

다중 경로 채널 환경에서 UWB RAKE 수신기의 성능분석

*^o오세왕, **^o태원

*^o고려대학교 **^o고려대학교

E-mail : *^owivern98@korea.ac.kr, **^otaewon@korea.ac.kr

Performance analysis of UWB RAKE Receiver in multi-path channel

*Se-wang Oh, **Tae-won Oh

*Korea University, **Korea University

Abstract

In this paper, we analyze the performance of UWB(Ultra-WideBand) communication system employing Bi-phase modulation and RAKE Receiver under the MAI(Multiple Access Interference) and the OSI(Other System Interference) environment. Using the multi-path channel model recommended by IEEE P802.15.TG3a, the performance degradation is described with the number of users, the number of RAKE fingers and training sequences. To meet BER $10e-4$ for 20 users at the same time, the number of RAKE fingers are proposed from 3 to 32. And the number of training sequences are limited less than 8 to keep the channel estimation error within 3dB

key words: UWB, RAKE Receiver, Impulse Radio, MAI, OSI

1. 서론

UWB 통신 시스템은 넓은 상대적 대역폭과 매우 짧은 지속 시간을 가지는 펄스를 전송한다. 최근에 UWB는 여러 사용자가 동시에 사용 가능한 단거리, 초고속 통신 시스템으로 대두 되고 있다. 특히 실내 환경의 초고속 무선 시스템의 표준화를 위해 IEEE P802.15.TG3a 표준화 위원회에서는 UWB를 기반으로 하는 초고속 데이터 전송 통신 시스템의 물리적 계층 연구를 진행하고 있다 [6].

UWB 통신 시스템의 큰 장점 중에 하나는 TH에 의한 Multiple Access의 구현이다 [1]. 그러나 TH system에서는 다중 경로 채널 환경에서 사용자가 2명 이상이 될 경우 다른 사용자의 다중 경로 성분에 의한 MAI가 성능저하에 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 이에 상응하는 성능 향상을 꾀할 필요가 있는데 본 논문에서는 RAKE 수신기를 제안하고자 한다.

UWB 통신 시스템에서 사용하는 펄스는 매우 큰 대역폭을 가지기 때문에 채널은 극단적인 frequency selective 채널이 되고, 수신된 신호는 시간 축 상에서 분리가 가능한 여러 개의 다중 경로 성분들로 구성 된다 [1]. 이렇게 각각의 다중 경로 성분들을 구분하는 능력 때문에 diversity특성을 이용하는 RAKE 수신기의 구현이 가능해진다. 그러나 채널의 특성에 따라 필요한 finger의 수가 달라지기 때문에 다중 경로 채널에서의 성능분석을 위해서는 다중 경로 채널의 특성을 우선적으로 확보해야 한다. 본 논문에서는 IEEE P802.15.TG3a 표준화 위원회 [6]에서 제공하는 4개의 채널 모델을 이용하여 UWB RAKE 수신기의 성능을

Finger의 수에 따라 SIR을 기준으로 여러 사용자가 존재할 경우를 고려하여 분석하고자 한다. UWB channel은 TH에 의해 다른 사용자 신호에 의해 매 전송마다 많은 변화를 나타내고 각 TH 구간마다 모두 다른 channel 특성을 보이기 때문에 pilot channel이 존재할 수 없게 된다. 그렇기 때문에 UWB channel은 전송이 시작되기 전 training sequence를 이용해서 channel 예측을 해야 한다. 이때 training sequence로 측정된 채널의 평균을 이용해 채널을 예측하는 방법을 이용하였을 때, 적절한 성능을 내기 위해 필요로 하는 training sequence의 수를 제시하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 진행된다. 우선 IEEE P802.15.TG3a 표준화 위원회에서 제공하는 채널 모델에 대한 간략한 소개 후 세 번째 장에서는 일반적인 Bi phase modulation을 사용하는 수신기의 성능을 분석하고 RAKE 수신기의 필요성을 제시한다. 그 후 RAKE 수신기의 수식적 분석 이후 OSI와 MAI 두 가지 간섭이 시스템에 미치는 영향과 RAKE finger의 수가 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 토대로 각 채널마다 일정한 성능을 만족하는 최대 사용자의 수를 RAKE finger의 개수에 따라 정리하였다. 마지막으로 Training Sequence 수에 따른 채널 계수 예측의 오류가 RAKE 수신기에 미치는 영향을 분석하였다.

2. UWB 채널

UWB 채널 모델은 IEEE P802.15.TG3a 표준화 위원회에서 2002년 11월에 최종 제시한 수정된 Saleh-Venezuela model을 사용 한다 [6]. 수정된

Saleh-Venezuela model은 처음 Saleh-Venezuela이 제안한 모델 [7]에 실측 데이터를 참고하여 수정을 가한 것이다. 특히 다른 점은 Saleh-Venezuela에서는 다중 경로의 gain의 크기를 Rayleigh 분포로 규정하였는데 반해, 수정된 모델에서는 lognormal 분포를 이용하였다. 각각의 클러스터와 클러스터 내의 ray의 fading은 모두 독립적이라고 가정하였다. 이에 바탕을 둔 이산 시간 임펄스 응답으로 구성된 다중 경로 모델은 수식 (1)과 같이 표현한다.

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i) \quad (1)$$

여기에서 $\alpha_{k,l}^i$ 는 i번째 심볼의 l번째 클러스터 안에 존재하는 k번째 ray의 다중 경로 성분 gain의 크기이며, T_l^i 는 l번째 클러스터의 지연 시간을, $\tau_{k,l}^i$ 은 l번째 클러스터 안에 존재하는 k번째 ray의 지연시간을 의미한다. X_i 는 lognormal shadowing을 나타낸다.

클러스터와 ray의 도착 시간에 대한 분포는 $\tau_{0,l} = 0$ 인 가정 하에 각각 다음과 같이 표시된다.

$$p(T_l|T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})] \quad l > 0$$

$$p(\tau_{k,l}|\tau_{k,l-1}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{k,l-1})] \quad k > 0 \quad (2)$$

Λ 은 클러스터 도착율이며 λ 는 ray 도착율이다. 채널 계수 $\alpha_{k,l}^i$ 는 아래와 같이 정의한다.

$$\alpha_{k,l}^i = p_{k,l} \xi_l \beta_{k,l}$$

$$20 \log_{10}(\xi_l \beta_{k,l}) \propto Normal(\mu_{k,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \quad (3)$$

이때 ξ_l 과 $\beta_{k,l}$ 은 각각 l번째 클러스터와 l번째 클러스터의 k번째 ray 성분의 fading을 의미한다. $p_{k,l}$ 는 반사에 의한 신호의 뒤집힘 현상으로 -1과 +1이 같은 확률로 발생한다. $\mu_{k,l}$ 는 아래 수식 (4)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10 T_l / \Gamma - 10 \tau_{k,l} / \gamma - (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \ln(10)}{\ln(10)} \quad (4)$$

이때 Ω_0 는 첫 번째 클러스터의 첫 번째 경로의 평균 에너지이며 Γ 와 γ 는 각각 클러스터와 ray의 감쇄 factor이다. 채널의 일반적인 특성과 모델 파라미터들은 [표 1]과 같다. 제시된 채널 모델 CM1은 Line of Sight(LOS)가 존재하며 송수신 단의 거리가 0~4m이며 CM2는 Non LOS (NLOS)로 송수신 단의 거리가 0~4m, CM3는 NLOS, 4~10m, CM4는 극단적인 NLOS로 RMS delay가 25ns인 채널을 인위적으로 만들어 놓은 것이다. [그림 1]은 CM1의 impulse 응답을 나타내고 있다.

본 논문에서는 예서는 UWB 실내 환경 채널을 나타내기 위해 단순화 한 확률적 tapped delay line 전송 모델을 이용하였다. 이 모델을 이용하면 주어진 송수신단과 수신 단의 위치에서 수신되는 신호는 식 (5)과 같이 각 다중 경로 성분의 amplitude와 delay로 나타낸다.

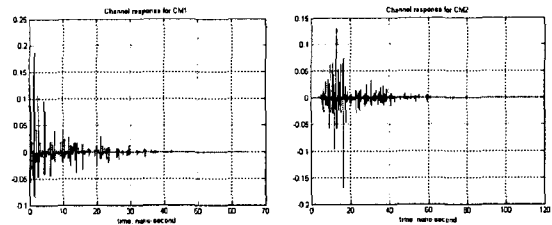
$$h^{(k)}(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \beta_l^{(k)} \delta(t - lT_m) \quad (5)$$

k는 사용자, L은 다중 경로 성분의 수, $\beta_l^{(k)}$ 는 채널 계

수, T_m 은 pulse의 지속 시간을 각각 타내며 IEEE P802.15.TG3a 표준화 위원회에서 제안하는 모델을 적용해 파라미터 값을 얻었다.

[표 1] UWB 채널 특성

채널 모델	CM1	CM2	CM3	CM4
Mean excess Delay (ns)	5.0	9.9	15.9	30.1
RMS delay (ns)	5	8	15	25
NP10dB	12.5	15.3	24.9	41.2
NP(85%)	20.8	33.9	64.7	123.3
Λ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
λ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
Γ	7.1	5.5	14.00	24.00
γ	4.3	6.7	7.9	12
σ_1^2 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_2^2 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_x^2 (dB)	3	3	3	3



[그림 1] UWB채널 응답의 예 (CM1, CM2)

3. 일반적인 Bi-phase Modulation 수신기

Bi-phase 변조 방식을 사용하는 TH Spread Spectrum UWB 통신 시스템의 송신 신호는 수식 (6)과 같다.

$$S^{(k)}(t) = \sum_{j_k=-\infty}^{\infty} a_{j_k}^{(k)} w_{ir}(t - j_k T_f - c_{j_k}^{(k)} T_c) \quad (6)$$

$w_{ir}(t)$ 는 송신 펄스의 waveform이고 j_k 는 k번째 사용자의 j번째 심볼 전송을 의미하며 $a_{j_k}^{(k)}$ 는 각 사용자의 데이터를 bi-phase 변조 방식으로 나타낸 것이다.

$c_{j_k}^{(k)}$ 은 주기가 N_p 인 Time Hopping sequence이고 T_f 는 frame duration T_c 는 chip duration을 의미 한다 [1].

K명의 사용자가 동시에 존재할 경우 OSI와 AWGN를 고려한 수신 신호는 수식 (7)과 같다.

$$r_j(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \beta_l^{(k)} a_{j_k}^{(k)} w(t - j_k T_f - c_{j_k}^{(k)} T_c - lT_m) + I_{O.S.I}(t) + n(t) \quad (7)$$

수신기는 L개의 다중 경로 성분을 수신하며 구별 가능한 다중 경로 성분은 서로 T_m 만큼의 시간적 차이를 나타내고 있다. T_m 은 참조 신호의 지연 시간을 의미하며 여기에서는 chip duration과 같다고 가정하였다.

$I_{O.S.I}(t)$, $n(t)$ 는 각각 OSI와 AWGN을 의미한다. 여기서 $w(t)$ 는 수신된 펄스의 waveform이고 두 번 미분한 Gaussian 펄스의 형태가 되며 수식 (8)과 같다.

$$[1 - 4\pi(t/\tau_m)^2] \exp[-2\pi(t/\tau_m)^2] \quad (8)$$

τ_m 은 펄스의 duration에 관계되는 계수로 여기서는 0.2877ns로 하였고 이는 pulse duration이 약 0.6ns라는 것을 의미한다.

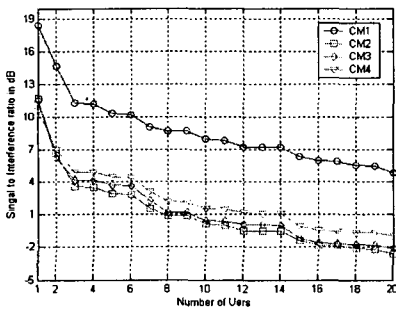
수식 (7)의 신호를 수신하였을 때 0번째 사용자의 decision value는 수식 (9)과 같이 표현할 수 있다. MAI나 OSI에 비해 AWGN은 그 영향이 매우 미미하므로 본 논문에서는 제외하기로 한다. 이때 동기는 완벽하다고 가정하였으며 $\tau^{(k)}$ 는 k번째 사용자의 시간 지연을 의미한다.

$$Z = \alpha_{j_0}^{(0)} \beta_0^{(0)} \int_0^{T_m} w(t) v(t) dt + \sum_{k=1}^{N_u-1} \alpha_{j_k}^{(k)} \beta_j^{(k)} \int_0^{T_m} w \left(t + (j_0 - j_k) T_f + \left(c_{j_0}^{(0)} - c_{j_k}^{(k)} \right) T_c + (m-l) T_m + \left(\tau^{(0)} - \tau^{(k)} \right) \right) v(t) dt + Z_{OSI} + Z_{AWGN}$$

OSI는 주로 협 대역 통신 시스템에 의한 간섭을 가정하였으며, 수식 (10)과 같이 표현할 수 있다 [2]. 본 논문에서는 Cellular system, PCS system, WCDMA 또는 UMTS 그리고 802.11b WLAN을 가정하고 있는데 이는 수식 (10)과 같은 성분이 4개 존재한다는 것을 의미한다. J_0, W_j, f_j 는 각각 OSI의 PSD, 대역폭, 중심 주파수를 의미한다. 4개 협대역 통신 시스템의 PSD는 UWB 최대 PSD에 비해 15dB 높다고 가정하였다 [5].

$$Var(Z_{OSI}) = \int_0^{T_m} \int_0^{T_m} R_J(t_1 - t_2) v(t_1) v(t_2) dt_1 dt_2, R_J(\tau) = J_0 \frac{\sin(\pi W_J \tau)}{\pi \tau} \cos(2\pi f_J \tau)$$

시스템에서 요구되는 성능이 10e-4 이하의 비트 에러율이라 할 때 MAI와 OSI가 각각 독립적이며 Gaussian 분포를 따른다고 가정 할 경우 CM1~CM4 각 채널에서 최대 사용자 수는 각각 9, 1, 1, 1명이 된다. [그림 2]는 동시 사용자의 수에 따른 SIR변화를 나타낸 그래프이다. Maximum Time Hopping 구간의 수는 40이며, 완벽한 Power Control과 ISI의 영향을 없애기 위해 충분한 길이의 Guard Time을 가정하였다. 또 다중 경로 성분의 검출 threshold를 최대 파워를 갖는 성분의 10dB 이내로 하였다.



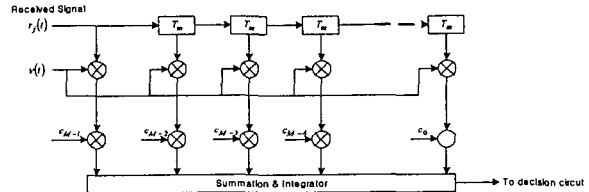
[그림 2] 일반적인 Bi-phase Modulation 수신기에서 사용자 수에 따른 SIR 변화

[그림 2]를 통해 일반적인 Bi-phase Modulation 수신기를 이용하는 UWB 통신 시스템의 경우 실내 환경에서 LOS가 존재하지 않을 경우(CM2~CM3) Multiple Access가 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 RAKE 수신기를 이용하여 사용자 수에

따른 SIR을 향상시켜 사용자 용량을 높이고자 한다.

4. UWB RAKE 수신기의 성능 분석

RAKE 수신기의 작동은 수신된 신호가 M 개의 지연된 참조 신호 $v(t - j_0 T_f - c_{j_0}^{(0)} T_c - m T_m)$ 와의 correlation으로 생각할 수 있으며 [그림 3]은 MRC방식을 이용하는 RAKE 수신기의 구성도이다 [3].



[그림 3] MRC 방식을 이용하는 RAKE 수신기의 구성도

동기가 완벽하고 channel 계수를 정확히 알고 있다면 L개의 다중 경로 성분을 수신하는 RAKE 수신기의 m 번째 correlator의 출력은 수식 (11)과 같다.

$$Z_{j,m} = \int_{j_0 T_f + c_{j_0}^{(0)} T_c + m T_m}^{j_0 T_f + c_{j_0}^{(0)} T_c + (m+1) T_m} \sum_{l=0}^{L-1} \beta_l^{(0)} a_{j_0}^{(0)} w \left(t - j_0 T_f - c_{j_0}^{(0)} T_c - l T_m \right) \times v \left(t - j_0 T_f - c_{j_0}^{(0)} T_c - m T_m \right) dt + Z_{M.A.I,m} + Z_{O.S.I,m}$$

이때 $m \neq l$ 일 경우 $\int_0^{T_m} w(t - l T_m) v(t - m T_m) dt = 0$ 이기 때문에 수식 (11)은 아래와 같이 바꿔 쓸 수 있다.

$$Z_{j,m} = \beta_m^{(0)} a_{j_0}^{(0)} \int_0^{T_m} w(t) v(t) dt + Z_{M.A.I,m} + Z_{O.S.I,m}$$

M개의 finger 수를 가지고 Maximum ratio combiner(MRC) 방식을 이용하는 RAKE 수신기의 최종 decision value는 다음과 같다. 이때 채널 계수를 완벽하게 예측하고 있다고 가정하여 $c_m = \beta_m^{(0)}$ 로 한다.

$$Z_j = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m^{(0)} Z_{j,m}$$

수식 (13)의 평균은 0이므로 심볼 에너지와 MAI, OSI 성분의 분산은 각각 수식 (14), (15), (16)와 같이 구할 수 있다.

$$\left[\sum_{m=0}^{M-1} \beta_m^{(0)} \right]^2 \epsilon$$

$$Var \left[\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \beta_m^{(0)} \beta_l^{(k)} a^{(k)} R_{wv} \left(t + (j_0 - j_k + j_0, k) T_f + \left(c_{j_0}^{(0)} - c_{j_k}^{(k)} \right) T_c + (m-l) T_m + \alpha_k \right) \right]$$

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} \beta_m^{(0)} \beta_n^{(0)} \int_0^{T_m} \int_0^{T_m} R_J(t_1 - t_2 + (m-n) T_m) v(t_1) v(t_2) dt_1 dt_2$$

$R_{wv}(\tau) = \int_0^{T_m} w(t) v(t - \tau) dt$ 이며 ϵ 은 수신된 펄스와 참조 신호의 zero time shift correlation으로 참조 신호와 수신 펄스가 같은 경우 수신 펄스의 에너지이다. 본 논문에서는 1로 가정한다. 또 TH code Delay T_c 는 pulse의 duration T_m 과 같고, j_0, k, α_k 는 각 0번 사용자에게 대한 k번째 사용자의 시간적 어긋남을 의미 한다 [1]. $R_{wv}(\tau)$ 은 수신 펄스와 참조 신호의 correlation 함수이고 τ 는 수신 펄스와 참조 신호의 시간 차이를 나타낸다.

4.1 간섭(Interference)의 영향

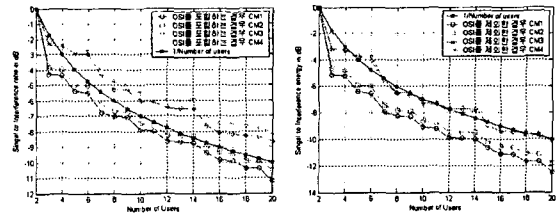
UWB 통신 시스템에는 간섭으로써 MAI와 ISI가 존재한다. TH를 통해 Multiple Access를 구현하는 UWB 통신 시스템은 [그림1]과 같은 채널 특성을 갖는 여러 개의 채널이 동시에 존재할 경우 임의의 Time Hopping Slot은 할당된 사용자의 신호 외에 다른 사용자의 다중 경로 성분이 포함된다. 또 UWB 통신 시스템에서 사용하는 펄스는 매우 큰 대역폭을 가지기 때문에 기존 시스템이 사용 중인 주파수 대역에서 기존 시스템과 같이 존재하므로 UWB 신호가 기존 시스템의 신호에 간섭으로 작용할 수 있다. 반대로, 기존 시스템의 신호가 UWB 시스템의 신호에 간섭으로 작용할 수 있다. [그림 5]는 RAKE Finger의 수가 10개 일 때 동시 사용자의 수가 2명에서 20명까지 증가 할 경우 SIR변화를 나타낸 것이다. 왼쪽은 OSI가 같이 존재하는 경우 이며 오른쪽은 OSI가 존재하지 않고 사용자가 2명일 때를 기준으로 나타낸 것이다. 수식 (15)과 [그림 5]의 오른쪽을 통해 MAI는 사용자 수가 3명 이상일 경우 사용자의 수에 비례한다는 사실을 알 수 있으며, [그림 5]의 왼쪽을 통해 CM1에서 CM4로 갈수록 OSI의 영향이 커져 SIR이 사용자 수에 완전히 비례하지는 않는 것을 관측할 수 있다. OSI는 MAI에 비해 시스템의 성능저하에 미치는 영향이 적다는 것을 [그림 5]를 통해 확인 할 수 있다.

4.2 Finger수의 영향

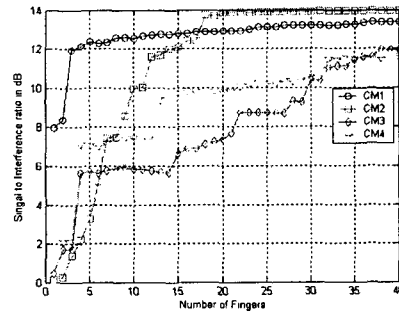
RAKE 수신기에서 finger의 수는 성능과 implementation 복잡도에 많은 영향을 미친다. Finger의 수는 채널의 상태에 크게 영향을 받는데, CM1과 같이 LOS 성분이 존재할 경우 적은 수의 finger만으로 충분한 성능을 얻을 수 있지만, CM2, CM3, CM4와 같이 NLOS의 경우 필요로 하는 finger의 수가 늘어나게 된다. [그림 6]은 사용자의 수가 10명으로 고정되어 있을 때 RAKE finger의 수를 1~40개까지 변화 시켜서 얻은 SIR의 변화 그래프이다. 이를 통해 LOS 존재 유무에 따른 SIR 변화를 관측할 수 있다. [그림 7]은 각 채널에서 Finger 수와 사용자 수에 따른 SIR의 변화를 나타낸 그래프이다. 이를 토대로 하여 각 채널마다 10e-4 이하의 비트 에러율을 유지하는 최대 사용자 수를 [표 2]에 RAKE 수신기의 finger의 수에 따라 정리 하였다. 20명의 동시 사용자를 유지하기 위한 각 채널별 RAKE finger의 수는 각각 3, 13, 38, 32 개 이다.

표 2 각 RAKE Finger 수와 사용자 용량

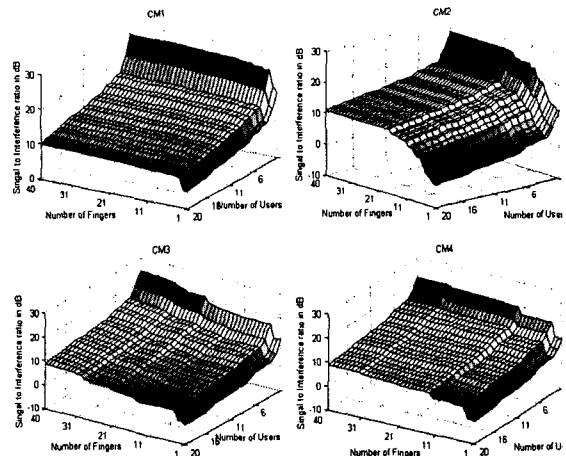
finger수	CM1	CM2	CM3	CM4
1	9	1	1	1
5	20	2	6	7
10	20	14	6	7
15	20	20	6	14
20	20	20	7	14
25	20	20	11	15
30	20	20	16	17
35	20	20	19	20
40	20	20	20	20



[그림 5] 사용자 수에 따른 간섭



[그림 6] 사용자수가 10명일 때 Finger 수와 따른 SIR변화



[그림 7] Finger 수와 사용자 수에 따른 SIR변화

4.3 채널 계수 예측 오류의 영향

지금까지 RAKE 수신기는 채널 계수를 완벽하게 예측하였다는 가정 하에 성능 분석이 이루어졌다. 실제로 UWB 통신 시스템에서는 여러 명의 사용자가 동시에 존재할 경우 매 전송 시간과 Time hopping 구간마다 다른 채널의 특성을 가지기 때문에 pilot 신호를 사용할 수 없게 된다. 이 때문에 MAI나 OSI에 의해 예측한 채널 계수는 완벽하지 않게 되고 성능 저하를 가져오게 된다. 이 경우 예측된 m번째 채널 계수는 수식 (17)과 같이 완벽한 채널 계수 성분, MAI와 OSI에 의한 오류 성분으로 나누어 나타낼 수 있다.

$$\hat{c}_m = \beta_m^{(0)} + e_{MAI,m} + e_{OSI,m} \quad (17)$$

위 수식을 수식(13)에 대입하면 RAKE 수신기에서 채널 계수 예측 오류의 영향이 미치는 영향을 수식적으로 표현할 수 있다.

$$Z_j = \sum_{m=0}^{M-1} \hat{c}_m \times (\beta_m^{(0)} + Z_{MAI,m} + Z_{OSI,m}) \quad (18)$$

$Z_{MAI,m}$ 와 $Z_{OSI,m}$ 는 각각 m 번째 correlator에서 MAI와 OSI가 decision value에 미치는 영향이다. $Z_{MAI,m}$, $Z_{OSI,m}$, $e_{MAI,m}$, $e_{OSI,m}$ 는 서로 독립적이다. N_i 개의 Training Sequence를 사용할 때, 표본 평균의 개념을 이용하면 $e_{MAI,m}$ 과 $e_{OSI,m}$ 의 분산은 표본 평균의 분산을 구하는 방법으로 각각 $Var(Z_{MAI,m})/N_i$ 과 $Var(Z_{OSI,m})/N_i$ 이 되는 것을 확인할 수 있다. ε 을 1이로 생각하고 $\beta_m^{(0)}$ 이 주어졌을 때 Decision value의 분산은 수식 (19)과 같이 구할 수 있다.

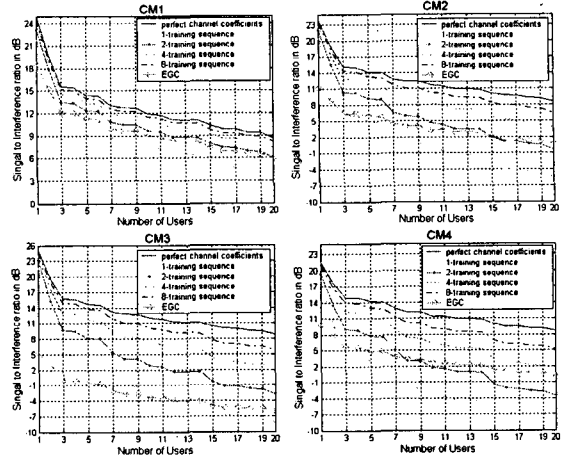
$$Var(Z|\beta_m^{(0)}) = \sum_{n=1}^{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} \left(\begin{array}{l} \beta_m^{(0)} \beta_n^{(0)} E\{e_{MAI,n} + e_{OSI,n}\} (e_{MAI,m} + e_{OSI,m}) \\ + \beta_m^{(0)} \beta_n^{(0)} E\{Z_{MAI,n} + Z_{OSI,n}\} (Z_{MAI,m} + Z_{OSI,m}) \\ + E\{Z_{MAI,n} + Z_{OSI,n}\} (Z_{MAI,m} + Z_{OSI,m}) \\ \times E\{e_{MAI,n} + e_{OSI,n}\} (e_{MAI,m} + e_{OSI,m}) \end{array} \right) \quad (19)$$

[그림 8]은 각 채널에 4.2에서 구한 20명의 사용자 용량을 유지하는 finger의 수를 적용시켜 N_i 와 사용자 수의 변화에 따른 SIR 변화를 나타낸 그래프이다. 사용자 수가 1명일 때, 즉 MAI가 존재하지 않는 경우, N_i 가 1일 때 완벽한 채널 계수를 알고 있을 경우의 MRC에 비해 약 3~3.2dB 정도의 성능 저하를 보여 준다. 간섭의 절대적 양이 클수록 수식(19)의 \sum 안의 세 번째 요인이 큰 값을 가지게 되어 성능저하가 커진다. 각 채널 별로 사용자 용량 20명을 유지하기 위해 각각 다른 수의 finger를 사용하기 때문에 간섭의 절대적 양은 $CM1 < CM2 < CM4 \leq CM3$ 이 되므로 [그림 8]과 같이 각 채널 별로 Training sequence에 따른 성능 저하가 달라진다. Training Sequence 수에 따른 성능은 Training Sequence 수의 역수와 관계가 있으나, interference가 많을수록 상대적 간섭성분이 $1 + 1/N_i$ 보다 커지게 된다. 각 채널 별로 성능 저하가 3dB 이내가 되기 위해서 필요한 Training Sequence의 수는 각각 1, 6, 8, 8씩이었다.

5. 결론

본 논문은 다중 경로 채널 환경에서 UWB RAKE 수신기의 성능을 SIR을 토대로 분석하였다. 특히 RAKE 수신기의 Finger의 수, 동시 사용자 수, 그리고 채널 계수 예측 오류를 변화 시켜가면서 분석하였다. 가장 크게 RAKE 수신기의 성능을 좌우하는 요소인 Finger의 개수는 채널의 특성에 따라 많은 영향을 받는데 특히 LOS의 존재 유무에 따라 나뉘어진다. 20명의 동시 사용자를 유지하기 위한 각 채널별 RAKE finger의 수는 각각 3, 13, 38, 32개이었다. Multiple Access 환경에서 SIR에 영향을 미치는 MAI는 사용자의 수의 증가에 비례하며 송수신단의 거리가 멀수록 OSI의 영향을 상대적으로 많이 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

Training Sequence 수에 따른 채널 계수 예측 오류는 $10e-4$ 이하의 비트 에러율의 성능을 가지는 SIR이 8.5dB일 경우 예측 오류에 의한 성능저하가 3dB 이내가 되기 위해서 각각 1, 6, 8, 8 이상의 Training sequence가 필요하다.



[그림 8] Training Sequence의 수와 User의 수에 따른 SIR 변화 완벽한 채널계수 +MRC, $N_i = 1, 2, 4, 8$ and EGC

참고 문헌

- [1] Moe Z. Win and Robert A. Scholtz "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications", IEEE Trans. Communications, Vol. 48 No. 4 pp.671-691 Apr. 2000
- [2] L. Zhao and A. M. Hanimovich, "Performance of the Ultra-wideband Communication in the Presence of Interference", IEEE Journal on Selected Areas in communications, vol.20, Number 9, pp1684-1691, Dec. 2002.
- [3] J.G Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. New York: McGraw Hill, 2001.
- [4] John D. Choi and Wayne E. Stark "Performance of Ultra-Wideband Communications With Suboptimal Receivers in Multipath Channels", IEEE Journal on Selected Areas in communications, vol.20, Number 9, pp1754-1766, Dec. 2002.
- [5] 김경윤, 오태원 "기존 통신 시스템의 간섭을 고려한 환경에서 UWB 시스템의 변조 방식에 따른 성능 분석", 춘계 마이크로파 및 전파 통신 학술대회 논문집 Vol. 26, No. 1, pp.293-296 2003/5/24
- [6] M. Pendergrass, "Empirically Based statistical Ultra-Wideband Channel Model", IEEE 802.15-02/279-3Ga.
- [7] A. Saleh and R. Venzuela, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation", IEEE JSAC, Vol.SAC-5, No.2, pp. 128-137 Feb. 1987