

2.4GHz 직접 대역확산 단방향 무선 송수신 시스템에서 ZFE 다중 사용자검출 수신기의 성능분석

정희원 이창석*, 정인화**, 김재형**, 차균현*

Performance Analysis of ZFE MUD Receiver in 2.4GHz DSSS Unidirectional Wireless Transceiver

Chang-Seok Lee*, In-Hwa Jung**, Jae-Hyung Kim**, Kyun-Hyon Tchah* Regular Members

요약

본 논문에서는 2.4GHz ISM 대역의 실내 환경에서 동작하는 직접 대역 확산(Direct Sequence Spread Spectrum :DSSS) 방식의 단방향 무선 송수신 시스템의 ZFE(Zero Forcing Equalizer) 다중 사용자 검출(Multi User Detection : MUD) 수신기의 성능을 평가하였다. 본 시스템은 한 사용자가 장기간의 깊은 페이드(deep fade)를 겪으므로 많은 연접 오류가 발생할 것이며, 단 방향이므로 전력 제어가 불가능하다는 취약점을 가지고 있다. 그러나 DS-CDMA 시스템은 엄격한 전력 제어가 될 수 있는 환경에서 그 성능이 보장되므로 이에 대한 해결 방법이 중요하다. 이러한 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 수신기로서 MUD 수신기는 엄격한 전력 제어가 요구되지 않으며 선형 등화 방식을 이용하여 다중 사용자 간섭(Multiple Access Interference : MAI)을 제거할 수 있다. 실내 무선 채널 환경 하에서 ZFE MUD 수신기와 다른 수신 방식간의 성능 비교 결과로부터 ZFE MUD 수신기가 본 시스템에 보다 적합함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, We analyze performance of ZFE MUD receiver in DSSS unidirectional wireless transceiver operating in 2.4GHz ISM band and indoor environment. This system has the shortcomings that many burst error is occurred because of long term deep fade experienced by some user and impossibility of power control. Therefore, the solution to this problem is important because the performance of DS-CDMA system is guaranteed under the perfect power control. MUD receiver which improves the performance of this system is not required to perform rigorous power control and is able to remove MAI using linear equalization. From the result of performance comparison, we show that ZFE MUD receiver is more adequate for this system than other receivers.

I. 서론

본 논문에서는 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역의 실내 환경에서 동작하는 직접 대역 확산(Direct Sequence Spread Spectrum : DS SS) 방식의 단방향 무선 송수신 시스템을 고려한다. 2.4GHz 대의 주파수 영역은 국내에서는 무선랜으로 할당된 구역이며, 일반인에게 면허 없이 임의

의 사용이 허가된 주파수 대역이다. 따라서 ISM 대역에서 동작하는 무선 통신 시스템은 국내의 물류 자동화 시스템 및 WLL, 정보 교환 시스템에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 미국을 위시한 여러 나라에서도 이용될 수 있으므로 그 적용 범위가 광범위하다.[1]

2.4GHz 대역을 이용하는 대역확산 방식에는 직접 대역 확산(Direct Sequence Spread Spectrum : DS

* 고려대학교 전자공학과 통신시스템 연구실(lcs123@korea.ac.kr), ** 창원대학교 메카트로닉스 공학부
논문번호 : #010279-1011, 접수일자 : 2001년 10월 11일

SS) 방식과 주파수 도약(Frequency Hopping Spread Spectrum : FHSS) 방식이 있는데, 다중 경로 시스템에서는 직접 대역확산 방식이 선호되고 있다. 본 논문에서 제시하는 시스템은 직접 대역확산 방식을 적용함으로써 기존의 FM 시스템의 단점을 보완하여 사용자수를 늘릴 수 있는 장점이 있다. 본 시스템에서 가정하는 채널은 실내 무선 채널 환경이며 사용자수는 최대 5명까지로 가정한다. 그러나 본 시스템은 단방향 통신 방식이므로 전력 제어가 불가능하다는 취약점을 가지므로 이를 해결할 수 있는 방안이 중요하다.

또한 본 시스템에서는 한 사용자 신호가 장기간 깊은 페이드(deep fade)를 겪으므로 매우 많은 연접 오류가 발생할 것으로 예상되는데, 이는 평균 페이딩 구간(Average Duration of Fading : ADF)보다 충분히 큰 인터리버와 RS부호에 의하여 어느 정도 극복이 가능하다. 그러나, 채널 오류가 임계치를 넘으면 RS부호만으로는 해결이 불가능해지며, 보다 진보적인 수신기 기술이 요구된다.

DSSS 시스템의 성능을 획기적으로 개선시킬 수 있는 수신기로서 많은 연구가 되어 온 방식이 다중 사용자 검출(Multi-User Detection : MUD) 방식이다. MUD 수신기는 엄격한 전력제어가 요구되지 않으며 다중 사용자 간섭(Multiple Access Interference : MAI)을 제거시킬 수 있다[2]. 그 이유는 기존의 단일 사용자 검출(Single User Detection : SUD) 수신기가 MAI를 단순히 부가잡음으로 간주하는데 반해[3] MUD 수신기는 간섭 신호를 순차 간섭 제거 또는 선형 등화 방식을 통해 억제할 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 선형 등화 방식 중에서 다중 사용자 채널 임펄스 응답 이외에는 별도의 정보를 필요로 하지 않는 ZFE(Zero Forcing Equalizer) MUD 수신기[4]를 사용하여 시스템의 성능을 분석하였다. 그리고 일반적인 SUD 수신기와 사후 검출 결합(Post Detection Combining)방식을 이용한 다이버시티 수신기와 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 구성과 개요가 제시될 것이고, 3장에서는 다중 사용자 채널 모델, 4장에서는 다중 채널 등화기에 대해서, 5장에서는 이를 바탕으로한 성능 분석 결과를 보였고, 끝으로 6장에서 결론을 맺었다.

II. 시스템 개요

본 논문에서 고려하는 시스템은 실내 환경에서

동작하는 2.4 GHz ISM대역의 직접 대역 확산 방식의 단방향 무선 마이크 시스템이며 블록도는 그림 1과 같다.

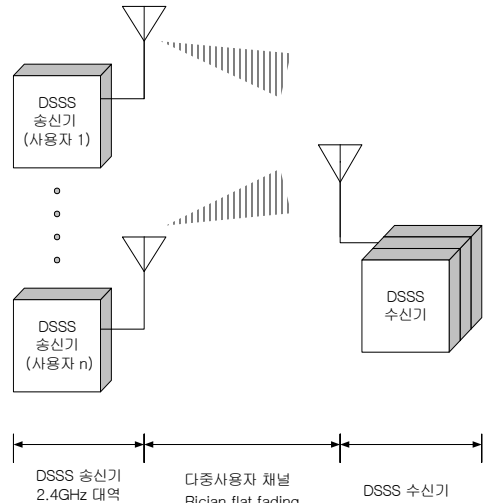


그림 4. 2.4 GHz DSSS 무선마이크 시스템
Fig. 1 2.4GHz DSSS Wireless Microphone System

본 시스템에서는 직접 대역 확산(Direct Sequence Spread Spectrum : DSSS)방식을 사용하며 PN부호로는 교차 상관 특성이 우수한 Gold 부호를 사용하고 있다. 개략적인 DSSS 송신부의 블록도는 그림 2와 같다.

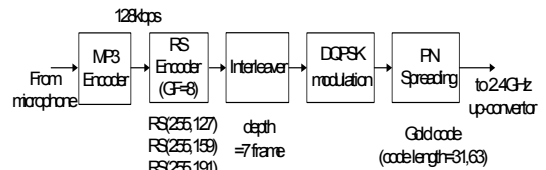


그림 5. DSSS 송신부의 블록도
Fig. 2 Block Diagram of DSSS Transmitter

그림 2로부터 MP3 부호기의 출력 비트율은 128 Kbps이며, 이것은 DSSS 송신부에서 RS (Reed-Solomon)부호기에 의하여 FEC(Forward Error Correction)부호화 된다. 그리고 인터리버를 거쳐 DQPSK로 변조된 후 PN부호에 의하여 확산되어 2.4 GHz로 주파수 변환되어 전송된다. RS부호는 연접 오류에 강하다는 장점을 가지고 있으며 심볼 단위의 인터리버와 결합 시, 매우 강력한 FEC(Forward Error

Correction)가 가능하다[5][6]. 여기서 FEC 부호로는 길이가 255 byte인 3가지 RS부호를 사용하며 오류 정정 능력이 프레임 당 64 byte인 RS(255,127)와 48 byte인 RS(255,159), 32 byte인 RS(255,191)의 3가지 부호에 대해 성능을 분석하였다. 인터리빙의 깊이는 무선 채널의 특성에 따라 설정이 되어 하므로, 이 시스템과 같이 실내 무선 채널 환경을 고려할 경우 저속의 페이딩을 보일 것이 예상되기 때문에 인터리빙의 주기를 증가시켜야 한다. 그러나 이는 복조 지연 시간을 증가시키므로 지나치게 큰 지연을 초래하지 않는 한도 내에서 깊은 페이딩에 대한 오류를 복구할 수 있도록 인터리빙의 주기를 설정할 필요가 있다.

2.4 GHz 대역에서는 수신 신호 크기가 10dB 이상 페이드되는 구간의 평균값(ADF)이 약 10 msec로 예상된다. 또한 본 시스템은 255 byte의 길이를 가지는 부호어를 약 8 msec동안 전송하므로 7개의 전송 프레임 구간에 대해서 인터리빙을 하면 인터리버에서 약 56 msec의 지연이 생기게 되는데, 이는 위에서 언급된 ADF를 고려하면 적절한 선택으로 여겨진다.

변조방식은 실내 플랫폼 페이딩(flat fading) 환경에서 양호한 성능을 보이는 DQPSK를 사용하고 있으며[7], 프레임 오버헤드(overhead)가 더해지면 150 Ksym/sec의 심볼율을 가지게 된다. PN 부호로는 길이가 31 또는 63인 Gold 부호를 사용하였다. 따라서 결과적인 칩율은 확산계수가 31일 경우 $31 \times 150 \text{kcps} = 4.65 \text{Mcps}$ 가 될 것이다. Gold 부호는 칩 단위의 동기가 보장이 되지 않는 비동기 C DMA 시스템에서 다중 접속 부호(Multiple Access Code)로 선호되고 있는데 이는 자기상관(auto-correlation) 특성이 다소 떨어지는 반면, 교차상관(cross-correlation) 특성이 우수하다는 장점을 가지고 있기 때문이다[5]. 지금까지는 송신기에 대해서 고찰하였는데, 수신기의 구조는 송신기의 역 과정으로 간주된다.

시스템의 성능은 FEC 부호만으로 결정되는 것이 아니며, 수신기의 구조에 의해서도 영향을 받을 것이다. 따라서 실내 무선 채널 환경 하에서는 다이버시티 기법보다는 선형 등화 방식을 이용한 ZFE MUD를 적용할 경우 FEC 부호기의 규격을 완화시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 다음과 같은 3가지 수신기를 비교 고찰하는데, 각각은 일반적인 SUD 수신기, 2-경로

다이버시티 사후 검출 결합 수신기(2-path diversity post-detection combining receiver), ZFE를 사용한 MUD 수신기 등이다.

III. 다중사용자 채널 모델

본 논문에서는 사용자 수가 K 인 비동기식 DS-C DMA 채널을 고찰한다. 주파수 비선형적 Rician 페이딩의 경우, 기저 대역에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K g_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) d_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $g_k(t)$ 와 τ_k 는 각각 k 번째 사용자가 경험하는 Rician 페이딩 이득 및 페이딩 지연, $c_k(t)$ 와 $d_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 확산 파형 및 데이터 신호 그리고 $n(t)$ 는 채널 잡음을 의미한다. 데이터 파형 $d_k(t)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$d_k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_k[n] p(t - nT) \quad (2)$$

단, $d_k[n]$ 은 k 번째 사용자의 n 번째 비트, $p(t)$ 는 단위 크기와 T 의 지속시간을 가지는 구형 파이다. 확산 신호의 주기는 T_c , 확산 신호의 각 주기는 G 개의 칩으로 나누어지며, 집합 $\{\pm 1\}$ 에서 선택된 랜덤 변수가 된다. 칩 파형 역시 구형파로 가정하며 단위 진폭 및 $T_c = T/G$ 의 지속시간을 가진다. 마지막으로 τ_k 는 $[0, T)$ 구간에서 균일한 분포를 가지는 랜덤 변수로 가정한다.

식(1)의 채널 잡음은 평균이 0, 전력 스펙트럼 밀도가 N_o 인 백색 가우시안(Gaussian) 프로세스이며, 페이딩 이득들은 통계적으로 독립이고 평균이 m , 그리고 자기 상관 함수가 $P_k J_0(2\pi f_d \tau)$ 인 복소 가우시안 프로세스 모델을 사용한다. 단, 여기서 P_k 는 $g_k(t)$ 의 분산, f_d 는 최대 도플러 주파수 그리고 $J_0(\cdot)$ 는 0차 베셀 함수를 의미한다.

그림 3은 K 명의 사용자 신호로 구성된 신호를 입력으로 가지는 일반적인 DS/CDMA 수신기를 보여준다.

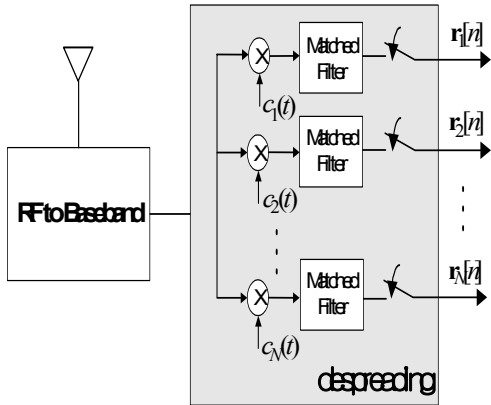


그림 7. 일반적인 DS/CDMA 수신기 (PN 상관기)
Fig. 3 General DS/CDMA Receiver (PN Correlator)

PN 상관기는 $r(t)$ 를 각 사용자의 확산 과정과 상관(correlation)을 시키는데, m 번째 사용자의 상관기 출력은 다음과 같다.

$$r_m[n] = \int_{nT+\tau_m}^{nT+T+\tau_m} r(t)c_m(t-nT-\tau_m)dt, \quad m = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

여기서 $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_k$ 이고 도플러 주파수는 심볼률 ($1/T$)의 수 퍼센트 이하라고 가정하면, n 번째 심볼에 대한 수신 샘플 벡터 $R(n)$ 은 다음과 같다.

$$R(n) = (r_1[n], r_2[n], \dots, r_K[n])^t \quad (4)$$

단, 여기서 $(\cdot)^t$ 는 전치 행렬을 의미한다.

m 번째 사용자의 상관기 출력을 구하기 위해서 비동기 DS/CDMA 수신신호의 타이밍 관계를 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에 표현된 부분 상관 계수는 $k \geq m$ 이라는 전제 조건 하에서 식 (5) 및 (6)으로 정의된다.

$$a(k, m) = \int_0^{T+\tau_m-\tau_k} c_k(t)c_m(t+\tau_k-\tau_m)dt \quad (5)$$

$$\begin{aligned} b(k, m) &= \int_0^{\tau_k-\tau_m} c_m(t)c_k(t+T+\tau_m-\tau_k)dt \\ &= \int_0^T c_k(t)c_m(t+\tau_k-\tau_m)dt - a(k, m) \\ &= \Psi(k, m) - a(k, m) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 $\Psi(k, m) = \int_0^T c_k(t)c_m(t+\tau_k-\tau_m)dt$ 는 완전 상관 계수를 의미한다.

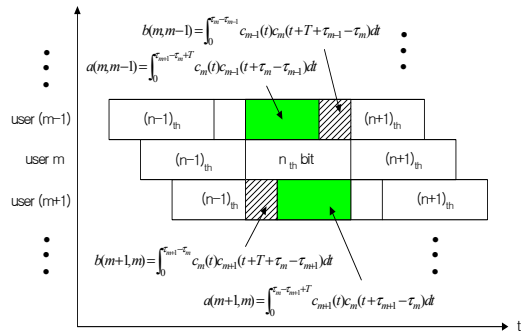


그림 9. 비동기 DS/CDMA 수신신호의 타이밍도
Fig. 4 Timing diagram of Asynchronous DS/CDMA Received Signal

그림 4를 살펴보면 사용자 m 은 사용자 1에서 $m-1$, 또한 사용자 $m+1$ 에서 K 까지 부분적으로 상관되어 있음을 알 수 있다. 이 점에 유의하여 식 (3)을 식 (1), (2), (5), (6)을 이용하여 표현하면 식 (7) 및 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} r_m[n] &= e_m(n) \\ &+ \sum_{k=1}^{m-1} d_k(n+1)g_k(n+1)b(m, k) \\ &+ \sum_{k=1}^{m-1} d_k(n)g_k(n)a(m, k) \\ &+ d_m(n)g_m(n)a(m, m) \\ &+ \sum_{k=m+1}^K d_k(n)g_k(n)a(k, m) \\ &+ \sum_{k=m+1}^K d_k(n-1)g_k(n-1)b(k, m) \end{aligned} \quad (7)$$

$$e_m[n] = \int_{nT+\tau_m}^{nT+T+\tau_m} n(t)c_k(t-nT-\tau_m)dt \quad (8)$$

식 (7) 및 (8)을 이용하면 식 (4)는 다음과 같은 행렬로 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(n) &= (r_1[n] \ r_2[n] \ r_3[n], \dots, r_K[n])^t \\ &= \mathbf{f}_{-1}\mathbf{S}(n+1) + \mathbf{f}_0\mathbf{S}(n) + \mathbf{f}_1\mathbf{S}(n-1) \\ &\quad + \mathbf{e}(n) \\ &= \sum_{m=-1}^1 \mathbf{f}_m\mathbf{S}(n-m) + \mathbf{e}(n) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)의 $\mathbf{e}(n) = (e_1[n], e_2[n], \dots, e_K[n])^t$ 은 잡음 벡터이고, 페이딩을 경험한 데이터 심볼인 $\mathbf{S}(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{S}(n) &= (s_1[n], s_2[n], \dots, s_K[n])^t \\ &= \begin{bmatrix} d_1(n)g_1(n) \\ d_2(n)g_2(n) \\ \vdots \\ d_K(n)g_K(n) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $s_k[n] = d_k[n]g_k[n]$ 이며, $g_k[n]$ 는 n 번째 심볼에서의 페이딩 프로세스 $g_k(t)$ 값을 나타낸다. 그리고 \mathbf{f}_m 은 확산 파형의 부분 상관 행렬이며, $\mathbf{f}_{-1}, \mathbf{f}_0$ 및 \mathbf{f}_1 은 각각 식 (11), (12), (13)과 같다.

$$\mathbf{f}_{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b(2,1) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b(3,1) & b(3,2) & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b(K,1) & b(K,2) & b(K,3) & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{f}_0 = \begin{bmatrix} a(1,1) & a(2,1) & \dots & a(K,1) \\ a(2,1) & a(2,2) & \dots & a(K,2) \\ a(3,1) & a(3,2) & \dots & a(K,3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(K,1) & a(K,2) & \dots & a(K,K) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{f}_1 = \mathbf{f}_{-1}^t \quad (13)$$

또한 위 식으로부터 $\mathbf{f}_{-1}, \mathbf{f}_0$ 및 \mathbf{f}_1 의 합은 확산 파형의 완전 상관 계수와 같고, 행렬 \mathbf{f}_0 와 $(\mathbf{f}_{-1} + \mathbf{f}_0 + \mathbf{f}_1)$ 은 대칭 행렬이라는 사실을 알 수 있다.

IV. 다중 채널 등화기의 설계

시변(time-varying)의 다중 경로 채널 상에서 전송되는 CDMA 시스템에서는 수신 신호들간에 직교성이 유지되지 않으므로 신호간 간섭(Inter Symbol Interference : ISI) 뿐만 아니라 서로 다른 사용자 신호간에 교차 간섭(Cross Interference) 또는 다중 사용자 간섭(Multiple Access Interference : MAI)이 발생한다. 정합 필터의 집단으로 구성된 기존의 수신기는 한 사용자 신호를 검출하고 다른 사용자 신호를 단순한 잡음으로 취급하므로 교차 간섭(Cross Interference)이 발생하여 비효율적이며, 사용자 수가 증가함에 따라 성능이 저하되는 단점을 가진다. 또한 결정 알고리즘으로 Viterbi 알고리즘을 사용하는 최대 우도(Maximum Likelihood : ML) 다중 사용자 수신기는 구현의 복잡도가 사용자 수에 따라 지수 함수적으로 증가하는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 ML 수신기 보다는 구현이 용이하고 기존의 수신기보다는 양호한 성능을 가지는 준최적 수신기를 고려한다[4].

본 시스템에서는 준최적 다중 사용자 검출 방식으로 다중 채널 등화기를 사용하고자 하며, 수신신호의 S/N 비 및 페이딩 추정치에 대한 정보가 필요치 않은 Zero Forcing Equalizer (ZFE)를 사용하기로 한다. 물론 ZFE는 신호 대 잡음비(SNR)에 대한 정보를 이용하는 MMS E(Minimum Mean Square Equalizer)에 비하여 다소 성능이 저하가 될 것으로 예상되지만 시스템을 단순화 할 수 있다는 점에서 유리하다[3].

K 명의 사용자를 가정할 경우, K 개의 PN 상관기 출력들로 구성된 수신 신호 샘플 벡터는 $\mathbf{R}(n)$ 이 된다. 이로부터 데이터 벡터 $\mathbf{S}(n)$ 의 추정치 $\hat{\mathbf{S}}(n)$ 을 추출하기 위해 선형 등화기를 사용한다. 등화기 계수 벡터를 \mathbf{C} 라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{C} = (c_{-L}, c_{-L+1}, \dots, c_0, \dots, c_{L-1}, c_L) \quad (14)$$

선형 등화기가 채널 임펄스 응답 $\mathbf{f}_{-1}, \mathbf{f}_0, \mathbf{f}_1$ 에 대한 정보를 미리 가지고 있다고 가정하면, 등화기 출력은 식(15), (16)과 같다.

$$\begin{aligned} \widehat{S}(n) &= \mathbf{C}\mathbf{T}(n) \\ &= \sum_{k=-L}^L c_k \mathbf{R}(n+k) \\ &= \sum_{k=-L}^L c_k \left(\sum_{m=-1}^1 f_m S(n+k-m) \right) \\ &= \sum_{j=-L-1}^{L+1} \mathbf{q}(j) S(n+j) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\mathbf{T}(n) = [\mathbf{R}(n-L), \mathbf{R}(n-L+1), \dots, \mathbf{R}(0), \dots, \mathbf{R}(n+L)]^t \quad (16)$$

$\mathbf{q}(j) = \sum_{m=-1}^1 c_{j+m} f_m$ 로 정의하면 ZFE는 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$\mathbf{q}(j) = \begin{cases} \mathbf{0} & , j = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm L \\ \mathbf{I} & , j = 0 \\ \text{don't care} & , j = \pm(L+1) \end{cases} \quad (17)$$

즉, 위 조건으로부터 ZFE는 다음 식을 만족함을 알 수 있다.

$$\mathbf{C} \cdot \mathbf{F} = \mathbf{U} \quad (18)$$

최종적으로 ZFE의 계수는 식 (18)의 해로 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{C} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{F}^{-1} \quad (19)$$

여기서, 행렬 \mathbf{F} 및 \mathbf{U} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ f_{-1} & f_0 & f_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f_{-1} & f_0 & f_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & f_{-1} & f_0 & f_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & f_{-1} & f_0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\mathbf{U} = [\mathbf{0}, \dots, \mathbf{0}, \mathbf{I}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0}] \quad (21)$$

V. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 실내 무선 채널 환경 즉, 직접파(L OS)가 존재하는 Rician 페이딩을 가정 하고[8], RS 부호의 오류 정정 능력에 대한 요구조건을 결정하

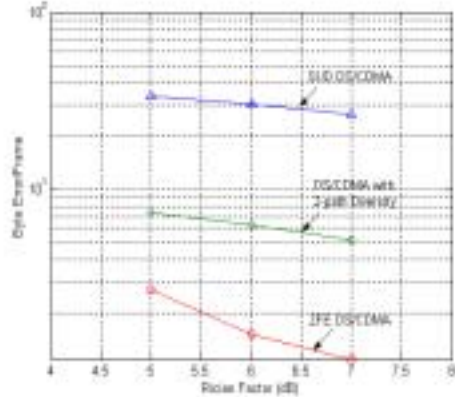


그림 11. 3가지 수신 방식에 대한 전송 프레임 당 심볼(byte) 오류 개수

Fig. 5 Number of Symbol Error per Frame for Three Class Receiver Scheme

기 위하여 Rician 계수(K), 확산 계수(G), 오류 정정 능력 및 사용자수를 파라미터로 하여 성능을 분석하였다. 공통적인 시뮬레이션 조건으로 사용자 수는 5명, $E_b/N_o = 20dB$, $f_d T = 10^{-4}$ 이다.

그림 5는 $K = 5, 6, 7$ dB의 Rician 페이딩과 $G = 63$ 의 조건에서 SUD DS/CDMA 수신기, 2-경로 다이버시티 DS/CDMA 수신기 및 ZFE를 사용한 MUD DS/CDMA 수신기에서 전송 프레임 당 평균 심볼(byte) 오류에 대한 결과를 보여 준 것이며, 그림 6은 오류 정정 능력이 각각 64, 48, 32 by

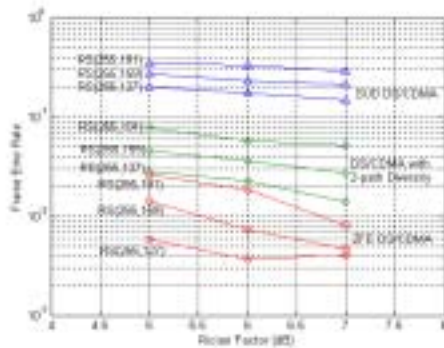


그림 13. RS 부호 방식에 대한 프레임 오류율

Fig. 6 Frame Error Rate for RS Code Scheme

te인 RS(255,127), RS(255,159), RS(255,191) 부호에 의하여 복호될 경우의 프레임 오류에 대한 성능 분석 결과를 보여준 것이다.

또한 확산 계수가 각각 31, 63인 경우의 3가지 수신 방식의 프레임 오류 성능을 비교하였는데 그

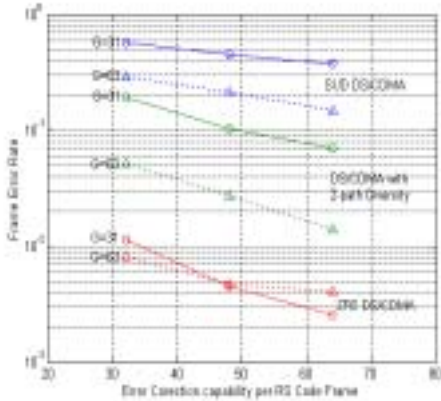


그림 14. 확산 계수에 따른 FER 성능
Fig. 7 FER Performance for Spreading Factor

결과는 그림 7과 같다.

그림 5 및 그림 6에서 보듯이, ZFE를 사용한 MUD가 다른 두가지 수신 방식에 비해서 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 여기서 특기할 점은 SUD DS/CDMA 수신기 및 다이버시티 수신기의 경우 확산 계수가 63인 경우가 31인 경우에 비해서 우수한 성능을 보이고 있는 반면, ZFE에 의하여 다중 사용자 간섭을 충분히 제거시킨 MUD DS/CDMA의 경우에는 확산 계수에 따른 성능의 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이러한 점은 그림 7의 성능 분석 결과에서도 명백히 드러난다. 그러므로 ZFE 등화기를 사용할 경우 확산 계수를 31로 사용함으로써, 구현이 상대적으로 용이하면서도 동등한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림 7로부터 오류 정정 능력이 48 byte인 RS(255,159) 부호인 경우와 64 byte인 RS(255,127)부호의 경우를 비교하면 FER 성능에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

본 논문에서는 사용자 수를 최대 5명과 Rician 계수 $K = 5$ 를 가정하여 사용자수의 변화에 따른 전송 프레임 당 심볼 오류 및 프레임 오류 특성에 대한 성능 분석을 행하였는데 그 결과는 그림 8 및 그림 9와 같다.

그림 8 및 9의 결과로부터 ZFE 등화기를 사용한 경우가 다른 2가지 경우에 비해서 사용자수에 따른 성능 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 동작하는 2.4 GHz ISM대역의 단방향 DSSS 무선 송수신 시스템을 고

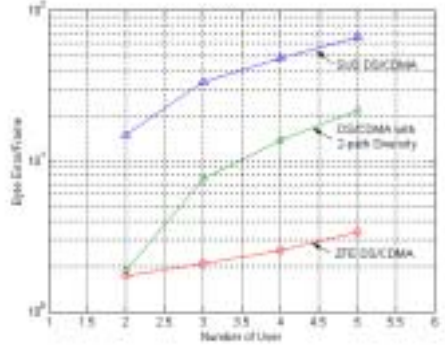


그림 19. 사용자 수에 따른 프레임 당 심볼(byte) 오류 개수

Fig. 8 Number of Symbol Error per Frame for Number of User

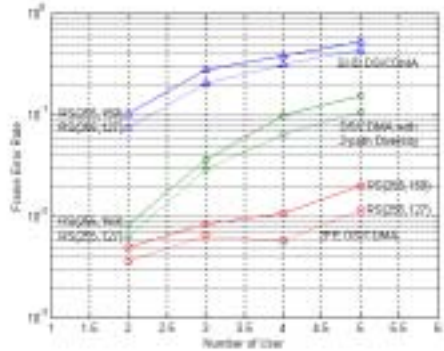


그림 20. 사용자 수에 따른 프레임 오류

Fig. 9 Frame Error Rate for Number of User

려하였다. 본 시스템은 기존의 FM 방식을 대신하여 직접 대역확산 방식을 적용함으로써 기존 시스템의 단점을 보완하여 사용자수를 늘릴 수 있는 장점이 있다. 그러나 본 시스템은 많은 연립 오류의 발생과 단 방향 시스템이므로 전력 제어가 불가능하다는 취약점을 가지고 있다.

본 시스템과 같이 비전력 제어, 비동기 방식의 DSSS 시스템의 성능을 개선하기 위해서 ZFE와 같은 간섭 제거기를 사용한 MUD 수신기를 고려하였다. 일반적인 SUD 수신기 및 다이버시티 수신기와의 FER 성능 분석 결과를 비교해 보면 ZFE MUD 수신기가 다른 두가지 수신기에 비해서 성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 확산 계수에 따른 성능 분석 결과 MUD 수신기는 다른 두 가지 수신기에 비해 확산 계수에 따른 성능의 변화가 그리 크지 않음을 확인하였다. 이 사실은 확산계수가 상대적으로 작은 값을 사용함으로써 구현을 용이하게 하면서도 동등

한 성능을 얻을 수 있음을 의미한다. 또한 RS 부호 방식에 따른 FER 성능 분석 결과 오류 정정 능력이 48 byte인 RS(255,159) 부호와 64 byte인 RS(255,127)부호는 FER 성능에 큰 차이가 없음을 확인하였다. 그리고 사용자수에 따른 프레임 당 심볼 오류 개수 및 FER 성능을 분석한 결과 MUD 수신기는 다른 두 가지 수신기에 비해서 사용자 수에 따른 성능 변화가 크지 않음을 알 수 있었다. 즉, 일반적으로 사용자수가 증가함에 따라 성능이 저하될 것으로 예상되지만 MUD 수신기를 사용하면 그 성능 저하를 어느 정도 줄일 수가 있다.

따라서 위와 같은 무선 송수신 시스템에서 ZFE MUD 수신기를 적용하고 확산계수를 31로, RS(255,159)부호를 시스템의 FEC 부호로 사용한다면 구현이 상대적으로 용이하면서도 요구되는 BER 특성과 동등한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Ryuji Kohno, Reuven Median, and Laurence B. Milstein, "Spread Spectrum Access Method for Wireless Communications," *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 33, pp. 58-67, Jan. 1995.
- [2] Simon Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications," *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 34, pp. 124-133, Oct. 1996.
- [3] A. Klein, G. K. Kaleh, and P. W. B. Aier, "Zero Forcing and Minimum Mean-Square-Error Equalization for Multiuser Detection in Code-Division-Multiple-Access Channel," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, Vol. 45, No. 2, pp. 276-287, May 1996.
- [4] Zhenhua Xie, Robert T. Short, and Craig K. Rushforth, "A Family of Suboptimum Detectors for Coherent Multiuser Communications," *IEEE Journal on Select. Areas in Comm.*, Vol. 8, No. 4, pp. 683-690, May 1990.
- [5] J. G. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill, Inc., 3rd Edition, 1995.
- [6] E. A. Lee, D. G. Messerschmitt, "Digital Communication", Kluwer Academic Publishers, 2nd Edition, 1994.
- [7] V. Fung, T. S. Rappaport, "Bit Error Simulation for $\pi/4$ DQPSK Mobile Radio communications using Two-Ray and Measurement-Based Impulse Response Models," *IEEE Journal on Select. Areas in Comm.*, Vol. 11, No. 3, pp. 393-405, Apr. 1993.
- [8] J. B. Anderson, T. S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels," *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 33, pp. 42-40, Jan. 1995.
- [9] Majeed Abdulrahman, "Decision Feedback Equalization for CDMA in Indoor Wireless Communications," *IEEE Journal on Select. Areas in Comm.*, Vol. 12, No. 4, pp. 698-706, May 1994.
- [10] Homayoun Hashemi, "The Indoor Radio Propagation Channel," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 81, No. 7, pp. 943-968, July 1993.

이 창 석(Chang-Seok Lee)

정회원



1991년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 졸업

1993년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 석사

1998년 9월~현재 : 고려대학교
전자공학과 박사과정

1993년 1월~1998년 8월 :
현대전자산업(주)

2002.9 ~ 현재 한국산업기술대학교 근무

<관심분야> 다중사용자 검출 방식, 이동통신, RF
회로설계 등

정 인 화(In-Hwa Jung)

정회원



1999년 2월 : 창원대학교 제어
계측공학과 졸업

2001년 2월 : 창원대학교 제어
계측공학과 석사

2001년 3월~현재 : 창원대학교
제어계측공학과 박사과정

2002년 2월~현재 : (주)에세

텔 부설연구소 연구원

<관심분야> 이동통신, IMT-2000, 디지털 신호처리,
WMAN, B-WLL 등

김 재 형(Jae-Hyung Kim)

정회원

창원대학교 메카트로닉스 공학부 교수

한국통신학회논문지 제 23권 제 2호 참조

차 균 현(Kyun-Hyon Tchah)

정회원

고려대학교 전자공학과 교수

한국통신학회논문지 제 25권 제 12B호 참조