

# 위성 통신을 위한 투영 행렬 빔형성 기법

준회원 심 세 준\*, 정회원 정 성 현\*\*, 이 충 용\*, 윤 대 희\*

## A Beamformer Using Projection Matrix For Satellite Communications

Seijoon Shim, Sunghun Jung, Chungyong Lee, Dae-Hee Youn *Regular member*

### 요 약

본 논문에서는 적은 연산량으로 위성 통신에서 생길 수 있는 잼밍(jamming) 또는 고의적인 간섭을 효율적으로 제거할 수 있는 투영 행렬 빔형성 기법을 제안한다. 투영 행렬 빔형성 기법은 간섭이 존재하는 상황에서 신호 대 간섭 잡음비(SINR)를 최대로 하는 SINR 빔형성 기법과 동등한 간섭 제거 성능을 가진다는 것을 수식적으로 증명한다. 그리고 모의 실험을 통해 간섭이 존재하는 상황에서 제안된 제거 기법을 사용했을 경우가 사용하지 않았을 때보다 오차 확률의 측면에서 성능 향상이 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

We propose a new beamformer, which uses the projection matrix and has very simple structure, to effectively remove jamming or interfering signals. It is proven that, under the mild conditions, the performance of the proposed beamformer is nearly same as that of the beamformer maximizing SINR(signal to interference and noise ratio). Computer simulation also shows that the BER(bit error rate) performance is improved by using the proposed method better than without using it.

### 1. 서 론

어레이 안테나를 이용한 빔형성 기법은 한 개의 수신 안테나로 신호를 수신할 때 생기는 빔의 지향성이나 분해능에서의 문제를 해결할 수 있으므로 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 빔형성 기법은 단일 안테나로 수신했을 때의 신호대 잡음 비(SNR)를 어레이 개수에 비례하여 증가시킬 수 있고, 가중치 벡터(weight vector)로 원하는 신호와 간섭 신호에 따라 빔형성을 달리해서 시스템의 용량을 증대시키는 역할을 한다. 그러므로 최근에는 이동 통신이나 위성 통신으로 그 적용 범위를 넓혀가고 있다.

빔형성 기법은 적용하는 기법에 따라 여러 가지로 분류되지만, 일반적으로 다음과 같은 필요성으로

사용된다. 우선 채널 사용자가 많아 지거나 시스템의 가용 범위가 넓어서 시스템의 용량을 늘려야 하는 경우 송신 파워의 제약이 따를 때 사용된다. 빔형성 기법은 안테나에 수신되는 신호대 잡음 비를 안테나의 소자 개수에 비례해서 향상시킬 수 있으므로 송신되는 전력을 키우지 않고도 시스템의 용량을 증가시킬 수 있다. 그리고 다른 방향에서 입사되는 강한 간섭 신호나 재밍(jamming)에 의한 영향이 시스템 성능 열화의 원인이 되는 경우 간섭 신호를 제거하려는 목적으로 사용된다. 간섭 신호의 입사 신호 방향(DOA: direction-of-arrival)에 널(null)을 형성시키고 원하는 신호의 입사 방향에는 빔을 형성시켜 줌으로써 간섭 신호의 영향을 줄일 수 있다<sup>1)</sup>.

위성 통신은 가시 거리(LOS: line-of-sight)를 확보할 수 있다는 점에서 원거리 망 통신에서 매우

\* 연세대학교 전기전자공학과 미디어통신신호처리 연구실(sjshim@mcs.p.yonsei.ac.kr), \*\* (주) 삼성탈레스(nshjung@samsung.com)  
논문번호 : 010369-1204, 접수일자 : 2001년 12월 04일

※본 연구는 삼성 탈레스 연구과제 지원 및 연세대학교 미디어 통신 신호처리 연구실 관리로 수행되었습니다.

유리하다. 정지 궤도 위성은 통신 운용의 특성상 강한 LOS가 존재하는 환경으로 위성 안테나에 수신되는 입력 신호는 일반적인 위성 안테나의 강한 지향성 때문에 다중 경로에 의한 페이딩의 영향이 매우 미약하다. 그러므로, 위성 채널은 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN: additive white Gaussian noise) 채널로 모델링 할 수 있다<sup>[2][3]</sup>. 이런 위성 채널에서 정상적인 통신을 하기 위해서는 링크 마진을 얻기위한 안테나의 이득이 외에도 통신을 방해하는 고의적인 간섭이나 재밍을 제거해야 한다. 그런데, 기존의 위성용 안테나(예, 파라볼릭 안테나)를 이용하면 간섭을 제거할 만한 특별한 수단이 없으므로 간섭의 영향에 취약하게 된다. 그러므로, 빔형성 기법을 이용한 어레이 안테나를 사용하여 간섭을 제거하고 수신된 신호의 신호대 잡음비를 증가시킴으로써 송신 전력의 증가 없이 간섭이 작용하는 환경에서도 통신을 위한 링크 마진을 얻을 수 있다. 그러나 기존의 간섭 제거 빔형성 기법은 연산량이 안테나 소자의 개수 비례해서 기하급수로 증가되기 때문에 링크 마진을 얻기 위해 많은 소자를 가져야만 하는 위성 안테나 시스템에는 적합하지 않다. 따라서, 적은 연산량을 갖으면서 SINR을 최대한으로 해주는 빔형성 기법이 요구되어지며 본 논문에서는 이를 위한 투영행렬 빔형성 기법을 제안한다.

위성 통신을 위한 투영 행렬 빔형성 기법을 다루기 위해 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II에서는 위성 통신을 열화시키는 간섭 신호를 모델링하고 본 논문에서 비교 대상으로 삼는 SINR 빔형성 기법을 살펴본다. III에서는 투영 행렬 기법을 제안하고 제안된 기법의 성능을 수식적으로 증명한다. IV에서 모의 실험을 통해 제안된 기법의 성능을 검증한다.

## II. 간섭 신호 모델링과 기존의 빔형성 기법

### 2.1 간섭 신호 모델링

간섭 신호는 수신 신호에 미치는 영향을 고려할 때, 고정 간섭(fixed interference)와 동적 간섭(moving interference)로 분류할 수 있다[그림 1]. 고정 간섭은 위성에서 수신기로 전파되는 신호의 방해 목적으로 높은 산이나 인접 위성에서 영향을 미치는 강한 송출 파워를 갖는 전파에 의한 간섭이고, 동적 간섭은 고정 간섭과 동일한 목적으로 이동하는 물체에서 송출되는 방해 신호를 일컫는다. 이

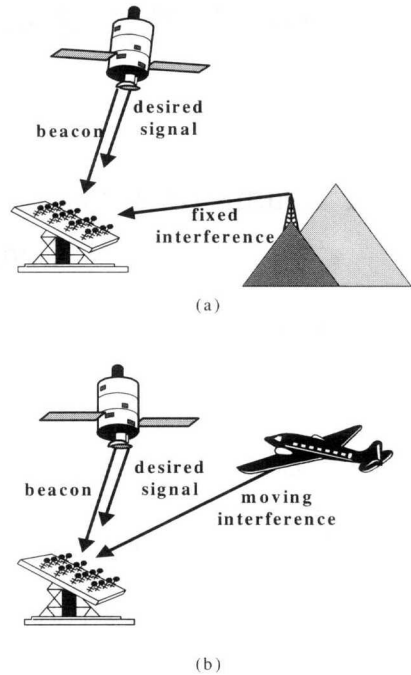


그림 1. 간섭 신호 모델링: (a) 고정 간섭, (b) 동적 간섭.

러한 고정 간섭과 동적 간섭은 시스템의 성능을 열화시키는 직접적인 요인이 되므로 반드시 제거되어야 할 간섭이다. 그리고 수신 신호를 방해하려는 목적을 지닌 간섭 신호는 배경 잡음에 비해서 큰 파워를 지니고 직접적으로 영향을 미치는 간섭의 개수가 한두개로 제한될 수 있다는 것이 특징이다<sup>[4]</sup>.

### 2.2 기존의 간섭 신호 제거 빔형성 기법

위성 채널에서 일반적으로 가정할 수 있는 원하는 수신신호가 한 개이고 수신 성능에 직접적으로 영향을 미치는 간섭의 개수가 한 개일 때, 빔형성 기법을 설명하기 위한 신호의 수학적 모델링은 다음과 같다<sup>[1]</sup>.

- $a_d$ : 원하는 신호의 조향 벡터.
- $a_i$ : 간섭 신호의 조향 벡터.
- $R_s$ : 입력 신호의 공간 공분산 행렬( $n \times n$ ,  $n$ 은 어레이 안테나의 개수).
- $R_d$ : 원하는 신호와 AWGN이 섞인 신호의 공간 공분산 행렬.
- $R_n$ : 간섭 신호와 AWGN이 섞인 신호의 공간 공분산 행렬.

$$\mathbf{R}_s = p_d \mathbf{a}_d \mathbf{a}_d^H + \mathbf{R}_n,$$

여기서  $p_d$ 는 원하는 신호의 전력.

$$\mathbf{R}_d = p_d \mathbf{a}_d \mathbf{a}_d^H + \sigma_n^2 \mathbf{I},$$

여기서  $\sigma_n^2$ 는 AWGN의 분산.

$$\mathbf{R}_n = p_i \mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H + \sigma_n^2 \mathbf{I},$$

여기서  $p_i$ 는 간섭 신호의 전력.

위와 같은 신호 모델링을 기반으로 일반적으로 SINR 빔형성 기법으로 알려진 간섭 신호 제거를 위한 빔형성 기법의 최적해는 식(2-1)과 같다<sup>[5][6]</sup>.

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{a}_d \quad (2-1)$$

이 때, 역 행렬 정리(matrix inversion lemma)를 이용하면  $\mathbf{R}_n^{-1}$ 은 식(2-2)와 같이 전개된다<sup>[1]</sup>.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_n^{-1} &= \frac{1}{\sigma_n^2} \left( \mathbf{I} - \frac{p_i \mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H}{\sigma_n^2 + \mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i p_i} \right) \\ &\approx \frac{1}{\sigma_n^2} \left( \mathbf{I} - \frac{\mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H}{\mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i} \right) \quad (2-2) \end{aligned}$$

$p_i \mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i \gg \sigma_n^2$

일반적으로 간섭 신호의 전력이 AWGN의 전력보다 클 때, 즉, 간섭 신호의 송출 파워가 매우 클 때,  $p_i \mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i \gg \sigma_n^2$ 이라는 가정은 유효하다. 식(2-2)에 의해서 SINR 빔형성기의 최적해는 식(2-3)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{opt} &= \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{a}_d \\ &= \frac{1}{\sigma_n^2} \left( \mathbf{a}_d - \frac{\mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H}{\mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i} \mathbf{a}_d \right) \quad (2-3) \end{aligned}$$

식(2-3)은 SINR 빔형성기의 최적해가 원하는 신호에 빔을 형성하고 간섭신호에는 널(null)을 형성하고 있음을 나타낸다.

그러나 SINR 빔형성기의 최적치는 연산량과 공간 공분산 행렬  $\mathbf{R}_n$ 을 구해야 하는 단점을 지니고 있다. 일반적으로  $n \times n$  행렬의 역행렬을 구하기 위해서 가우스 소거법을 이용했을 때  $O(n^3)$ 의 연산량이 필요하기 때문에 SINR 빔형성기의 최적해를 구하기 위해서는 많은 연산량이 필요하다<sup>[7]</sup>. 그리고 공분산 행렬  $\mathbf{R}_n$ 을 구하기 위해서는 여러 안테나에 수신되는 신호로부터 원하는 신호의 방향 성분과 크기 성분을 제거해야 하는 매우 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 그러므로, 연산량을 줄이면서 간단한

구조를 갖는 간섭 제거 빔형성 기법이 필요하다.

### III. 투영 행렬 빔형성 기법

본 논문에서 제안된 투영 행렬 빔형성 기법을 이용한 간섭 신호 제거 기법은 다음 두 가지 조건을 전제로 한다. 우선 간섭 신호나 원하는 신호의 DOA 중 한가지는 알고 있어야 하며, 다음으로 간섭 신호는 시스템 대역 내에서 작용하는 협대역 신호임을 가정한다. 고정 간섭은 간섭 신호의 방향이 고정되어 있으므로 간섭 신호의 DOA를 예측할 수 있는 전력이 강한 협대역 신호라고 할 수 있고, 동적 간섭은 잡음 신호의 DOA가 일정하지 않은 협대역 신호이지만, 위성 시스템인 점을 감안하면 적어도 원하는 신호의 DOA는 추정할 수 있다고 하면 위의 투영 행렬 기법을 적용하기 위한 두 가지 전제 조건을 만족한다고 할 수 있다.

우선 두 종류의 투영 행렬  $\mathbf{P}_i$ 와  $\mathbf{P}_d$ 를 정의한다.  $\mathbf{P}_i$ 는 간섭 신호의 조향 벡터에 의한 투영 행렬이고,  $\mathbf{P}_d$ 는 원하는 신호의 방향에 대한 투영 행렬이다<sup>[8][9]</sup>.

$$\mathbf{P}_i = \frac{\mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H}{\mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i} \quad (3-1)$$

$$\mathbf{P}_d = \frac{\mathbf{a}_d \mathbf{a}_d^H}{\mathbf{a}_d^H \mathbf{a}_d} \quad (3-2)$$

이러한 투영 행렬로부터 두 개의 공간 공분산 행렬  $\mathbf{R}_{new1}$ 과  $\mathbf{R}_{new2}$ 를 정의할 수 있다.

$$\mathbf{R}_{new1} = (\mathbf{I} - \mathbf{P}_i) \mathbf{R}_s \quad (3-3)$$

$$\mathbf{R}_{new2} = \mathbf{P}_d \mathbf{R}_s \quad (3-4)$$

공간 공분산 행렬  $\mathbf{R}_s$ 는 입력 신호의 방향 성분과 전력 성분에 대한 정보를 제공해 주는 행렬이므로,  $\mathbf{R}_{new1}$ 은  $\mathbf{R}_s$ 에서 간섭 신호의 방향에 대한 전력 성분을 제거한 공간 공분산 행렬이고,  $\mathbf{R}_{new2}$ 은  $\mathbf{R}_s$ 에서 원하는 신호의 방향에 대한 전력 성분을 증폭시킨 형태의 공간 공분산 행렬이라고 할 수 있다.

#### 3.1 고정 간섭 제거 기법

고정 간섭은 앞서 가정한 것과 같이 간섭 신호의

DOA를 추정할 수 있으므로, 식(3-3)에서 얻은  $\mathbf{R}_{newl}$ 을 식(3-5)와 같이 고유치 해석을 한 후, 가장 큰 고유치에 해당하는 고유 벡터 (아래부터 가장 큰 고유 벡터라 일컬음)  $\mathbf{e}_{max}$ 를 빔형성기의 가장 큰 벡터  $\mathbf{w}_{newl}$ 으로 결정한다.  $\mathbf{R}_{newl}$ 이 앞서 설명한 것과 같이 수신 신호에서 간섭 신호의 정보를 제거한 공간 공분산 행렬이므로 고유치 분해에 의해 결정된  $\mathbf{w}_{newl}$ 은 원하는 신호에는 빔을 형성하고 간섭에는 널을 형성함으로써 간섭을 제거하는 어레이 안테나의 가장치 벡터가 된다.

$$\mathbf{w}_{newl} = eig_{max}(\mathbf{R}_{newl}) \quad (3-5)$$

여기서  $eig_{max}(\cdot)$ 는 고유치 분해 후, 가장 큰 고유치에 해당하는 고유벡터를 구하는 함수이고, 수치 해석을 통해 power method 등으로 구현할 수 있다<sup>7)</sup>.

식(3-5)의 수학적 의미를 다음과 같이 분석할 수 있다. 임의의 행렬로부터 가장 큰 고유 벡터를 구하기 위한 대표적인 기법인 power method를 이용하기 위해 우선 임의의 벡터  $\mathbf{w}_0$ 를 가정하고,  $\mathbf{w}_1 = \mathbf{R}_{newl} \mathbf{w}_0$ ,  $\mathbf{w}_2 = \mathbf{R}_{newl} \mathbf{w}_1$ , ...,  $\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{R}_{newl} \mathbf{w}_k$  와 같은 반복적인 연산을 수행한다. 이로부터 행렬  $\mathbf{R}_{newl}$ 의 가장 큰 고유 벡터를 구하기 위한 식(3-6)을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{R}_{newl}^k \mathbf{w}_0 \quad (3-6)$$

이 때,  $\mathbf{R}_{newl}^k$ 은 투영 행렬의 특성에 의해서 식(3-7)과 같이 전개된다<sup>8)</sup>.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{newl}^k &= \{(\mathbf{I} - \mathbf{P}_i) \mathbf{R}_s\}^k \\ &= \{(\mathbf{I} - \mathbf{P}_i) \mathbf{R}_d\}^k \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{P}_i) \mathbf{R}_d^k \end{aligned} \quad (3-7)$$

즉, 원하는 신호의 조향 벡터 방향으로 스패น(span)하고 있는 공간 공분산 행렬  $\mathbf{R}_d$ 와 그 방향과 상관 관계가 적은 간섭 신호의 조향 벡터 방향으로 스패น하고 있는 투영 행렬  $\mathbf{P}_i$ 에 대해

$\mathbf{P}_i \mathbf{R}_d \mathbf{P}_i = \mathbf{R}_d \mathbf{P}_i$ 이 성립하므로 식(3-7)과 같이 전개할 수 있다<sup>10)</sup>.

식(3-6)과 식(3-7)에 의해서  $\mathbf{w}_k$ 는 식(3-8)과 같이 표현된다.

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{R}_{newl}^k \mathbf{w}_0 = (\mathbf{I} - \mathbf{P}_i) \mathbf{R}_d^k \mathbf{w}_0 \quad (3-8)$$

임의의 벡터  $\mathbf{v} = \mathbf{R}_d^k \mathbf{w}_0$ 를 정의하고,  $\mathbf{R}_d$ 의 고유 벡터 집합을  $\mathbf{x}_n, \dots, \mathbf{x}_1$ 으로 가정하고  $\mathbf{x}_n$ 은 가장 큰 고유치에 해당하는 고유 벡터라고 가정하면, 벡터  $\mathbf{v}$ 는 흔히 볼 수 있는 형태의 식으로 주어진다.

$$\mathbf{v} = c_n \lambda_n^k \mathbf{x}_n + \dots + c_1 \lambda_1^k \mathbf{x}_1 \quad (3-9)$$

초기치  $\mathbf{w}_0$ 가  $\mathbf{x}_n$ 의 벡터 성분을 일부 포함하고 있어서  $c_n \neq 0$ 이면, 식(3-9)는 식(3-10)으로 표현할 수 있고  $k$ 의 반복 횟수가 증가할수록 벡터  $\mathbf{v}$ 는 점차 벡터  $\mathbf{x}_n$ 으로 수렴해 간다.

$$\mathbf{v} = \lambda_n^k \left( c_n \mathbf{x}_n + \dots + c_1 \frac{\lambda_1^k}{\lambda_n^k} \mathbf{x}_1 \right) \quad (3-10)$$

다시 말해서, 벡터  $\mathbf{v}$ 는 점점 더 벡터  $\mathbf{x}_n$ 의 방향 성분으로 지향하게 된다. 이 때, 벡터  $\mathbf{x}_n$ 은  $\mathbf{R}_d$ 의 가장 큰 고유 벡터이므로,  $\mathbf{x}_n = \mathbf{a}_d$ 가 된다<sup>5)18)</sup>. 이로써, 식(3-5)는 식(2-3)과 같은 형태인 식(3-11)과 같이 나타낼 수 있고, 제안된 기법이 간섭이 존재하는 환경에서 간섭을 제거하는 최적해임을 의미한다.

$$\mathbf{w}_{newl} = \begin{pmatrix} \mathbf{I} - \mathbf{P}_i \\ \mathbf{I} - \mathbf{P}_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_n \\ \mathbf{a}_d \end{pmatrix} \quad (3-11)$$

그리고, 식(3-11)은 식(2-3)과는 달리, 간섭 신호의 DOA가 주어질 때 공간 공분산 행렬  $\mathbf{R}_s$ 로부터 직접 계산할 수 있고,  $n \times n$ 의 행렬로부터 고유 벡터를 얻기 위해 power method의 경우  $O(n^2)$ 의 연산량이 필요하므로 역행렬을 구해야 하는 연산량의 부담을 줄일 수 있다<sup>7)</sup>.

그림 2는 투영 행렬 기법을 이용한 빔형성기의 공간 스펙트럼과 SINR 빔형성기의 공간 스펙트럼을 나타낸 그림이다. 고정 간섭이  $110^\circ$ 에서 입사하고 원하는 신호가  $55^\circ$ 에서 입사하는 것을 가정했다. 제안된 투영 행렬을 이용한 빔형성 기법이 SINR 빔형성기법과 마찬가지로 공간 스펙트럼의 측면에서 고정 간섭의 방향에 널을 형성시켜 제거하고 있음을 알 수 있다. 이는 제안한 기법이 일종

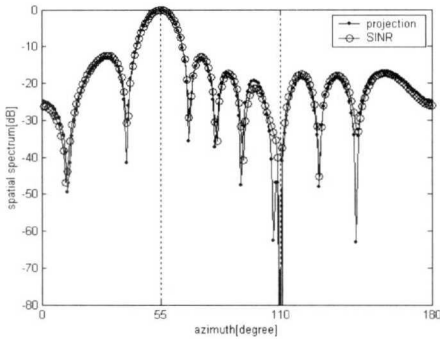


그림 2. 투영 행렬 빔형성 기법과 SINR 빔형성 기법의 공간 스펙트럼 비교: 고정 간섭 제거

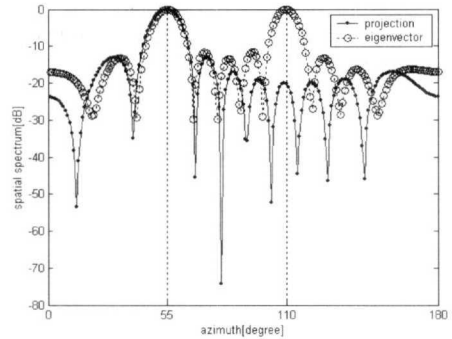


그림 3. 투영 행렬 빔형성 기법과 일반적인 고유치 해석을 통한 빔형성 기법의 공간 스펙트럼 비교: 동적 간섭 제거

의 SINR 빔형성기의 최적해라는 수식적 증명을 뒷받침 해주는 실험 결과라고 할 수 있다.

### 3.2 동적 간섭 제거 기법

동적 간섭은 고정 간섭과 달리 간섭 신호의 입사 방향이 일정하지 않고 이동을 하기 때문에 간섭 신호에 널을 형성 해주는 첫 번째 기법을 사용할 수 없다. 그러므로, 원하는 신호의 조향 벡터로 공분산 행렬을 투영시킴으로써 원하는 신호의 방향으로 전력을 키워주고 잡음 벡터의 방향 성분은 감쇠시켜 잡음의 영향을 줄이는 기법을 사용한다. 제안된 시스템이 위성 통신임을 감안하면 원하는 신호의 방향이 거의 고정되어 있음을 가정할 수 있으므로 원하는 신호의 방향에 관한 투영 행렬  $P_d$ 를 구할 수 있고 이에 투영시킨 공간 공분산 행렬  $R_{new2}$ 는 각각 식(3-4)로 표현된다.

동적 간섭 제거 기법은 공간 공분산 행렬  $R_{new2}$ 를 고유치 분해해서 가장 큰 고유 벡터를 가중치 벡터  $w_{new2}$ 로 삼는 기법으로 간섭의 영향을 최소화하는 기법이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$w_{new2} = eig_{max}(R_{new2}) \quad (3-12)$$

$a_d^H a_d \gg a_i^H a_i$ 이므로 투영 행렬  $P_d$ 에 의해 공분산 행렬  $R_{new2}$ 의 성분은 원하는 신호의 방향으로 지향되고 이로부터 구해진 가중치 벡터  $w_{new2}$ 는 간섭의 영향을 최소화 시켜 준다.

그림 3은 동적 간섭이 110°에서 발생했을 때, 동적 간섭 제거 기법을 이용한 빔형성기의 공간 스펙트럼을 간섭을 동적 간섭 제거 기법을 사용하지

않은 일반적인 고유치 분해에 의한 빔형성 기법과 비교한 그림이다. 공간 스펙트럼 상으로 비교해 보면 간섭 제거를 하지 않는 경우 간섭의 방향에도 빔을 형성하게 되는데, 간섭 제거 기법을 이용함으로써 간섭을 일으키는 방향에 최소한 빔을 형성시키지 않음으로써 간섭의 영향을 줄이고 있음을 볼 수 있다.

## IV. 모의 실험 및 결과

모의 실험을 통한 제안된 빔형성 기법의 성능 평가를 하기 위한 실험 환경은 표 1과 같다. 간섭 모델링은 고정 간섭과 동적 간섭이 동시에 모두 작용하는 경우를 가정하였으며, 성능 평가를 위한 변조 방식으로 FH/BFSK 방식을 선택하였다.

FH/BFSK 시스템에 빔형성 기법을 적용하기 위해 제안된 기법에 주파수 도약에 의한 가중치 벡터 보상 기법도 사용하였다. 성능 평가는 평판 어레이 개수를 늘려가며 얻은 비트 오차 확률(bit error

표 1. 모의 실험의 파라미터

Parameter	Value
DOA of the desired signal	55°
DOA of the fixed interference	95°
DOA of the moving interference	any direction
SNR of the fixed interference	20 dB
SNR of the moving interference	20 dB
Modulation technique	FH/BFSK
Satellite orbit	GEO

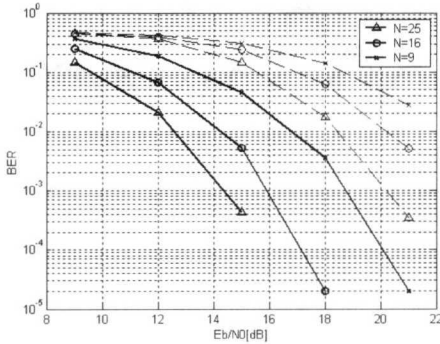


그림 4. 간섭 제거기를 사용한 경우(직선)와 사용하지 않은 경우(실선)의 오차 확률 비교

probability)이 일반적인 음성 통신을 만족하기 위한  $10^{-3}$ 과 데이터 통신을 만족하기 위한  $10^{-4}$ 을 만족하는  $E_b/N_0$ 로 결정한다<sup>[2][3]</sup>.

그림 4는 간섭 신호를 제거한 경우와 간섭 신호를 제거하지 않은 경우에 대한 오차 확률 결과를 그린 그림이다. 평균 어레이 안테나 개수  $N=25$ 일 때, 간섭 신호를 제거하지 않은 경우 보다 제안된 간섭 신호 제거 기법을 사용하는 경우 오차 확률  $10^{-3}$ 에 대하여 6dB 정도 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 그리고, 간섭 모델링의 환경이 위와 같을 때, 신호의  $E_b/N_0$ 가 17dB에서도 데이터 통신이 가능한  $10^{-4}$ 의 오차 확률을 나타냄을 알 수 있다.

### V. 결론

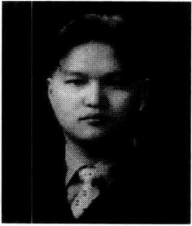
본 논문에서는 위성 통신에 적합한 투영 행렬 빔형성 기법을 제안하였으며, 제안된 기법이 간섭 제거를 위한 빔형성 기법의 최적해의 또 다른 형태임을 수학적으로 증명하였고, 모의 실험을 통해서 성능 향상이 있음을 보였다. 고정 간섭과 동적 간섭의 SNR이 20dB인 경우에도 투영 행렬 빔형성 기법을 이용해 간섭을 제거하면  $E_b/N_0$ 가 16dB이상인 경우 25개의 평균 어레이 안테나에 대해서 음성 통신과 데이터 통신이 오차 확률을 만족하는 성능을 보장할 수 있었다. 그러나, 제안된 시스템은 신호의 DOA를 미리 알고 있다는 제한에서 출발하므로 신호의 DOA가 정확하면 정확할수록 더 나은 성능을 얻을 수 있기 때문에 정확한 신호원 탐색(direction finding) 기법이 요구되어지는 제한점을 갖는다.

### 참고 문헌

- [1] Lal C. Godara, "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations", Proc of the IEEE, Vol.85, NO.8, pp.1195-1245, August, 1997.
- [2] G. Maral and M. Bousquet, Satellite Communications Systems, John Wiley & Sons Ltd., 1988.
- [3] Tirro, Satellite Communication System Design, Plenum.
- [4] F. Eken, "Use of Antenna Nulling with Frequency Hopping Against the Follower Jammer", IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol.39, No.9, pp.1391-1397, September, 1991.
- [5] Ayman F. Naguib, Adaptive Antennas for CDMA Wireless Networks, Ph. D. dissertations, Stanford University, 1996.
- [6] Barry D. Van Veen and Kevin M. Buckley, "Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering", IEEE Mag. on ASSP, pp.4-24, April, 1988.
- [7] Myron B. Allen III and Eli L. Issacon, Numerical Analysis for Applied Science, Department of Mathematics University of Wyoming.
- [8] Gilbert Strang, Linear Algebra And Its Applications 3rd Editions, Harcourt Brace Jovanovich, 1988.
- [9] M. Zhang, W. Yang and L. Li, "New method of constructing the projection matrix for array processing in single snapshot case", IEE Processing-F, Vol.138, NO.5, pp.407-410, October, 1991.
- [10] Don H. Johnson, "The Application of Spectral Estimation Methods to Bearing Estimation Problems", Proc. IEEE, Vol. 79, No. 9, pp.1018-1028, September 1982.

심 세 준(Seijoon Shim)

준회원



1999년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 졸업

2001년 2월 : 연세대학교 전기  
전자 공학과 석사

2001년 3월 ~ 현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정

<주관심 분야> MIMO 시스템, 이동통신

정 성 현(Sunghun Jung)

정회원



1990년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 졸업

1992년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 석사

1992년 3월 ~ 현재 : (주)삼성  
탈레스 책임 연구원

이 충 용(Chungyong Lee)

정회원

한국통신학회 논문지 제24권, 제7A호 참조

윤 대 희(Dae-Hee Youn)

정회원

한국통신학회 논문지 제24권, 제7A호 참조