

반복 알고리즘을 적용한 D-STTD 시스템의 검출 기법 제안 및 성능 분석

준희원 윤길상*, 이정환*, 종신회원 유철우**, 정희원 황인태*

The Proposal and Performance Analysis for the Detection Scheme of D-STTD using Iterative Algorithm

Gil-sang Yoon*, Jeong-hwan Lee* *Associate Members*,
Cheol-woo You** *Lifelong Member*, In-tae Hwang* *Regular Member*

요약

D-STTD 시스템은 Alamouti Code로 알려진 STTD기법을 적용하여 다이버시티 효과를 획득하면서 STTD기법을 병렬로 한번 더 사용함으로써 멀티플렉싱 효과도 얻을 수 있는 기법이다. 이러한 서로 다른 정보를 보내는 멀티플렉싱 효과로 인해 D-STTD는 기존 STTD 기법의 Combining 기법을 적용하는데 어려움을 가져온다. 그래서 본 논문에서는 MMSE 기법을 바탕으로 멀티플렉싱 검출 기법으로 잘 알려진 Linear 알고리즘, SIC 알고리즘, OSIC 알고리즘을 D-STTD 시스템에 적용하고 그 성능을 비교한다. 그리고 새롭게 MAP 알고리즘을 D-STTD 시스템에 적용하여 성능을 분석하고자 한다. 모의 실험 결과, Linear MMSE Detector보다 반복 알고리즘을 적용한 Detector가 최대 3.7dB의 성능향상을 보였다. 특히, 반복 Detector 중 MAP 알고리즘을 적용한 경우에는 약 4.4dB의 성능차까지 나타났다.

Key Words : D-STTD, MMSE, MAP, Detection Algorithm, Iterative Algorithm

ABSTRACT

The D-STTD system obtains the diversity gain through the STTD scheme and the Multiplexing gain through parallel structure of the encoder using the STTD scheme known Alamouti Code. We are difficult to use Combining scheme of the STTD scheme for the D-STTD detection in the decoder because the D-STTD system transmits mutually different data in each other STTD encoder for multiplexing gain. Therefore, in this paper we combine the D-STTD system with Linear algorithm, SIC algorithm and OSIC algorithm known multiplexing detection scheme based on MMSE scheme and compare the performance of each system. And we propose the detection scheme of the D-STTD using MAP Algorithm and analyze the performance of each system. The simulation results show that the detector using iterative algorithm has better performance than Linear MMSE Detector. Especially, we show that the detector using MAP algorithm outperforms conventional detector.

I. 서론

최근의 이동 통신 기술은 고품질 대용량을 요구

하는 멀티미디어 콘텐츠의 수요에 따라 이와 같은 서비스를 지원해야 하는 디지털 시스템으로 빠르게 발전하고 있다. 이러한 이동통신은 무선인 전송 환

* 전남대학교 전자컴퓨터공학과 정보통신연구실(luckyface0410@hanmail.net, ljh8311@gmail.com, hit@chonnam.ac.kr)

** 명지대학교 통신공학과 이동통신연구실(cwyou@mju.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-06-286, 접수일자 : 2008년 6월 24일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 30일

경의 특성에 따라 페이딩, 채널간의 간섭, 신호간의 간섭, 그 외의 잡음을 겪게 된다. 이런 문제들로 인해 이동 통신은 낮은 전송률과 낮은 신뢰도를 나타낸다.

지난 몇 년간 무선 통신 기술의 연구에서 알려졌다듯이 다중 송수신 안테나를 사용함으로써 이와 같은 무선 통신의 문제점을 어느 정도 해결할 수 있게 되었다. 다중 송수신 안테나의 사용을 통해 무선 통신 환경에서 동일 주파수 자원으로 효율적으로 채널의 용량을 늘리고 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 하였다.

다중 송수신 안테나 기술은 크게 다이버시티 기법과 멀티플렉싱 기법으로 나눌 수 있다. 먼저 다이버시티 기법은 다중 송수신 안테나 시스템 환경에서 데이터 송신 시 각 안테나에 동일 데이터를 보냄으로써 데이터의 신뢰성을 확보하는 기법이다. 이는 각 안테나를 통해 신호들이 독립적인 페이딩 환경을 겪음으로써 하나의 안테나를 이용한 신호보다 열악한 페이딩 환경에 빠질 확률이 현격히 줄어든다는 점을 이용한 것이다. 물론 다이버시티 중에도 종류가 여러 가지가 있지만 본 논문에서 사용되는 Alamouti coding으로 알려진 STTD (Space Time Transmit Diversity) 기법을 살펴보면 Alamouti code는 시공간적으로 데이터를 독립적으로 중복 전송함으로써 다이버시티 이득을 획득하고 있다¹¹.

다음으로 멀티플렉싱 기법은 이동통신 환경의 열악성 극복과 아울러 데이터 전송률 측면에서 각 송신 안테나를 통해 서로 다른 데이터를 전송함으로써 성능을 향상시키는 기법이다. 따라서 안테나 개수의 증가에 따라 채널 용량이 증가하여 데이터 전송률도 같이 증가하게 된다. 이러한 다중 안테나의 채널 용량의 극대화된 사용은 Foschini에 의해 BLAST(Bell Labs Layered Space Time) 구조가 소개되면서 알려졌다².

다이버시티 기법과 멀티플렉싱 기법의 효과를 동시에 얻고자 한 D-STTD (Double - Space Time Transmit Diversity) 기법은 Texas Instruments사에 의해 제안되었다. D-STTD기법은 STTD기법을 병렬로 연결한 방식인데 기본구조는 송신안테나 4개로 구성되어 있으며 2개의 송신 안테나를 묶어 하나의 STTD인코더로 사용하여 2개의 STTD 인코더가 존재하는 구조이다³. 이러한 병렬 구조는 STTD 기법의 그 자체로써 다이버시티 이득을 획득하고 2개의 인코더 존재로 멀티플렉싱 이득을 획득할 수가 있는 것이다.

그러나 이러한 안정적인 전송률을 가진 D-STTD 기법은 구현 시 서로 다른 특성을 갖는 기법이 결합되어 수신단에서의 신호 검출이 어렵다는 단점을 가진다. 기존 STTD기법에 적용된 일반적인 Combining 기법만으로 검출하는 것은 다른 인코더로부터 오는 신호로 인해 어려움이 따르고 일반적 ML(Maximum Likelihood) 기법은 안테나의 개수에 지수적으로 복잡도가 증가하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 ML기법보다 낮은 복잡도와 서로 다른 신호도 검출할 수 있는 ZF(Zero Forcing)과 MMSE(Minimum Mean Square Error) 검출 기법이 주로 사용된다⁴.

본 논문에서는 D-STTD기법의 채널 행렬의 특성에 대해서 살펴보고 MMSE 검출 기법을 바탕으로 각 알고리즘을 D-STTD와 결합하여 그 성능을 분석한다. 먼저 기본적인 Linear MMSE Detector 그리고 SIC(Successive Interference Cancellation)와 OSIC(Ordered Successive Interference Cancellation) 알고리즘이 적용된 SIC-MMSE Detector와 OSIC-MMSE Detector에 대해서 알아보고 다음으로 제안하고자 하는 MAP (Maximum A Posteriori) 알고리즘을 적용한 경우에 대해서 알아보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모델에 대해 살펴본다. III장에서는 Linear 및 SIC, OSIC 알고리즘을 적용한 MMSE 결합 기법을 소개하고 IV장에서는 MAP 알고리즘을 적용한 MMSE 결합 기법을 소개한 후, V장에서는 모의 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. D-STTD 시스템 모델

그림 1과 같이 송신 안테나 4개와 수신 안테나 2개를 사용하는 기본적인 D-STTD 시스템을 고려한다. 이 때 D-STTD 시스템은 STTD시스템이 병렬로 연결된 구조이다. 채널은 Flat Rayleigh Fading을 기반으로 하나의 심볼 기간 동안 일정하다고 가정한다. 수신 신호는 다음과 같게 된다⁵.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_1(n) \\ \mathbf{y}_2(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* & h_{14}^* & -h_{13}^* \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{22}^* & -h_{21}^* & h_{24}^* & -h_{23}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1(n) \\ \mathbf{s}_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1(n) \\ \mathbf{n}_2(n) \end{bmatrix} \tag{2}$$

\mathbf{H} 는 복소 채널 행렬이고, h_{ij} 는 j 번째 송신 안테나

나에서 i 번째 수신 안테나 사이의 채널 응답이다. 이 각각의 채널응답들은 independent and identically distributed (i.i.d.)이고 mean이 0인 복소 가우시안 분포를 따른다. \mathbf{s} 는 4×1 송신 벡터로 \mathbf{s}_1 과 \mathbf{s}_2 는 각각의 STTD 인코더로부터 나오는 심볼이다. \mathbf{n} 는 4×1 잡음 벡터로 $E[\mathbf{n}] = 0$ 이면서 $E[\mathbf{n}\mathbf{n}^H] = \sigma^2 \mathbf{I}$ 를 갖는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다. \mathbf{y} 는 4×1 하나의 심볼 기간 동안 수신되는 수신 벡터로 간섭으로 작용하는 다른 STTD 인코더로부터의 신호도 더해져 있다.

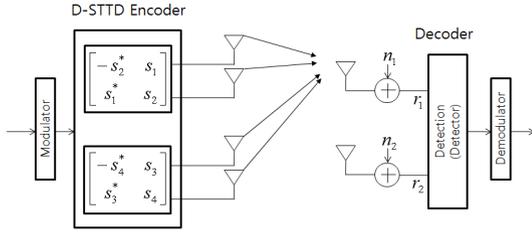


그림 1. D-STTD의 시스템 모델

III. 기존의 알고리즘을 적용한 검출 기법

이번 장에서는 D-STTD 시스템에서 신호를 검출하기 위해 MMSE 기법을 기반으로 D-STTD 시스템에 사용될 기본적으로 잘 알려진 Linear MMSE와 반복 알고리즘이 접목된 SIC-MMSE, OSIC-MMSE의 알고리즘과 특성에 대해 살펴보자.

3.1 Linear MMSE Detector

MMSE는 송신 벡터와 추정 벡터사이의 에러를 최소화하는 알고리즘으로써 단지 MMSE 특성 행렬만을 적용한 Linear MMSE Detector의 결과 값은 식 3과 같다.

$$\hat{\mathbf{s}} = Q(\hat{\mathbf{y}}_{MMSE}) \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{y}}_{MMSE} = \mathbf{W}\mathbf{y} \quad (4)$$

$$\mathbf{W} = \arg \min_{\mathbf{W}} E \left\{ \|\mathbf{W}\mathbf{y} - \mathbf{s}\|^2 \right\} \quad (5)$$

그리고 무효화 벡터인 \mathbf{W} 는 채널 행렬 \mathbf{H} 에 의해 식 6과 같이 쉽게 모델링 할 수가 있다^[6].

$$\mathbf{W} = \mathbf{H}^H \left(\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \frac{M_T}{\rho} \mathbf{I}_{M_T} \right)^{-1} \quad (6)$$

Linear MMSE를 적용한 Detector는 Linear ZF과

달리 무효화 벡터 \mathbf{W} 와 채널 벡터의 곱이 채널을 i identity 행렬로 만들 수가 없다. 즉 다른 안테나로부터의 채널간의 간섭을 완벽하게 제거할 수가 없게 되는 것이다. 그러나 잡음 전력 증가로 인해 성능 열화가 발생하는 Linear ZF Detector와는 달리 잡음전력을 상당히 감소시켜 성능 향상을 가져온다^[7].

여기서 언급된 Linear ZF Detector는 식 7과 같다.

$$\hat{\mathbf{s}} = Q(\hat{\mathbf{y}}_{ZF}) \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{y}}_{ZF} = \mathbf{H}^+ \mathbf{y} \quad (8)$$

$$\mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (9)$$

여기까지는 선형 특성을 가지는 Linear MMSE Detector에 대해 살펴보았다. 다음으로 반복 알고리즘인 SIC와 OSIC가 결합된 SIC-MMSE, OSIC-MMSE에 대해서 살펴보자.

3.2 SIC-MMSE Detector

SIC 알고리즘의 주요점은 전송되어진 각 안테나마다 각 계층별로 분리해 내는데 있다. Linear MMSE Detector와 같은 경우는 선형적으로 각 계층에 상관없이 전체적으로 송신 데이터를 검출하는데 반해 SIC 알고리즘과 같은 경우는 먼저 첫 번째의 안테나의 데이터를 검출하고 그 검출된 데이터를 수신 데이터에서 빼주고 다음 안테나의 데이터를 검출하는 방식으로 모든 송신 데이터가 검출될 때까지 반복적으로 수행되어진다. SIC 알고리즘을 간단하게 정리하면 식 10의 과정과 같다^{[4][7]}.

Initialization :

$$\mathbf{W}_1 = \mathbf{W}_{MMSE} \\ i = 1$$

Recursion :

$$\hat{\mathbf{y}}_i = (\mathbf{W}_i)_i \mathbf{y}_i \\ \hat{\mathbf{s}}_i = Q(\hat{\mathbf{y}}_i) \\ \mathbf{y}_{i+1} = \mathbf{y}_i - \hat{\mathbf{s}}_i (\mathbf{H})_i \\ \mathbf{W}_{i+1} = \mathbf{W}_{-i} \\ i = i + 1 \quad (10)$$

여기서, $(\mathbf{W}_i)_i$ 는 i 번째 행벡터, $Q(\cdot)$ 는 quantization, $(\mathbf{H})_i$ 는 i 번째 열벡터, \mathbf{W}_{-i} 는 $i-1$ 번째 채널 행렬의 i 번째 열벡터에 0을 삽입한 후의 무효화 벡터를 나타낸다.

이와 같은 반복 검출기법인 SIC 알고리즘을 도입

함으로써 다음 데이터를 구하는데 있어서 첫 번째 검출된 채널로 부터의 간섭을 상쇄시켜줘서 다음 데이터를 검출하는데 좀 더 나은 성능을 기대할 수 있다. 그리고 첫 번째 검출 데이터가 에러가 아닌 올바른 데이터라면 에러 전파 없이 계속 진행을 될 수 있다.

이런 에러 전파 관점에서 좀 더 나은 성능을 보이는 OSIC 알고리즘을 다음으로 살펴보자.

3.3 OSIC-MMSE Detector

OSIC 알고리즘은 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Layered Space Time) 수신단에서 사용되는 기법으로 기본구조는 SIC 알고리즘과 동일하나 첫 번째 검출데이터가 채널의 순서가 아닌 에러가 발생할 확률이 가장 낮은 채널부터 데이터를 검출함으로써 성능을 SIC 알고리즘보다 성능을 높이고자 하는 기법이다. 이 때 검출 순서는 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)을 기준으로 SINR이 높은 채널 순으로 정해진다. OSIC 알고리즘을 간단하게 정리하면 식 11의 과정과 같다^[46].

Initialization :

$$\mathbf{W}_1 = \mathbf{W}_{MMSE}$$

$$i = 1$$

Recursion :

$$k_i = \arg \min_{j \in \{k_1, \dots, k_{i-1}\}} \left\| (\mathbf{W}_i)_j \right\|^2$$

$$\hat{\mathbf{y}}_{k_i} = (\mathbf{W}_i)_{k_i} \mathbf{y}_i$$

$$\hat{\mathbf{s}}_{k_i} = \mathbf{Q}(\hat{\mathbf{y}}_{k_i})$$

$$\mathbf{y}_{i+1} = \mathbf{y}_i - \hat{\mathbf{s}}_{k_i} (\mathbf{H})_{k_i}$$

$$\mathbf{W}_{i+1} = \mathbf{W}_{-k_i} \quad (11)$$

$$i = i + 1$$

여기서, $(\mathbf{W}_i)_{k_i}$ 는 k_i 번째 행벡터, $\mathbf{Q}(\cdot)$ 는 quantization, $(\mathbf{H})_{k_i}$ 는 k_i 번째 열벡터, \mathbf{W}_{-k_i} 는 k_i-1 번째 채널 행렬의 k_i 번째 열벡터에 0을 삽입한 후의 무효화 벡터를 나타낸다.

이와 같이 OSIC 알고리즘은 단지 검출 순서만을 바꿔줌으로써 항상 SIC 알고리즘보다 우수한 성능을 보이게 되는 것이다. SIC 알고리즘은 첫 번째 검출 데이터가 SINR이 좋지 않은 채널을 겪은 데이터이면 에러로 판정될 확률이 높다. 이렇게 되면 에러 성능 감소를 가져 오게 된다. 그에 반해 OSIC 알고리즘은 SINR에 따른 채널 정렬을 하여 높은

SINR을 가진 채널을 통해 전송되어온 데이터를 첫 번째로 검출을 하기 때문에 에러 전파 발생 확률이 낮아져 우수한 성능을 가진다.

IV. MAP 알고리즘을 적용한 검출 기법

이번 장에서는 D-STTD 시스템에서 신호를 검출하기 위해 D-STTD 시스템의 디코더 단에 그 동안 적용되지 않았던 MAP 알고리즘을 적용한 검출 기법과 그 특성에 대해 알아보고자 한다.

4.1 MAP-MMSE Detector

MAP 알고리즘은 통계적 결정 이론에서 잘못된 결정 확률 즉 오류 확률을 최소화하는 최적성 결정 분석 중 하나이다^[46].

그리고 MAP 알고리즘의 결정 규칙은 식 12와 같은 논리적인 시작점에서 시작한다.

$$P(s_1 | z) \underset{H_2}{\overset{H_1}{\geq}} P(s_2 | z) \quad (12)$$

식 12는 수신 신호를 검출하기 위해 사후확률 $P(s_1 | z)$ 와 $P(s_2 | z)$ 를 비교함으로써 수신 표본인 z 가 송신 신호 집합인 s 중에서 s_1 인지 s_2 인지를 선택하는 결정 기준을 나타낸다.

이렇게 평균적으로 오류 판정을 할 횟수를 최소화 시키는 MAP 알고리즘을 적용한 MAP Detector는 전체적 구조 및 특성은 검출 순서를 정렬하고 검출 데이터 상쇄화 과정을 반복적으로 사용하는 OSIC 알고리즘과 동일하다. 그러나 MAP Detector는 검출 순서 정렬 과정에서 MAP 알고리즘을 도입함으로써 첫 번째 검출 데이터의 에러 발생 확률을 좀 더 낮춤으로써 우수한 성능을 내고자한 검출 기법이다. OSIC와 같은 경우는 검출 순서를 채널의 SINR을 기준으로 한 반면에 MAP은 검출 순서를 사후확률을 도입하여 사후확률이 큰 순서대로 검출을 하게 된다. 물론 검출 순서 정렬 방식 외에는 OSIC의 방식과 동일하다. MAP을 적용함으로써 추가되는 식은 아래의 식 13과 같다.

$$P(s_i | z) = \frac{p(z | s_i)P(s_i)}{p(z)} \quad i = 1, \dots, M,$$

$$p(z) = \sum_{i=1}^M p(z | s_i)P(s_i) \quad (13)$$

여기서, $p(z|s_i)$ 는 신호 집합의 s_i 의 조건하에서 수신된 표본 z 의 조건부 pdf이다.

OSIC는 채널의 상태만을 파악하여 검출 순서를 결정하였지만 MAP Detector는 MAP 알고리즘을 도입함으로써 채널의 상태 뿐만 아니라 수신 신호의 집합에 대한 사후 확률까지 이용하여 에러 전파를 좀 더 줄이는 효과를 가져오는 것이다. 물론 송신 신호 집합 전체에 대한 연산과정으로 인해 복잡도의 증가라는 단점을 가지기도 한다.

V. 모의 실험 결과

이번 장에서는 D-STTD 시스템 채널 환경에서 III장과 IV장에서 언급한 각 검출 기법을 D-STTD 시스템에 결합하고 모의실험 결과를 통해 그 성능에 대해서 분석한다. 기준 D-STTD 시스템 환경은 모두 II장에서 제시된 D-STTD 환경을 기준으로 수행한다. 그리고 모의실험 결과 분석은 SER 대 SNR 비의 관점에서 분석이 될 것이다.

그림 2는 단순하게 Linear ZF Detector와 Linear MMSE Detector의 성능 차에 대해 나타내고 있다. III장 언급되었듯이 Linear MMSE Detector는 Linear ZF Detector에 비해 잡음 전력 면에서 우수하여 성능이 좀더 좋게 나타난다. 그림 2로부터 이와 같은 Linear ZF Detector와 Linear MMSE Detector의 성능 차를 확인할 수가 있다. 낮은 SNR에서는 약 1dB의 차이를 보였으며 높은 SNR에서는 약 0.5dB의 차이를 보였다. 이런 MMSE와 ZF의 성능차는 본 논문이 MMSE 기법을 바탕으로 한

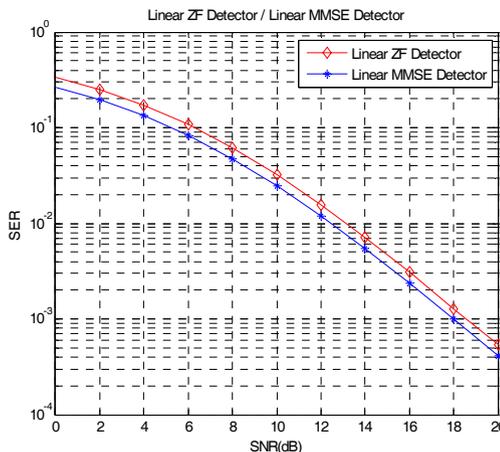


그림 2. Linear ZF Detector와 Linear MMSE Detector의 성능

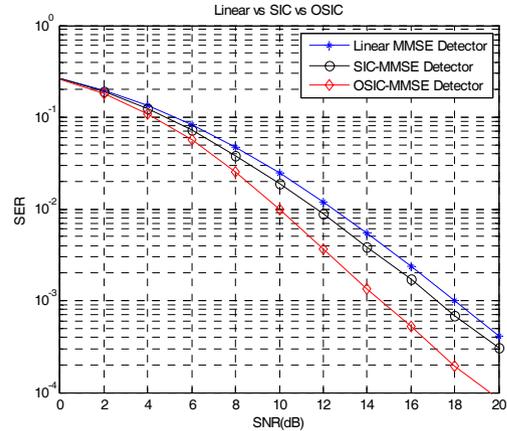


그림 3. Linear MMSE Detector, SIC-MMSE Detector, OSIC-MMSE Detector의 성능

이유는 나타내기도 한다.

다음으로 그림 3은 Linear MMSE Detector, SIC-MMSE Detector, OSIC-MMSE Detector의 성능을 나타낸다. 그림 3을 통해 기준에 사용되어지는 알고리즘을 적용한 Detector에 대해 성능을 비교, 분석하고자 한다. 먼저 Linear MMSE Detector와 SIC-MMSE Detector의 결과를 비교해 보면 SIC-MMSE Detector가 Linear MMSE Detector 보다 전반적으로 0.7dB 정도 성능이 우수하게 나타났다. 이는 SIC 알고리즘이 적용됨으로써 얻게 되는 효과로써 채널 간의 간섭을 제거하여 얻어지는 이득으로 해석할 수가 있다. 그러나 첫 번째 검출 데이터의 결과가 확률적으로 항상 올바른 결과일 수는 없기 때문에 0.7dB 차의 수준에 머물렀다.

그리고 OSIC 알고리즘을 적용한 OSIC-MMSE Detector의 경우는 채널을 SINR을 통해 검출 순서를 정렬함으로써 SIC-MMSE Detector 보다 우수한 성능을 가져왔다. 0dB부터 약 4dB 구간에서는 0.5dB 이내의 성능차를 보였고 16dB부터 20dB 구간에서는 약 3dB의 성능차를 나타냈다. 이 결과는 낮은 SNR 구간에서는 거의 같은 성능을 보이지만 높은 SNR로 갈수록 성능 차는 더욱 커지게 됨을 나타낸다. 그 이유로는 채널을 정렬하는데 있어 채널이 열악한 경우에는 어차피 정렬을 하더라도 첫 번째 검출 데이터가 올바르게 검출될 확률이 그만큼 줄어들기 때문이다. 채널이 좋은 경우는 그와는 반대로 채널의 정렬화로 인한 효율이 극대화 되어 SIC-MMSE Detector와 OSIC-MMSE Detector간의 차이는 더욱 크게 벌어지는 것이다.

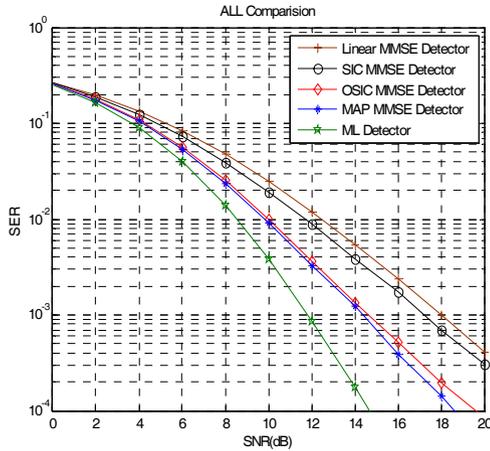


그림 4. MAP-MMSE Detector와 기존의 알고리즘이 적용된 Detector의 성능

마지막 결과로 그림 4는 Linear MMSE Detector, SIC-MMSE Detector, OSIC-MMSE Detector, MAP-MMSE Detector 그리고 ML Detector의 성능을 나타낸다. 그림 4를 통해 기존의 알고리즘과 MAP 알고리즘을 적용한 검출기법에 대해 성능을 비교, 분석하고자 한다.

MAP-MMSE Detector는 OSIC-MMSE Detector 보다 0dB부터 약 4dB 구간에서는 약 0.5dB 이내의 성능차를 보였고 16dB부터 20dB 구간에서는 약 0.7dB의 성능차를 나타냈다. 이 결과는 채널의 상태만으로 검출 순서를 결정한 OSIC보다 MAP 알고리즘을 적용함으로써 오류 발생 확률이 줄었기 때문이다. 또한 SIC-MMSE Detector보다는 약 3.5dB 성능차를 가져왔고 Linear MMSE Detector보다는 약 4.4dB의 성능차까지 나타냈다. 물론 잘 알려진 바와 같이 ML Detector는 모의 실험 결과 가장 우수한 성능을 보였다. 하지만 ML Detector의 복잡도로 인해 실제 시스템에는 적용되지 않고 있다.

결국 Linear MMSE 알고리즘 보다는 반복 검출 기법인 SIC가 우수했고 SIC에 검출순서를 정렬화함으로써 에러전파를 피함으로써 OSIC는 더욱 우수한 성능을 보였다. 잘못된 결정을 행하는 확률을 최소화 하는 최적성 분석 중에 하나인 MAP 알고리즘을 적용함으로써 더욱 에러전파를 감소시켜 MAP-MMSE Detector는 Linear MMSE Detector보다 약 4.4dB 우수한 성능까지 나타냈다. 또한 ML과의 성능차이는 SER 10^{-3} 기준에서 3dB 이내로 줄이는 결과를 얻어내었다. 따라서 복잡도와 실제 시스템 적용 측면까지 고려한다면 본 논문에서 제안

한 MAP-MMSE Detector의 성능향상은 큰 의미가 있다고 판단된다.

VI. 결론

Alamouti Code로 알려진 STTD 시스템을 병렬로 구성하는 D-STTD 시스템의 검출 기법에 대해 알아보았다. 기존 STTD 시스템의 검출 기법인 Combining 기법은 D-STTD 시스템에서 멀티플렉싱 효과로 인해 사용의 어려움이 있어 본 논문에서는 Linear MMSE Detector, SIC-MMSE Detector, OSIC-MMSE Detector 에 대한 결합에 대해 알아보고 그 결과를 분석하였다. 또한 MAP 알고리즘을 적용한 MAP-MMSE Detector도 새로 제안하고 그 결과도 분석을 하였다.

결론적으로 Linear 알고리즘이 적용된 경우보다는 반복 알고리즘을 적용한 경우 우수한 성능을 가져왔다. 그 중에서도 본 논문에서 제안한 MAP 알고리즘을 적용한 경우 가장 우수한 성능을 나타냈다.

참고 문헌

- [1] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.48, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [2] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," Bell Labs Tech. J., Vol.1, pp.41-59 Autumn 1996.
- [3] Texas Instruments, "Double-STTD scheme for HSDPA systems with four transmit antennas: Link Level Simulation Results," proposed TSGR1#20(01)-0458, May. 2001.
- [4] G. D. Golden, C. J. Foschini, R. A. Valenzuela and P. W. Wolniansky, "Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST space-time communication architecture," Electronics Letters. Vol.35, pp.14-15, Jan. 1999.
- [5] Sooyoung Hur, Jongsub Cha and Joonhyuk Kang, "Fano-based iterative sequential detection algorithm for Double-STTD system," PIMRC'06, Set. 2006.

- [6] James R. Schott, "Matrix Analysis for Satatistics," Wiley Interscience Publication, 1997.
- [7] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, "Introduction to Space-Time Wireless Communications," Cambridge, 2003.
- [8] Bernard Sklar, "Digital Communications," Prentice-Hall, 2001.
- [9] John G. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill, 2001.

윤길상 (Gil-sang Yoon) 준회원



2008년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
 2008년 3월~현재 전남대학교전자컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 이동통신, 무선통신

이정환 (Jeong-hwan Lee) 준회원



2008년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
 2008년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 이동통신, MIMO 시스템

유철우 (Cheol-woo You) 중신회원



1993년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
 1995년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1999년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
 1999년 1월~2003년 4월 LG전자 책임 연구원

2003년 9월~2004년 6월 EoNex 책임 연구원
 2004년 7월~2006년 8월 삼성전자 책임 연구원
 2006년 9월~현재 명지대학교 통신공학과 교수
 <관심분야> New Multiple Access schemes, Adaptive Resource Allocation, AMC, MIMO systems, advanced FEC, Relay schemes for 4G communication systems.

황인태 (In-tae Hwang) 정회원



1990년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
 1992년 8월 연세대학교 전자공학과 석사
 1999년 9월~2004년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사
 1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원

2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 <관심분야> 디지털통신, 무선통신시스템, mobile terminal system for next generation, physical layer software for mobile terminal, efficient algorithms for AMC, MIMO and MIMO-OFDM, Relaying scheme for wireless communication.