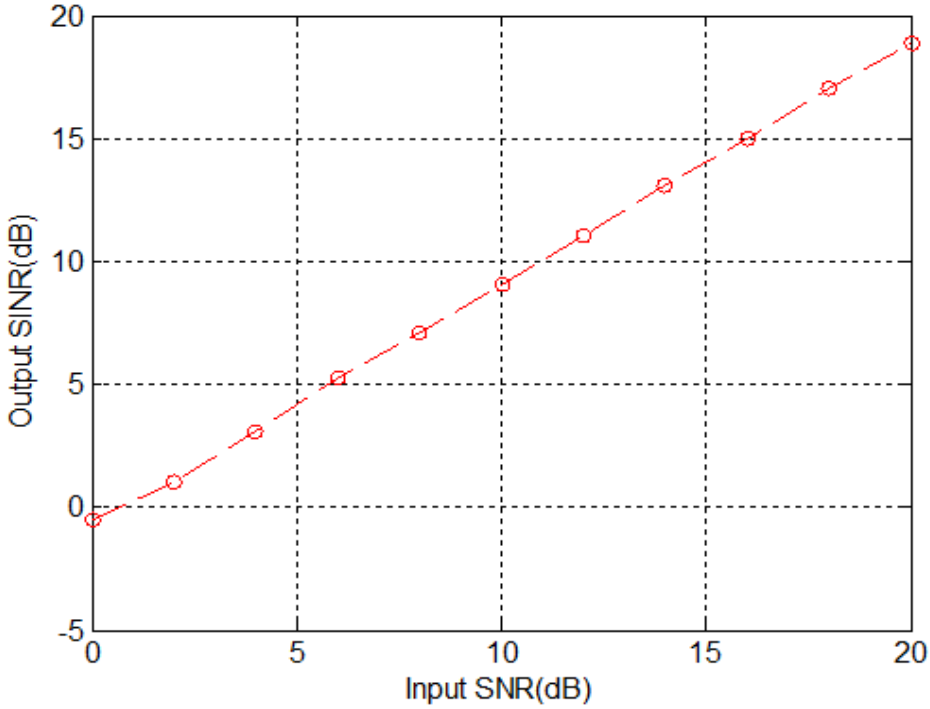

그림 3.22 세 번째 시나리오의 MMSE 송신 빔형성기 출력 SINR

그림 3.21은 세 번째 시나리오에서 MMSE 송신 빔형성기를 사용하여 얻은 빔 패턴을 보이며, 그림 3.22는 MMSE 송신 빔형성기에 대한 출력 SINR을 보인다. 이 결과들로부터 원하는 송신 방향으로 빔이 형성되었고, 나머지 간섭신호들의 방향으로는 널이 형성되어 송신신호에 대한 간섭들의 영향이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다.

본 절에서 제시된 컴퓨터 시뮬레이션 결과들로부터, 효율적인 신호정보 수집을 위해 제안된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템은 신호의 정확한 도래각을 추정하고, 그 결과를 이용하여 원하지 않는 간섭 신호를 효과적으로 제거한 뒤, 원하는 방향으로 가공된 신호를 송신할 수 있음을 확인하였다. 즉, 제안된 시스템은 원하는 신호정보를 수집함에 있어 효율적인 구조로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4장 결론

본 연구에서는 위성 환경에서 효과적으로 신호정보를 수집하여, 수집된 신호를 효율적으로 지상의 관제센터로 송신하기 위해 도래각 추정기, 적응 간섭 제거기, 정보 저장 및 가공을 위한 신호처리 및 D/B 유닛, 송신 빔형성 Down-link 기술이 탑재된 적응 빔형성기 기반의 위성 시스템의 구조를 제안하였다.

1. 위성 환경에서의 효율적인 신호정보 수집 기술 개발과 성능평가에 사용하기 위한 수신신호의 수학적 모델을 제시하였다. 또한, 제시된 수신신호 모델에 적용 될 수 있는 다양한 신호들을 분석하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. 도래각 추정기법과 간섭제거 기술을 사용하여 효율적으로 미소전력 신호정보를 수집하기 위한 신호정보 수집 시스템의 구조를 제안하였다. 제안된 시스템은 안테나를 통해 수신되는 다양한 신호의 도래각 추정을 위하여 MUSIC 알고리즘을 적용하였으며, 수신신호의 불필요한 간섭 신호 또는 재밍 신호를 제거하기 위해 MVDR 기반의 빔형성기를 사용하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다양한 수신신호들 가운데 원하는 신호를 수집 할 수 있음을 확인하였다.

3. 위성에서 지상의 관제센터로 각종 간섭 신호에 영향을 받지 않고 신호의 왜곡 없이 원하는 신호를 송신하기 위해 송신 빔형성 기술인 MMSE 기법을 Down-link 기술에 적용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 원하는 신호의 방향으로 신호를 송신하였음을 확인하였다.

제안된 시스템의 구조는 위성 환경에서 원하는 신호정보를 효과적으로 수집하여, 지상의 관제센터로 효율적으로 송신 할 수 있는 시스템으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Reference

[1] 주종혁, 이명호, “적응배열 레이더 시스템에서 최적 가중치 방법에 대한 연구,” 한국정보기술학회 논문지, 제6권 제5호, pp. 49-54, Oct. 2008.

[2] 임중수, “레이더와 전자정보 장비의 정보융합 특성 분석,” 한국산학기술학회 논문지, 제7권 제5호, pp. 847-851, Oct. 2006.

[3] 송하룡, “GPS 기반 추적레이더 실시간 바이어스 추정 및 비동기 정보융합을 통한 발사체 추적 성능 개선,” 한국산업정보학회 논문지, 제20권 제6호, pp. 47-56, Dec. 2015.

[4] 김승우, 최재인, 진희철, “3채널 지연선을 가진 디지털주파수판별기의 설계에 관한 연구,” 한국산학기술학회, 제18권 제6호, pp. 44-52, Jun. 2017.

[5] 송배규, “위성통신시스템의 위성지구국 설계 시 전파간섭분석 방안 연구,” 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집, pp. 859-862, Jun. 2005.

[6] 윤석준, “무인항공기 비행제어시스템,” 제어로봇시스템학회지, 제5권 제6호, pp. 26-32, Nov. 1999.

[7] 정상래, 신현식, “NCW 및 전술데이터링크 기술개발 현황분석,” 한국전자통신학회 논문지, 제7권 제5호, pp. 991-998, Oct. 2012.

[8] 장성호, 임현택, “스마트무인기 비행시험을 통한 영상감지기 운용 검증,” 한국항공우주학회 추계 학술대회, pp. 312-316, Nov. 2012.

[9] 백정기, “위성통신에서의 전파전파 및 초고주파 기술,” 전자공학회지, 제19권 제10호, pp. 993-1008, Oct. 1992.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[10] 유준규, 전한익, 오덕길, 유희정, “동일 주파수 위성 전송을 위한 자기 간섭 제거 방식,” 한국위성정보통신학회 논문지, 제10권 제4호, pp. 101-106, Dec. 2015.

[11] 오대섭, 김수영, 안도섭, “Ka 대역을 공유하는 정지궤도 위성망과 지상망간 주파수 간섭 평가 연구,” 한국통신학회 논문지, 제33권 제3호, pp. 296-303, Mar. 2008.

[12] 임덕원, 최윤섭, 이상정, 허문범, 남기욱, “AOA 기법을 이용한 재머 위치추적시스템 설계,” 한국항행학회 논문지, 제15권 제6호, pp. 1241-1249, Dec. 2011.

[13] 임덕원, 강재민, 허문범, “GPS 전파교란원 위치 추정을 위한 TDOA/AOA 복합 기법 설계,” 제어로봇시스템학회지, 제20권 제1호, pp. 101-105, Oct. 2013.

[14] 유정호, 송법성, 황인갑, “야기 안테나가 적용된 원격추적시스템을 위한 필터구성 및 모터 제어에 관한 연구,” 한국전자통신학회 논문지, 제11권 제11호, pp. 1039-1046, Nov. 2016.

[15] 황석승, “고 전력 간섭 환경에서의 GPS AOA 선택 알고리즘,” 한국항행학회 논문지, 제16권 제4호, pp. 649-656, Aug. 2012.

[16] 황석승, “변형된 역확산기 기반의 GPS 적응 간섭제거기의 출력 SINR 해석,” 한국전자통신학회 논문지, 제9권 제2호, pp. 195-202, Feb. 2014.

[17] B. Holman, J. Graham, J. Skala, K. Bing and M. A. Bruna, “Using a Rotman lens as a substitute for a multi-channel antenna in a digitally beam-formed RADAR or SIGINT system,” IEEE Radar Conference, pp. 490-494, May 2015.

[18] S. Hwang and J. J. Shynk, “Multicomponent Receiver Architectures for GPS Interference Suppression,” IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. 42, no. 2, pp. 489-502, Jun. 2006.

[19] 염순진, 박용완, “간섭 제거 기법을 사용한 적응형 간섭 제거기에 관한 분석,” 한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

국통신학회 논문지, 제26권 제8호, pp. 1291-1297, Aug. 2001.

[20] 레덕안, 박진배, 조용옥, 정민아, 이성로, 김윤희, “다중방향 릴레이 시스템을 위한 자가간섭 소거 보조 릴레이 빔형성 기법,” 한국통신학회 논문지, 제38권 제4C호, pp. 378-386, Apr. 2013.

[21] N. D. Sidiropoulos, T. N. Davidson and Z. Q. Luo, “Transmit Beamforming for Physical-Layer Multicasting,” IEEE Trans. Signal Processing, vol. 54, no. 6, pp. 2239-2251, Jun. 2006.

[22] Y. B. Silva and A. Klein, “Linear Transmit Beamforming Techniques for the Multigroup Multicast Secnario,” IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 58, no. 8, pp. 4353-4367, Apr. 2009.

[23] 김동호, 김재윤, 심규홍, 안준일, “Cyclic Moment 및 변형 Cumulant를 기반으로 한 아날로그 및 디지털 변조신호 자동변조인식 알고리즘,” 한국정보통신학회 논문지, 제17권 제9호, pp. 2009-2019, Sep. 2013.

[24] 정훈기, “위성 통신채널 재밍 기법과 효과에 관한 연구,” 한국통신학회 종합 학술 발표회, pp. 1544-1546, Nov. 2008.

[25] 신준호, 명승일, 장은영, 박형래, “대역 확산 신호를 위한 지연 시간 추정 알고리즘,” 한국통신학회 논문지, 제37권 제2호, pp. 119-127, Feb. 2012.

[26] 진미현, 이주현, 최헌호, 이상정, 신영철, 이병환, 안우근, 박찬식, “GPS 재밍 대응을 위한 2차원 MUSIC과 Root-MUSIC 알고리즘의 성능 비교,” 전기학회 논문지, 제60권 제11호, pp. 2131-2138, Nov. 2011.

[27] Q. Wang, L. Wang, K. An, Z. Shou and H. Zhang, “DOA Estimation of Smart Antenna Signal Based on MUSIC Algorithm,” Journal of networks, vol. 6, no. 5, pp. 1309-1316, May. 2014.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[28] R. Schmidt, “Multiple emitter location and signal parameter estimation,” IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, Mar. 1986.

[29] 장윤희, 홍동희, 최성희, “부배열 합성을 이용한 적응적 빔형성기의 구현 및 성능 분석,” 한국전자파학회 논문지, 제24권 제4호, pp. 448-458, Apr. 2013.

[30] 황석승, 김성민, 박철, “Beamforming을 이용한 TPMS 간섭제거,” 한국전자통신학회 논문지, 제6권 제2호, pp. 180-185, 2011.

[31] I. Zakia, S. Tjondronegoro, Iskandar and A. Kurniawan, “Performance comparisons of adaptive MVDR and received LS beamforming on the downlink time varying channel of HAP system,” 2013 19th Asia-Pacific Conf. Communications, pp. 709-713, Aug. 2013.

[32] Y. Wang, L. Huang and Y. Shi, “Robust widely linear adaptive MVDR beamformer based on interference-plus-noise covariance matrix and steering vector estimation,” Conf. IEEE Signal and Information Processing, pp. 726-730, Jul. 2015.

[33] 김성민, 황석승, “간섭제거를 위한 TPMS 빔형성기들의 복잡도 비교,” 한국전자통신학회 논문지, 제7권 제6호, pp. 1327-1335, Dec. 2012.

[34] 홍춘표, 김창훈, 황석윤, 양진모, “웨이브렛 필터 기반의 시간 영역 GSC 알고리즘,” 한국통신학회 논문지, 제35권 제11호, pp. 948-956, Nov. 2010.

[35] S. Serbetli and A. Yener, “Transceiver Optimization for Multiuser MIMO Systems,” IEEE Trans. Signal processing, vol. 52, no. 1, pp. 214-226, Jan. 2004.

[36] C. Zhang, W. Xu and M. Chen, “Robust MMSE Beamforming for Multiuser MISO Systems With Limited Feedback,” IEEE Signal Processing Letters, vol. 16, no. 7, pp. 588-591, Apr. 2009.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[37] A. L. Swindlehurst, S. Daas and J. Yang, "Analysis of a Decision Directed Beamformer," IEEE Trans. Signal processing, vol. 43, no. 12, pp. 2920-2927, Dec. 1995.

[38] 윤영호, 박윤옥, 박형래, "광대역 이동통신 환경에서 초 분해능 방향 탐지 알고리즘의 성능 비교, 분석," 한국통신학회 논문지, 제31권 제8A호, pp. 752-759, Aug. 2006.

[39] 최각규, 한승구, 조희진, 김효태, 김경태, 송성찬, 나영진, "밀리미터파 탐색기에서 ESPRIT 기법을 이용한 탄도 미사일 탄두 식별 신호처리 기법 개발," 한국전자파학회 논문지, 제23권 제2호, pp. 266-269, Feb. 2012.

[40] S. Shahbazpanahi, S. Valaee and M. H. Bastani, "Distributed Source Localization Using ESPRIT Algorithm," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 49, no. 10, pp. 2169-2178, Oct. 2001.

[41] 신호섭, "상관성 간섭에서 표적의 입사각 추정 방법에 대한 연구," 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제15권 제5호, pp. 95-81, May. 2010.

[42] 최양호, "간섭 널 공간 투사에 의한 신호차단 방식의 적응 빔 형성," 한국통신학회 논문지, 제36권 제4호, pp. 399-406, Apr. 2011.

[43] 박종록, 이상훈, "다중 안테나 빔형성 메트릭스 변환 기법 및 사용자 선택 기법," 한국통신학회 논문지, 제37권 제1호, pp. 25-33, Jan. 2012.

[44] H. Yang and T. L. Marzetta, "Performance of Conjugate and Zero-Forcing Beamforming in Large-Scale Antenna Systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 2, pp. 172-179, Jan. 2013.

[45] P. Lu and H. Yang, "Sum-Rate Analysis of Multiuser MIMO System with Zero-forcing Transmit Beamforming," Conf. IEEE Communications, pp. 4123-4127,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

May. 2008.

[46] C. Park, S. Kim and S. Hwang, "TPMS Interference Suppression Based on Beamforming Technology," International J. Distributed Sensor Networks, vol. 9, pp. 1-9, Jan. 2013.

[47] L. Yu, Y. Wei and W. Liu, "A novel adaptive beamforming technique for large-scale arrays," 2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, pp. 269-273, Dec. 2015.

Collection @ chosun