

# DS/SS 통신에서 BISP 알고리즘을 이용한 적응 다중 사용자 검출

석경휴\*, 나기창\*\*, 임영진\*, 이성빈\*, 배철수\*\*, 나상동\*  
\*조선대학교 컴퓨터공학부  
\*\*관동대학교 정보 통신공학과  
\*\*\* (주) 팬텍 생산기술연구소

## Adaptive Multi-User Detection BISP Algorithm in DS/SS Communication

Kyung-Hyu Suk\*, Chang Na\*\*, Young-Jin Lim\*, Sung-Bin Lee\*,  
Chul-Soo Bae\*\*, Snag-Dong Na\*

\*Dept. of Computer Engineering, Chosun University  
\*\*Dept of Electronic Com. Kwangdong University  
\*\*\*Pantech co., LTD. Production Tec

### 요 약

직접 대역 확산 통신 방식에서 처리 이득에 비해 강한 협대역 간섭 신호가 존재 할 때 성능 향상을 위하여 다중 사용자 탐지 기술(MUD)을 사용하여 간섭 신호 제고를 위한 신호 검출을 하였으며, 적응 집속 채널 배열 응답과 다중 사용자 검출을 하기 위하여 BISP 알고리즘을 제안하였다. 또한 CDMA 채널에서 MAI와 ISI 검출에 BISP 알고리즘 신호 흐름 형태를 파악하여, 신호대 간섭 비율(SIR)과 신호대 잡음비율(SNR)에서 시간에 따른 비트율을 평가 하였다. 제안한 BISP 알고리즘은 방사 특성에 시간 지연 효율이 절반 이상 차이가 나지만 채널 특성 따라서 입력 신호를 조정할 수 있다. 그리고 매치 필터를 통과하면서 각 채널간의 간섭을 억제하고, 사용자 검출을 용이하게 처리할 수 있다.

### I. 서 론

직접 대역 확산(Direct Sequence Spread Spectrum; DS/SS) 통신 방식은 처리 이득을 높임으로써 간섭 신호에 대한 생존성을 향상시킬 수 있어 널리 이용되어 왔다[1]. 그러나 현실적으로 제한된 대역과 기술적인 한계로 인하여 처리 이득이 제한된다. 따라서 처리 이득에 비해 강한 협대역 간섭 신호가 존재할 때에는 성능 향상을 위해 간섭 신호 제거를 위한 신호 검출이 요구된다.

멀티 송신기와 수신기의 쌍은 물리적인 채널과 같은 비직선형 멀티플렉싱을 사용하여 통신을 한다. 그 중에서 가장 뛰어난 특징은 CDMA 시스템에서 간섭을 억압하기 위하여 다양한 다중사용자 탐지(Multi User Detection : MUD)기술이다. 다중 경로 채널 이득들을 동일시하는 것의 주파수 선택 다중경로에서 유효한 신호 파형을 탐색하는 것에 대하여 BISP(Biological Information Signal Processing) 알고리즘 방법을 제안하고, 이러한 알고리즘을 사용하여 다중 사용자 검출과 간섭 억압을 하는 BISP 알고리즘을 제안하고, 부분 공간에서의 수신율을 평가 하였다.

### II. 다중사용자 검출

#### 2.1. 동기식 CDMA 방식에서 적응 다중 사용자 검출

다중 사용자에 대한 디지털 DS/SS CDMA 망의 대역폭 동기화를 고려하여 수신기는 신호 간격 범위 내에서 수신된 불연속적인 신호의 칩 비율을 샘플링 하여 추출하는 N-벡터에 의하여 Chip-Matched 필터링 단계를 거친다.

$$r(i) = \sum_{k=1}^K A_k b_k(i) s_k + \sigma n(i) \quad \dots \quad (1)$$

$A_k$ ,  $b_k(i)$  그리고  $S_k$ 들은 수신된 넓이,  $I$  번째 수신된 비트와  $k$  번째 사용자의 표준 신호 파형을 나타내며  $\sigma^2$ 는 다양한 노이즈의 샘플들을 나타내며,  $n(i)$ 는 공분산 행렬  $I_N$ 과 0를 의미하는 백색 가우시안 노이즈 벡터를 나타낸다. ( $I_N$ 는  $N \times N$  행렬을 의미한다.)

$K$  사용자의  $\{S_k\}_{k=1}^K$  신호파형의 순서들은 선형적인 독립을 추정하고 수신된 신호  $r(i)$ 의 자동 상관성 행렬은 다음의 공식으로 정의되어 지고, 각각의 신호 검출의 매개변수 공식은 식 (2), (3)의 정의된다.

$$d_k = \gamma_k^d U_S (A_S - \sigma^2 I_K)^{-1} U_S^T s_k \quad \dots \quad (2)$$

$$m_k = \gamma_k^m U_S A_S^{-1} U_S^T s_k \quad \dots \quad (3)$$

$\gamma_k^d$ 와  $\gamma_k^m$ 은 완전한 상수이며 이러한 상수는 선형 검출기에는 영향을 주지 않는다. BISP 알고리즘은 적합하게 신호 부분 공간 구성 요소들을 탐색하고 선형 다중 사용자 검출기 형태에서 적응 MUD 방법과 비교하여 그 부분 공간 접근은 낮은 계산 복잡도를 가지고, 향상된 성능을 가진다.

### 2.2. 적응 접속 채널 배열 응답과 다중 사용자 검출

다중 경로 채널 이득들을 동일시하는 것의 주파수 선택 다중경로에서 유효한 신호 파형을 탐색하는 것에 대하여 BISP 알고리즘 방법을 제안되었다. 다중 경로 채널에 의해 굴절되었을 때 나타나게 되는데, 부분 공간에서 접근의 순차적으로 신호를 처리함에 따라 원하는 사용자 신호의 응답배열 평가 빠르고 효율적으로 검출할 수 있다.

## III. CDMA 채널에 MAI와 ISI

수신기에서 선형 필터를 사용하여 다중 액세스 간섭과 다중 경로 간섭을 제거와 같은 완화시킨다. 낮은 속도의 CDMA 시스템에서의 분석과 설계와 Inter Symbol Interference(ISI)로 인하여 무선 채널은 종종 간과되어지나, 높은 속도의 CDMA 시스템에서의 ISI는 오래 간과하지 않고 빠르며, MAI(Multiple Access Interference)와 같이 사용되며 종합적인 시스템 성능에 주요한 장애 완화시킬 수 있게 구성되어 진다.

### 3.1. 수신기 입력 신호 형태

K명의 사용자의 2진 통신 시스템을 고려할 때, 표준화된 파장 변조  $s_1, s_2, \dots, s_K$ 를 사용하고, 증가되는 백색 가우시안 잡음과 분산 채널에서 수신된 파장 변조를 통해서 처리된다. k 번째 사용자의 수신된 신호는

$$x_{k(t)} = A_K \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) s_k(t - T - T_k) \quad \dots \quad (4)$$

T는 symbolo 간격의 정보를 나타내며,  $A_K \{ b_k(i) \}$ 와  $T_k$ 는 각각 크기와 symbol stream와  $0 \leq T_k < T$  범위에서 k 번째 사용자의 지연을 나타낸다.

분산 채널의 impulse 응답  $g_k(t)$ 를 통해서 k 번째 사용자의 신호  $X_k(t)$ 를 송신하고, 수신기에서 K번째 사용자의 수신된 신호는  $y_k(t) = x_k(t) * g_k(t)$ 로 주어지며, 아래 식으로 다시 표현 할 수 있다.

$$y_k(t) = A_K \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) \sum_{j=0}^{K-1} C_{k(j)} g_k(t - iT - jT_c) \quad \dots \quad (5)$$

수신기의 종합 수신된 신호는 증가된 백색 가우시안 잡음의 k 번째 사용자의 데이터 신호 펄스 상태이며, 공식은 식 (8)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K y_k(t) + u(t) \quad \dots \quad (6)$$

$u(t)$ 는 power 스펙트럼의 밀도  $\sigma^2$ 의 복잡한 가우시안 noise의 zero를 의미한다. 불연속적인 시간 신호를 수신하는 동안 n 번째 chip 기간에서 1 번째 심볼 간격은  $0 \leq n < N$ 에 대한 다음과 같은 공식이 주어진다.

$$r_n(t) \triangleq \int_{iT+nT_c}^{iT+(n+1)T} r_k(t) U(t - iT - nT_c) dt = \sum_{k=0}^K Y_{nk}(t) + c_{n(i)} \triangleq Y_n(t) + U_n(t) \quad \dots \quad (7)$$

따라서

$$r(t) \triangleq \begin{bmatrix} r_0(t) \\ \vdots \\ r_{N-1}(t) \end{bmatrix} \quad Y(t) \triangleq \begin{bmatrix} Y_0(t) \\ \vdots \\ Y_{N-1}(t) \end{bmatrix}$$

$$U(t) \triangleq \begin{bmatrix} U_0(t) \\ \vdots \\ U_{N-1}(t) \end{bmatrix} \quad b(t) \triangleq \begin{bmatrix} b_0(t) \\ \vdots \\ b_{N-1}(t) \end{bmatrix}$$

$$r(t) \triangleq \begin{bmatrix} h_{0,1}(t), \dots, h_{0K}(t) \\ \vdots \\ h_{N-1,1}(t), \dots, h_{N-1,K}(t) \end{bmatrix} \quad \dots \quad (8)$$

식 8과 같은 행렬은 BISP 알고리즘 구조에 입력값으로 주어지고, 그 출력값은 다시 다음 블록의 입력값으로 주어지게 되고, BISP 행렬 구조로 불리어지게 된다.

### 3.4. BISP 알고리즘

CDMA 확산 스펙트럼 시스템에서 사용자 k의 신호 파형 변조  $S_k(t)$ 는 협대역 신호로 그 패킷에 할당된 코드열로부터 유도된다. 사용자 k는 시동기를 유지하므로서 적응 신경망 시스템 구조의 모든 사용자들과 관련해 시간 지연은 '0'으로 가정 될 수 있으므로 이진 QPSK 신호를 사용하며, 확산 스펙트럼 신호  $S_k(t)$ 는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_k(t) = A_k a_k(t) \cos(\omega_c t + \theta_k), k = 1, 2, \dots, K \quad \dots \quad (9)$$

식 (9)에서  $A_k$  는 진폭을,  $w_c$ 는 반송자 주파수,  $\theta_k \in [0, 2\pi]$ 는 위상각을 의미한다. 또한 비동기 가우시안 채널 양쪽 모두에서 다른 신호로 분리되는데 BISP 알고리즘을 이용하여 간섭이 있는 곳에서 간섭 신호 검출은 적응 횡단선 필터로 수행하고, 연속적인 입력값은 BISP 알고리즘 구조에서 이루어진다.

3.4.1. BISP 알고리즘 구조

BISP 알고리즘을 이용한 적응 BISP 구조에서 수신기들은 하나의 노드에 대한 입력층과 하나 이상의 노드 블록과, 둘 이상의 노드 블록으로 구성된다. 수신 신호  $r(i)$ 가 입력되면 칩 주기(TC)만큼 지연되어 첫 번째 입력 값은  $x$ ,  $y$ 의 변수로 주어지며 거기에 가중치  $w$ 가 곱해진다. 두 번째 입력은 첫 번째 입력 값에 의한 출력 값이 두 번째 입력 값이 되면서  $x$ ,  $y$ ,  $w$ 값들의 매개 변수가 증감을 가지면서 다음층의 입력값이 된다. 각 블록에 있는  $x$ ,  $y$ 값은 H 경로를 통해서 다음 층의 입력이 된다.

수신된 신호  $r(i)$ 의 검출 후 Matched Filter에서 가우시안 잡음과 협대역 간섭이 제거되고, 채널 형태에 따라서 행렬 형식으로 BISP 알고리즘의 입력으로 들어간다.

그림 2에서는 입력과 출력이 동시에 이루지는 매개변수 노드  $H_i(j)$ 에 정렬 끝  $x_i$ 와  $y_i$ 의 많은 매개변수 연산을 제공하고,  $H_i+1(j)$ ,  $H_i(j+1)$ ,  $H_{i-1}(j+1)$ 의 경로를 통서 다음 입력으로 주어진다.

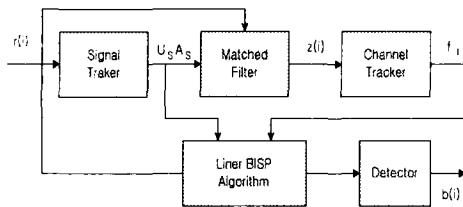


그림 1. 적응 수신기 구조

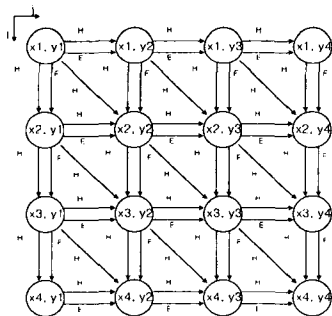


그림 2. 선형 BISP 알고리즘 구조

그림 1을 보면 매개변수를 통과하는 대각선에서 왼쪽에서 오른쪽 아래로 각각의 블록 노드값들이 처리되고, 결국 수신기 구조에서의 수신 신호 형태인 행렬 구조를 가지게 되고 각각의 입력 값들은 별개의 노드 행렬 구조가 된다.

3.4.2. BISP 알고리즘 신호 흐름 형태

수신된 신호가 칩 주기만큼 지연되면서 입력과 출력이 반복되어 이루지는 동안 누적되어지는 매개변수들은 수직과 수평 방향으로 일정한 형태의 신호 처리 형태를 가지게 된다. 결국 변환되는  $x$ ,  $y$ 값에 의해서 블록 노드 결정값  $H$ 가 결정되고, 일정한 방향의 경로를 가지게 된다. 각 층에 있는 각 노드 블록은 상위 계층의 모든 노드들에 연결이 되어지므로 각 층의 노드의 출력 값은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_i^{(l)} = g \left( \sum_{j=1}^{m_{l-1}} \omega_{ji}^{(l)} v_j^{(l-1)} - \omega_{oi}^{(l)} \right), i=1, 2, \dots, m_l, l=1, 2, \dots, l \dots \dots (10)$$

식(10)에서  $v_j^{(l)}$ 은  $l$ 층에 대한  $j$  번째 입력을 나타내며,  $m_l$ 은 입력의 총수를 의미한다. BISP 알고리즘은 적은 면적의 에러를 가지게 되지만 시간 지연의 문제 발생하지만, 아래의 구조를 살펴보면 이러한 시간 문제를 해결할 수 있다. 그림3과 4에서의 구조를 살펴보면, 각 블록 노드 처리 형태를 보면, 수평적 투사 방식과 대각선 투사 방식으로 나누어질 수 있는데, 이 두 투사 방법은 시간 지연을 결정하는 중요한 요인이 된다.

그림 3과 그림 4에서 알 수 있는 것처럼  $i = n, j = m$  크기의 BISP 구조에서 각 투사 방향을 살펴보면, 수평 투사를 위한 프로세서의 이용율이 100%에 가까운 반면 대각선 투사를 위한 프로세서 이용율은 단지 50% 뿐이다.

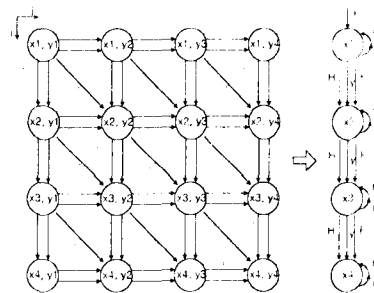


그림 3. 수평 처리 BISP 알고리즘 구조

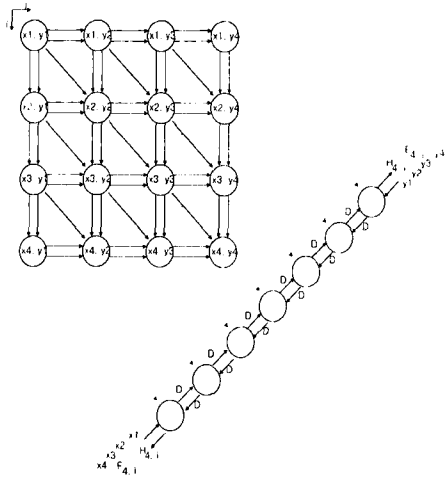


그림 4. 대각선 처리 BISP 알고리즘 구조

이와 같이 투사 방향 결정에 의해서 같은 처리에서도 두 가지의 효율 가질 수 있다. 이러한 투사 방향 결정은 그림 1의 수신기 구조에서 사용자 수와 채널 사용 양에 따라서 매치 필터에서 노드 블록 처리 전에 투사 방향을 결정 후에 BISP 알고리즘 구조에서 행렬 형태의 입·출력이 동시에 이루어지면서, 각 채널간의 간섭을 억제하고, 사용자 검출을 용이하게 처리하게 된다.

IV. 시뮬레이션 평가

BISP 알고리즘을 적용한 그림 1과 2에서 보여 준 것 처럼 MAI와 ISI의 간섭 억압을 위한 응용 수신기 구조와 알고리즘 신호 처리 형태에 대해 설명하였다. 증가된 수신신호  $r(i)$ 는 매치 필터를 통해 제공되어지고, 이러한 입력 신호를 각 노드 블록으로 구성하여  $(U_s, A_s)$ 에 대하여 순차적으로 평가한다.

4.1. 검출기에서의 SIR 비교

동기 CDMA 채널에서의 다중 통로 지연 기간동안의 하나에 대한 심볼간격(L=2)를 고려하였다. 수신된 신호  $r(i)$ 의 검출 후 Matched Filter에서 가우시안 잡음과 협대역 간섭이 제거되고, 채널 형태에 따라서 행렬 형식으로 BISP 알고리즘의 입력으로 들어간다. 그림 2에서는 입력과 출력이 동시에 이루어지는 매개변수 노드  $H_i(j)$ 에 정렬 끝  $x_i$ 와  $y_j$ 의 많은 매개변수 연산을 제공하고, 각각의 사용자의 응답  $f_k$  또한 일반적으로 랜덤하게 하였으며, 일반적인 표준 장치를 사용하였고, 신호간섭 비율을 20dB이다. 여기에서 수신기 성능 평가 방법은 검

출기 출력에서 신호간섭 비율(SIR)을 사용하였다.

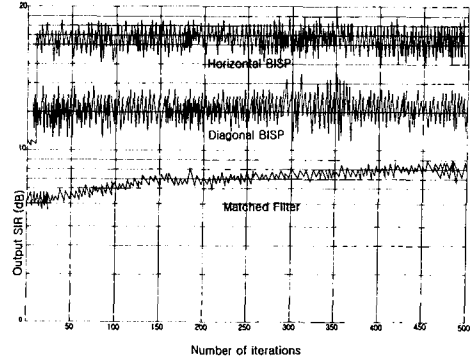


그림 5. BISP 알고리즘에 의해 출력된 SIR

그림 5에서의 결과를 살펴보면 기존 Matched Filter만 사용된 신호대 잡음은 효과적인 잡음 효과를 볼 수 있지만 원하는 시간에 도달하는데 있는 많은 지연이 발생된다. 하지만 BISP 알고리즘 구조를 거친 신호대 잡음비는 시간 문제를 효율적으로 제어 하면서 수평적 방법과 대각선 방법은 빠른 시간 내에 출력 비에 도달하게 된다. 여기서 수평적 BISP 알고리즘은 대각선 BISP 알고리즘에 비해 좀더 빠르게 출력 비에 도달한다. 하지만 기존 방법 보다 잡음 제거율이 떨어지지만 그림 5에서의 시뮬레이션은 최종 검출기의 출력값이 아니기 때문에 다음에 설명 될 그림 6에서 살펴보면 전체적인 성능 평가를 살펴 볼 수 있다.

4.2. MAI와 ISI에서의 관련 잡음 억압 비교

지속적인 잡음들의 환경에서 분산 CDMA 시스템에서 MAI와 ISI의 억압을 위한 방법을 고려하였다. 사용자 신호는 독립적인 것으로 가정하고, 자동 상관 행렬  $N_m \times N_m$ 에서의 수신된 신호  $r(i)$ 의 입력이 되고, 다음 식과 같다. 채널 평가를 하기 위해서 수신기에서 두 가지의 방사 방법을 사용하고, 수신된 신호 벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$r_1(i) = H_1 b(i) + v_1(i) \dots (11)$$

$$r_2(i) = H_2 b(i) + v_2(i) \dots (12)$$

$H_1$ 과  $H_2$ 는 각각의 방사 패턴에 일치하는 채널의 정보를 포함하고, 방사 방법으로 연결된 수신 신호 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$R \triangleq E \left( \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1^H & r_2^H \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \dots (13)$$

각 노드 블록에서 얻어진 입력 행렬 값은 다음과 같다.

$$R_{11} = H_1 H_1^H + \sum \dots \quad (14)$$

$$R_{22} = H_2 H_2^H + \sum \dots \quad (15)$$

$$R_{12} = R_{21}^H = H_1 H_2^H \dots \quad (16)$$

다음에서는 방사 형태에 따른 수신 입력 신호는 식 (14), (15), (16)과 같이 표현된다.

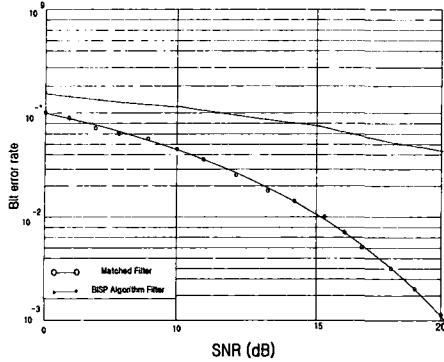


그림 6. 비트에러율대 신호대 잡음비

비트율 대 신호대 잡음비를 기존 Matched Filter 만 사용된 경우 적용 수신기에 BISP 알고리즘을 적용 했을 경우를 비교해 보면, 그림 6에서와 같이 BISP 알고리즘을 적용 했을 때는 현저히 빠른 반응 이 나타남을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 다중 사용자 검출을 위한 간섭 억압과 BISP 알고리즘을 제안하였다. 분산 CDMA 채널에서의 MAI와 ISI 양쪽의 억압을 위하여 적용 수신기 구조를 제안하고, 이 구조에 BISP 알고리즘 구조를 이용한 순차적인 필터링 기법을 이용하여 분산 채널 평가를 하였다. 다중 사용자 검출과 간섭 억압을 하는 BISP 알고리즘을 제안하고, 부분 공간에서의 수신율을 평가하였다. 제안한 알고리즘에서 채널 효율에 따라 수평 방사방법과 대각선 방사 방법에 따라 시간의 효율 차이가 나지만 투사 방향 결정은 수신기 구조에서 사용자 수와 채널 사용 양에 따라서 매치 필터에서 노드 블록 처리 전에 투사 방향을 결정 후에 BISP 알고리즘 구조에서 행렬 형태의 입·출력이 동시에 이루어지면서, 각 채널 간의 간섭을 억제하고, 사용자 검출을 용이하게 처리됨을 알 수 있다. 향후 BISP 알고리즘에 신경망의 역전파 알고리즘을 적용시켜 시간 지연 문제를 좀더 적극적으로 줄이면서 지능적인 수신기 구조의 연구가 필요 하리라 사료된다.

### 참고문헌

- [1] W. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications", McGRAW-HILL CO, 1997, pp.1797-208
- [2] Israe Kom, "Differential Phase Shift Keying in Two-path Rayleigh Channel With Adjacent Channel Interference" IEEE Tran. Vol. 40, pp.461-471, May 1997.
- [3] J. J. Hopfield and D. Tank, "Neural computation of decision in optimization problems," Biol. Cybern., Vol 52, pp. 141-152, 1998.
- [4] J. Ramanujam and P. Sadayappan, "Optimization by neural networks," IEEE Conference on Neural Networks, San Diego, Vol. 2, pp. 325-332. July 1988.
- [5] A. J. Maren, C. T. Harston, and R. M. Pap, Handbook of neural computing application, Academic Press, pp. 107-250, 1999