

PN 부호의 직교 수신 방식을 이용한 CDMA 수신기 성능

정희원 현 광 민*, 윤 동 원**, 박 상 규*

Performance of the CDMA Receiver with PN Sequence Orthogonal Reception Process

Kwang-Min Hyun*, Dong-Weon Yoon**,
Sang-Kyu Park* *Regular Members*

요 약

본 논문은 여러 가지 PN 부호들 중 시간 전이된 (time-shifted) m 계열 부호를 사용하는 CDMA 수신기에서 직교화 과정을 수행할 수 있도록 수신기 구조를 제안하고, 그 수신기의 특성 및 성능을 분석한 것이다. 이 구조는 일반적으로 사용하는 기존 CDMA 수신기에 직교 수신 과정을 수행하도록 병렬로 적분기 경로를 추가하고 덧셈기에서 추가된 경로의 출력과 기존 수신기 출력을 합산하여 처리하도록 되어 있어 구성이 간단하다. 수신된 신호는 PN 부호 상관기와 적분기를 각각 통과한 후 합쳐지므로 기존 사용자 부호의 신호 성분은 증가하고, 다른 사용자 부호와의 상호 상관 값은 0이 되어 수신된 기존 사용자 부호는 직교 부호 특성을 갖게 된다. 그러므로 본 논문에서 제안한 구조는 직교 부호 특성이 요구되는 채널 임펄스 특성 측정 등과 같은 응용 분야 또는 제안한 수신기 구조 블록 중에서 병렬로 추가된 경로를 유연하게 운용할 수 있으므로 다중 사용자 간섭 신호 제거 또는 용량 증대 목적에 적용이 가능하다.

ABSTRACT

This paper proposes a CDMA receiver structure with time-shifted m-sequence orthogonal reception process, and analyzes the output SNR performance and the characteristics of the orthogonal receiver. This structure can be simply implemented with the conventional receiver adding an additional integrator path in parallel and an adder sums the conventional path and the new path output signals. The structure provides to reference user signal not only increment of signal component but also perfect orthogonal characteristic, canceling the accumulated cross-correlated value out to zero between the reference user and other user signals. Hence, the proposed structure can be applied for channel impulse response measurement, and used for multi-user interference signal cancellation and channel capacity increment by flexible structural inter-working operation of the added path, connection or disconnection, to conventional receiver structure.

I. 서 론

부호 분할 다중 접속 (code division multiple access, CDMA) 통신 시스템에서 PN 부호는 사용자 신호를 구별할 뿐만 아니라 상호간의 간섭을

줄이는 등 중요한 역할을 한다. 그러나 일반적인 PN 부호는 불완전한 직교 특성으로 인하여 발생하는 부호 간 상호 상관 값이 상호 간섭으로 작용하기 때문에 이를 제거하기 위해 직교 특성이 우수한 여러 가지 부호들이 연구되어 왔다. 특히, m 계열

* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 (skpark@hanyang.ac.kr)

** 대전대학교 정보통신인터넷공학부

논문번호: 020445-1014, 접수일자: 2002년 10월 14일

부호는 PN 부호들 중 대표적인 것으로 이것을 변형한 Gold, Kasami 부호 등 여러 가지 부호들에 대해 연구되어지고 있다[1]. m 계열 부호는 단순한 발생 구조, 주기 부호 발생, 시간 전이 특성, 유리한 자기 및 상호 상관 특성 등 여러 가지 특성들 때문에 실제 응용에서 선호되고 있다. 특히 켈컴사는 동일한 m 계열 부호를 한 칩 이상 시간 전이시켜 만든 다른 한 주기 부호는 동일한 발생 다항식을 갖고 있다 하더라도 서로 다른 m 계열 신호가 된다는 특성을 이용하여 이 부호를 상용 CDMA 시스템에 성공적으로 적용하였다. 그러나 이러한 특성들을 이용하기 위하여 m 계열 부호를 선택하더라도 신호의 간섭으로 작용하는 부호간의 상호 상관 값을 줄이기 위한 노력이 필요하고, 이를 위해서 주로 긴 주기를 갖는 부호를 사용한다. 특히, 완벽한 직교 특성이 요구되는 응용에서는 m 계열 부호보다 왈쉬 (Walsh) 부호와 같은 직교 부호를 사용하기도 한다[2].

직교 부호는 상호 상관 값을 나타내는 사영 (projection) 값이 0이 되고, 자기 상관 값은 부호의 주기 길이 값과 같다는 특성을 가지고 있다. 시간 전이 m 계열 부호의 경우, 이 부호의 여러 가지 특성들 중 불완전한 직교 특성으로 인하여 성능에 영향을 주는 요인으로 작용하는 것은 크게 2 가지를 들 수 있다. 첫째로, 부호의 한 주기 N 동안 발생된 '1'과 '-1'의 수가 평형을 이루지 않고 '1'의 개수가 한 개 많다는 것이다. 즉, 부호의 한 주기를 적분 했을 경우 '1'이 되어 잔류 성분이 남게 된다. 두 번째로, 부호간의 상관 특성으로 시간 전이 특성을 이용하여 발생시킨 서로 다른 m 계열 부호들간의 상호 상관 값은 '-1'이 되어 간섭 성분으로 작용하고, 자기 신호 성분은 N이 되는 특성을 가진다[3][4].

본 논문에서는 위에서 언급한 두 가지 특성들을 이용하여 불완전한 직교 특성을 갖는 PN 부호를 수신하였을 경우에 수신기에서 직교화 과정을 수행할 수 있도록 수신기 구조를 제안한다. 또, 신호 성분 대 잡음 및 간섭 성분의 비 (SNR, Signal to Noise and interference ratio)를 이용하여 기존 수신기와 제안한 수신기의 성능을 상대적으로 비교 평가한다. II장에서는 다중 사용자가 존재할 경우 수신기 모델을 분석한다. 즉, 제안한 수신기 구조에서의 상호 상관과 자기 상관 특성을 분석하여 수신 과정에서 직교 특성을 가짐을 보이고, 수신된 부호들의 상호 상관 값으로 인해 발생하는 간섭신호가

제거되는 과정을 보인다. III장에서는 II장에서 유도된 수식을 이용하여 수치 계산을 통해 일반적인 수신기와 제안한 수신기에 대해 비교 분석하고, IV장에서는 논문의 결론을 기술한다.

II. 직교화 수신기 모델

본 논문에서는 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise, AWGN) 환경의 채널에서 시간 전이 m 계열 부호를 사용하는 확산 대역 (spread spectrum, SS) 통신 수신기 모델을 사용한다. 처리 이득은 부호의 한주기와 같은 $N = T_b/T_c$ 로 정의하고, 여기서 T_b 는 한 비트 시간 주기, T_c 는 부호의 한 칩 시간 주기를 의미한다. 또한, 수신된 각 사용자 신호의 위상은 모두 동일하다고 가정하였다. 수신기 구조는 수신된 대역 통과 (passband) 신호를 기저 대역(baseband) 신호로 변환한 후 기존 수신기에서와 마찬가지로 역 확산된 후 상관기에서 부호의 한 주기 동안 적분하는 경로의 출력과 역확산 되기 전의 신호를 추가된 경로를 통해 상관기와 동일한 시간동안 적분하는 경로의 출력을 더하여 정보를 복구하는 구조로 되어 있다.

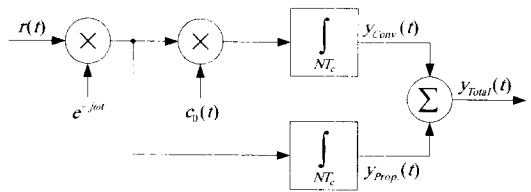


그림 1. 제안한 수신기의 구조

그림 1에 나타난 것과 같이 수신된 신호는 기준 사용자 ($k=0$) 신호와 $M-1$ 명의 다른 사용자 신호들이 AWGN 잡음과 더해져 있으므로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{M-1} c_k(t+nT_c+\tau)e^{j\omega t} + n_0(t) \quad (1)$$

여기서, $c_k(t)$ 는 수신된 k번째 사용자의 복소 m 계열 부호, n 은 한 주기내의 부호 위치를 나타내는 임의의 정수, τ 는 한 칩 주기 이내의 위상 오차, ω 는 반송파 주파수, 그리고 $n_0(t)$ 는 복소 AWGN으로 단측 전력 스펙트럼 밀도는 N_0 로 표현된다[5].

또한, 송신된 한 비트의 에너지 $E_b = T_b$ 로 정의한다. 따라서 수신 신호가 기저 대역 신호로 변환된 후 두 경로를 통과하여 더해진 신호는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_{Total}(t) = y_{Conv.}(t) + y_{Prop.}(t) \quad (2)$$

여기서, $y_{Conv.}$ 신호는 기존 수신기와 동일한 경로 출력을 의미하고, $y_{Prop.}$ 신호는 본 논문의 제안에 의해 수신기가 직교화 과정을 수행할 수 있도록 기존 수신기에 병렬로 추가되는 신호 경로 출력을 의미한다.

1. 기존 수신기 모델 분석

기존 사용자를 포함하여 M 명의 신호가 존재할 때, 식 (1)의 신호를 기존 수신기 구조에 통과시키면 출력은 $y_{Conv.}(t)$ 가 되고, 이 신호는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{Conv.}(t) &= \int_{NT_c} c_0^*(t) \sum_{k=0}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt \\ &+ \int_{NT_c} n(t)c_0^*(t) dt \\ &= \int_{NT_c} c_0^*(t)c_0(t+nT_C+\tau) dt \quad (3) \\ &+ \int_{NT_c} c_0^*(t) \sum_{k=1}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt \\ &+ \int_{NT_c} n(t)c_0^*(t) dt \\ &= s'_{Conv.}(t) + n'_{Conv.}(t) \end{aligned}$$

여기서 $n(t) = n_0(t)e^{-j\omega t}$ 이고, $c_0(t)$ 는 기존 사용자 수신기에서 발생시킨 복소 m 계열 부호이고 $c_0^*(t)$ 는 $c_0(t)$ 의 켈레 부호 (conjugate) 이다. 또, $s'_{Conv.}(t)$ 은 기존 사용자의 신호 성분으로 식 (4)와 같이 정의하고, $n'_{Conv.}(t)$ 은 식 (5)와 같이 기존 사용자와 다른 사용자간의 간섭과 AWGN 잡음 성분들을 포함한 신호로 정의한다.

$$s'_{Conv.}(t) = \int_{NT_c} c_0^*(t)c_0(t+nT_C+\tau) dt \quad (4)$$

$$\begin{aligned} n'_{Conv.}(t) &= \int_{NT_c} c_0^*(t) \sum_{k=1}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt \\ &+ \int_{NT_c} n(t)c_0^*(t) dt \end{aligned} \quad (5)$$

식 (4)에서 기존 사용자 신호 성분 $s'_{Conv.}(t)$ 은 식 (6)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} &Re\{s'_{Conv.}(t)\} \\ &= Re\left\{ \int_{NT_c} c_0^*(t)c_0(t+nT_C+\tau) dt \right\} \quad (6) \\ &= \begin{cases} NT_C, & \text{if } n=N, \tau=0 \\ (N-(N+1)\Delta)N, & \text{if } n=N, \tau \neq 0 \\ -T_C, & \text{if } n \neq N, 0 < \tau < T_C \end{cases} \end{aligned}$$

여기서 Δ 는 0과 1사이의 실수이다.

또, 식 (5)의 첫 번째 항은 기존 사용자 부호와 각 사용자의 부호를 상호 상관한 값으로 m 계열 부호의 상호 상관 특성을 이용하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} &\int_{NT_c} c_0^*(t) \sum_{k=1}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt \\ &= \sum_{k=1}^{M-1} (-T_C) = -(M-1)T_C \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 사용자간 간섭 신호와 AWGN 잡음 성분인 $n'_{Conv.}(t)$ 의 전력을 구하기 위해 분산을 구하면 식 (8)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} &E\{(Re[n'_{Conv.}(t)])^2\} = \\ &\frac{1}{2} \left\{ \iint_{NT_c} N_0 \delta(t-\zeta) E\{Re[c_0(t)c_0^*(\zeta)]\} dt d\zeta \right\} \quad (8) \\ &+ [(M-1)T_C]^2 \end{aligned}$$

그러므로 다수의 사용자가 존재하는 경우, 각 사용자가 사용하는 부호와 기존 사용자가 발생시킨 부호간의 상호 상관 값의 합인 $-(M-1)T_C$ 가 기존 사용자 신호의 간섭 성분으로 작용하고, 이 값은 수신기 출력 신호의 오프셋 (offset)으로 작용한다. 식 (6)과 식 (8)을 이용하여 칩 동기가 일치할 경우 출력 SNR은 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$SNR = \frac{s'_{Conv.}(t)^2}{E\{Re\{(n'_{Conv.})^2\}\}}$$

$$= \frac{2N^2}{\frac{N_0 N^2}{E_b} + 2(M-1)^2}, \text{ if } n = N, \tau = 0 \quad (9)$$

2. 제안한 직교화 수신기 모델 분석

수신기의 수신된 신호는 식 (1)과 동일하고, 직교화 과정을 위해 병렬로 추가된 신호 경로를 통과하여 출력되는 신호 $y_{Prop.}(t)$ 는 식 (10)과 같다.

$$y_{Prop.}(t) = \int_{NT_c}^{M-1} \sum_{k=0}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt$$

$$+ \int_{NT_c} n(t) dt = s'_{Prop.}(t) + n'_{Prop.}(t) \quad (10)$$

여기서, $s'_{Prop.}(t) = \int_{NT_c} c_0(t+nT_C+\tau) dt$

$$n'_{Prop.}(t) = \int_{NT_c} \sum_{k=1}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt + \int_{NT_c} n(t) dt$$

이다.

그러므로 그림 1에 나타난 수신기의 출력 $y_{Total}(t)$ 는 식 (3)의 기존 수신기 출력 $y_{Conv.}(t)$ 와 식(10)의 새로 추가된 경로를 통과하여 나타나는 $y_{Prop.}(t)$ 가 덧셈기에서 합쳐지게 되고 이 출력 식 (11)과 같이 표현된다.

$$y_{Total}(t) = y_{Conv.}(t) + y_{Prop.}(t)$$

$$= s'_{Total}(t) + n'_{Total}(t) \quad (11)$$

여기서, 덧셈기 출력의 신호 성분 $s'_{Total}(t) = s'_{Conv.}(t) + s'_{Prop.}(t)$ 로 정의하고, 잡음 성분과 간섭 성분은 $n'_{Total}(t) = n'_{Conv.}(t) + n'_{Prop.}(t)$ 로 정의한다. 그리고, 식(10)의 신호 성분 $s'_{Prop.}(t)$ 는 m 계열 부호의 특징에 따라 부호의 한 주기를 적분한 결과가 되어 부호의 한 칩 시간인 T_C 가 된다. 제안한 수신기의 최종 출력인 식 (11)에서 신호 성분인 $s'_{Total}(t)$ 를 계산하면 식 (6)의 $s'_{Conv.}(t)$ 을 계산한 자기 상관 값과 식 (10)에서 정의된 $s'_{Prop.}(t)$ 의 계산 결과인 T_C 가 더해져 식 (12)와 같이 계산되고, 기존 수신기의 신호 $s'_{Conv.}(t)$ 인 식 (6)보다 T_C 만큼 신호 성분이 증가함을 알 수 있다.

$$Re\{s'_{Total}(t)\} = \begin{cases} (N+1)T_C, & \text{if } n = N, \tau = 0 \\ (N+1)(1-\Delta)T_C, & \text{if } n = N, \tau \neq 0 \\ 0, & \text{if } n \neq N, 0 < \tau < T_C \end{cases} \quad (12)$$

여기서 Δ 는 0과 1사이의 실수이다.

식 (10)의 $n'_{Prop.}(t)$ 에 포함되어 있는 첫 번째 항은 기존 사용자 이외의 간섭으로 작용하는 모든 사용자 부호의 한주기를 적분하므로 m 계열 부호 특성에 따라 식 (13)과 같은 결과를 갖는다.

$$\int_{NT_c}^{M-1} \sum_{k=1}^{M-1} c_k(t+nT_C+\tau) dt = (M-1)T_C \quad (13)$$

따라서 $n'_{Conv.}(t)$ 에 포함되어 있는 성분 중 기존 사용자와 다른 사용자 신호간의 상호 상관 값의 합인 식 (7)과 $n'_{Prop.}(t)$ 에 포함된 기존 사용자 부호를 제외한 다른 사용자 부호의 한주기를 적분한 값인 식 (13)은 서로 그 절대값이 같지만 부호가 반대이므로 상호 상쇄 되어 식 (11)에서 정의한 잡음과 간섭 성분인 $n'_{Total}(t)$ 는 식 (14)와 같이 간략화 된다.

$$n'_{Total}(t) = \int_{NT_c} n(t)c_0^*(t) dt + \int_{NT_c} n(t) dt$$

$$= \int_{NT_c} n(t)(c_0^*(t) + 1) dt \quad (14)$$

잡음 성분 $n'_{Total}(t)$ 의 전력을 구하기 위해 식 (14)의 분산 값을 구하면 식 (15)와 같이 계산된다.

$$E\{(Re\{n'_{Total}(t)\})^2\} = Re\left\{E \int_{NT_c} (c(t)+1)n'(t) dt \int_{NT_c} (c^*(\zeta)+1)n'^*(\zeta) d\zeta\right\}$$

$$= Re\left\{\iint_{NT_c} E[n'(t)n'^*(\zeta)]E[c(t)c^*(\zeta)] dt d\zeta\right.$$

$$+ \iint_{NT_c} E[n'(t)n'^*(\zeta)]E[c(t)] dt d\zeta$$

$$+ \iint_{NT_c} E[n'(t)n'^*(\zeta)]E[c^*(\zeta)] dt d\zeta$$

$$\left. + \iint_{NT_c} E[n'(t)n'^*(\zeta)] dt d\zeta\right\}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \left\{ \iint_{NT_c} N_0 \delta(t-\zeta) E\{Re\{c_0(t)c_0^*(\zeta)\}\} dt d\zeta \right. \\
 &\quad + \iint_{NT_c} N_0 \delta(t-\zeta) E\{Re\{c(t)\}\} dt d\zeta \\
 &\quad + \iint_{NT_c} N_0 \delta(t-\zeta) E\{Re\{c^*(\zeta)\}\} dt d\zeta \\
 &\quad \left. + \iint_{NT_c} N_0 \delta(t-\zeta) dt d\zeta \right\} \\
 &= N_0(N+1)T_c. \tag{15}
 \end{aligned}$$

그러므로 제안한 수신기의 출력 SNR인 SNR_{Total} 은 식 (12)과 식 (15)를 이용하여 식 (16)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 SNR_{Total} &= \frac{s'_{Total}(t)^2}{E\{Re\{(n'_{Total}(t))^2\}\}} \\
 &= \frac{(N+1)E_b}{NN_0}, \text{ if } n = N, \tau = 0 \tag{16}
 \end{aligned}$$

식 (16)은 시간 전이된 m 계열 부호를 이용한 다중 사용자 신호를 기존 수신기와 제안한 직교화 수신기에 각각 통과 시켜 신호 성분의 특성을 비교할 때, 제안한 수신기 출력에서 기존 사용자의 신호 성분은 기존 수신기의 출력 신호 성분에 비해 T_c 만큼 증가하여 신호점의 거리가 멀어지는 특성을 가지고 기존 수신기에 잔존하는 상호 상관 값도 제거되어 송신에 사용된 부호의 직교 특성과 무관하게 직교 부호를 수신한 것과 같은 효과를 가짐을 알 수 있다. 따라서 제안한 수신기의 출력 SNR은 사용자 수의 증가에 따라 커지는 누직 상관 값과 무관하게 E_b/N_0 와 처리 이득의 함수가 되어 E_b/N_0 와 처리 이득이 클수록 출력 SNR은 비례적으로 커지게 된다.

III. 성능 비교 및 결과

1. 출력 SNR 성능 비교

다중 사용자들이 존재하는 경우, 기존 수신기와 제안한 직교화 수신기의 상대적인 성능비인 출력 SNR 성능비 SNR_{Ratio} 는 식 (9)와 식 (16)을 이용하여 식 (17)과 같이 계산된다. 이 성능비는 1일 때 기존 수신기와 직교화 수신기의 성능이 같고, 1이상이 되었을

을 경우 제안한 직교화 수신기의 성능이 기존 수신기의 성능보다 상대적으로 개선됨을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 SNR_{Ratio} &= \frac{SNR_{Total}}{SNR_{Conv.}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2N} \\
 &\quad + \frac{(N+1)(M-1)^2}{N^3} \cdot \frac{E_b}{N_0} \tag{17}
 \end{aligned}$$

식 (17)에서 단일 사용자만 존재할 때를 고려해 보면, 기존 수신기와 제안한 수신기의 출력 SNR 성능비를 계산했을 때 식 (17)에서 $M=1$ 인 경우가 되어 식 (18)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{SNR_{Total}}{SNR_{Conv.}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2N} \tag{18}$$

그러므로 단일 사용자만을 고려할 경우, 제안한 수신기는 식 (13)과 같이 신호점간의 거리가 1 만큼 벌어져 신호점 구분이 용이하게 되는 장점이 있으나, 식 (14)에서 잡음 성분은 새로 추가된 경로를 통해 인입되는 만큼 증가하게 되어 결과적으로 증가된 잡음을 상쇄시킬 성분이 없기 때문에 기존 수신기보다 성능이 떨어진다. 즉, 식 (18)에 주어진 것과 같이 기존 사용자 신호만이 존재할 경우에는 부호의 주기 (처리 이득)가 $N=1$ 인 경우에 한하여 기존 수신기와 제안한 직교화 수신기가 동일한 성능을 보이고 N 이 커질수록 기존 수신기에 비해 출력 SNR 성능은 떨어짐을 의미한다. 그러나 다중 사용자가 존재하는 경우, 제안한 직교화 수신기의 성능은 식 (17)에 나타나 있는 것과 같이 단일 사용자만 존재하는 경우의 성능비를 나타낸 식 (18)에 비해 세 번째 항만큼의 성능 개선 효과를 기대할 수 있고, 이것은 두 번째 항과 세 번째 항의 합이 $1/2$ 이상이 되었을 때 기존 수신기보다 직교화 수신기의 성능이 개선됨을 의미한다. 따라서 성능을 개선하기 위해서는 처리 이득 뿐 만이 아니라 사용자 수와 송신 신호 전력 대 AWGN 전력비가 주요 변수로 고려되어야 한다.

식 (17)를 이용하여 사용자 수 대 처리이득간의 비율 R 을 제안한 수신기와 기존 수신기의 성능 관계를 나타내는 출력 SNR 비인 SNR_{Ratio} , 처리 이득, 그리고 채널의 E_b/N_0 로 표현하면 식 (19)와 같다.

$$\begin{aligned}
 R = \frac{M}{N} &= \frac{1}{N} + \sqrt{\frac{(2SNR_{Ratio}-1)N-1}{2(N+1)} \frac{N_0}{E_b}} \\
 &\quad , M \geq 1, SNR_{Ratio} > 0.5 \tag{19}
 \end{aligned}$$

식 (19)에서 R 은 제안한 수신기에서 성능 개선 이득으로 작용하는 다중 사용자 신호들과 기준 사용자 신호간의 상호 상관 값이 병렬로 추가된 신호 경로를 통해 유입되어 수신기 성능 손실 성분으로 작용하는 AWGN 값과 서로 상쇄되는 정도를 의미한다. 따라서 이 식을 이용하면 제안한 수신기의 구조를 유효하게 응용하기 위한 변수인 사용자 수를 계산할 수 있다.

2. 수치 계산 결과

본 절에서는 제안한 직교화 수신기의 특성을 파악하고 기존 수신기와 제안한 직교화 과정을 가지는 수신기의 성능을 평가하기 위해서 수치 계산을 통해 출력 SNR을 구하고 이를 이용하여 두 수신기들의 출력 SNR 성능의 상대적 비를 이용하여 고찰한다. 제안한 직교화 과정을 가지는 수신기는 간섭으로 작용하는 상호 상관 값을 제거하고 신호 성분 값을 증가시키는 반면, 추가로 인입되는 AWGN에 의한 영향을 무시할 수 없기 때문에 AWGN으로 인한 성능의 저하 요인과 상호 상관 값의 제거를 통한 상대적 성능 개선 정도를 비교하기 위해 이 성능 평가 방법을 이용하는 것이다. 1절에서 논술했듯이, 기존 수신기와 비교할 때 제안한 수신기가 우수한 성능을 갖기 위해서는 제거되는 상호 상관 값의 제거 정도와 증가된 신호 성분 값으로 인해 얻는 성능 이득 값이 추가로 인입되는 잡음인 성분 AWGN 값으로 인한 손실보다 커야한다. 따라서 채널의 상태에 따른 E_b/N_0 의 변화 그리고 처리이득의 변화에 따라 출력 SNR의 개선 정도가 다르고, 사용자 수에 따라 간섭으로 작용하는 누적 상호 상관 값이 다르므로 이러한 변수들의 관계를 고찰함으로써 제안한 수신기의 특성을 파악할 수 있다.

그림 2와 그림 3은 각각 처리 이득을 64와 128로 고정하고, 사용자 수 및 E_b/N_0 값을 변경하면서 수신기 출력의 신호 대 잡음비를 dB 값으로 나타낸 것이다. 제안한 직교화 수신기의 출력 SNR인 식 (16)은 dB 척도(scale)에서 보면 E_b/N_0 와 처리이득 (PG)이 증가할수록 선형적으로 출력 SNR 성능이 향상되고, 기존 수신기의 출력 SNR인 식 (9)는 낮은 E_b/N_0 에서는 AWGN이 수신기 성능에 영향을 많이 주다가 E_b/N_0 가 커질수록 사용자간 간섭 신호가 성능을 지배하게 되어 출력 SNR이 포화 상태에 이르게 된다. 따라서 사용자 간섭 신호인 상호 상관 값이 적고 AWGN 영향이 큰 구간에서는 기

존 수신기의 성능이 좋지만, 상호 상관 값이 증가하거나 E_b/N_0 가 커져 수신기 성능에 간섭 신호의 영향이 AWGN보다 클 경우에는 제안한 직교화 수신기에서 이 간섭 신호 성분들을 제거하므로 우수한 성능을 나타낸다. 즉, 제안한 수신기 구조는 사용자간 간섭 성분으로 성능에 영향을 주는 상호 상관 값이 큰 경우에 성능 개선이 두드러짐을 보인다. 그리고 E_b/N_0 값이 큰 경우에는 직교화 경로를 통과하여 추가로 인입되는 AWGN 량이 상호 상관 값에 비해 상대적으로 적어지게 되므로, 제거되는 상호 상관 값이 적어지더라도 성능 개선 효과는 커지게 된다는 것을 의미한다.

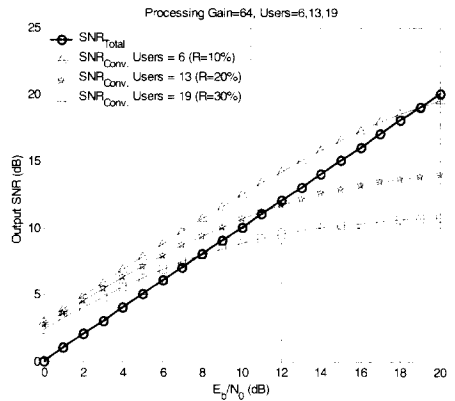


그림 2. 처리이득(PG)이 64일 때 지정된 사용자 수와 E_b/N_0 에 따른 출력 SNR 변화

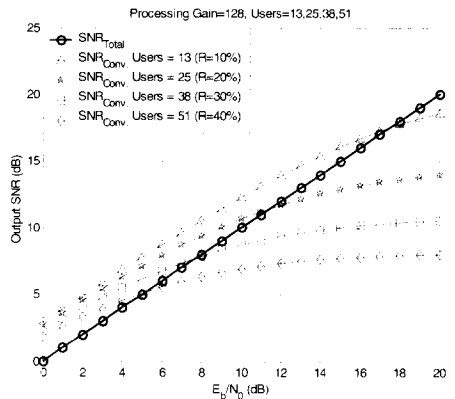


그림 3. 처리이득(PG)이 128일 때 지정된 사용자 수와 E_b/N_0 에 따른 출력 SNR 변화

그림 4는 처리이득(PG)이 128일 때 E_b/N_0 와 사용자 수의 변화에 따른 기존 수신기와 제안한 수신기의 성능을 나타내는 출력 SNR의 상대적 비율인 SNR_{Ratio} 를 나타낸다. 그림에서 사용자 수가 증가할

수록 그리고 E_b/N_0 가 클수록 제안한 수신기의 성능이 기존 수신기에 비해 급격하게 개선됨을 알 수 있다. 즉, 그림 2와 3에서 보였듯이 기존 수신기의 경우, 동일한 E_b/N_0 에서 사용자 수가 증가하면 사용자간 상호 간섭 성분인 상호 상관 값의 누적으로 인하여 계속적으로 성능이 저하되고, 사용자 수가 일정할 경우 E_b/N_0 를 증가시키면 기존 수신기는 완만한 증가를 보이다가 상호 상관 값으로 인한 간섭 성분 영향이 AWGN 영향보다 커질 경우 성능이 포화된다. 그러나 기존 수신기의 성능이 저하되거나 포화가 일어남에도 불구하고, 제안한 수신기는 직교화 과정을 통하여 기존 수신기에 간섭 성분으로 작용하여 출력 SNR을 감소시키는 상호 상관 값을 제거하기 때문에 기존 수신기에 비해 상대적으로 성능이 개선된다.

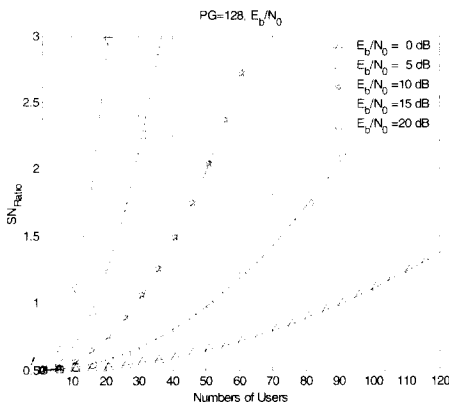


그림 4. 처리이득(PG)이 128일 때 E_b/N_0 와 사용자 수의 변화에 따른 수신기 출력 SNR 성능비 SN_{Ratio}

IV. 결론

본 논문에서는 불완전한 직교 특성을 갖는 시간 전이 m 계열 부호를 이용하여 수신기의 직교화 과정을 통해 수신된 부호가 직교 부호 특성을 갖는 부호를 수신한 것과 같이 처리되는 수신기 구조를 제안하였고, 수신기의 특성과 성능을 분석하였다. 시간 전이 m 계열 신호를 사용한 경우, 제안한 수신기 구조는 상호 상관 값을 상쇄 제거 시키고 신호 성분 값을 증가시켜 송신 신호의 직교 특성과 상관없이 수신 측에서 직교 PN 부호 수신 특성을 갖도록 한다. 그리고 이 특성을 이용하여 다중 사용자 모델을 적용된 경우, 제안한 수신기의 직교화 과정을 통해 수신된 기존 사용자와 다른 사용자가 사용하는 PN 부호가 상관기를 통과한 후 잔존하는

기존 사용자 간섭 신호 성분인 상호 상관 값이 제거됨을 보였다.

제안한 수신기와 일반적으로 사용되는 수신기와 출력 SNR 성능을 비교할 때, 낮은 E_b/N_0 와 사용자 수가 적은 경우에는 추가된 신호 경로를 통해 더해지는 잡음의 영향을 무시할 수 없으나, 사용자 수가 증가하여 기존 수신기의 성능이 포화되는 경우에 제안한 수신기는 사용자간 간섭 성분을 제거하므로 기존 수신기보다 성능이 개선된다. 즉, 기존 수신기는 사용자 수가 많아질수록 사용자간 간섭으로 작용하는 상호 상관 값의 누적 값이 커지게 되어 성능이 떨어지게 되고, E_b/N_0 가 증가할 경우에는 성능이 개선되다가 간섭 성분이 AWGN 성분보다 성능에 크게 영향을 주는 경우에는 포화상태에 이르게 된다. 그러나 제안한 수신기는 직교화 과정을 통하여 간섭으로 작용하는 상호 상관 값을 제거하기 때문에 성능 감소 요인으로 작용하는 AWGN 영향을 상쇄하고 기존 수신기에 비해 상대적으로 성능이 개선되는 것이다.

따라서 제안한 수신기 구조는 이러한 특성을 이용하여 사용자간 간섭신호를 제거하는 직교화 과정을 수행할 수 있도록 새로운 신호 통과 경로를 기존 수신기 구조에 병렬로 추가한 것이므로 사용자가 일정 수 이상으로 증가할 경우 제안한 수신기 구조를 사용하여 시스템의 성능을 개선하고 용량을 증가시키는데 적용될 수 있다. 또한, 잡음의 영향보다 부호의 직교 특성이 요구되는 채널 임펄스 응답 측정 응용에도 효과적으로 응용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] R. L. Peterson, R. E. Ziemer, and D. E. Borth, Introduction to Spread Spectrum Communications, Revised ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995.
- [2] J. S. Lee and L. E. Miller, CDMA System Engineering Handbook, Artech House, Boston, 1998.
- [3] R. E. Ziemer and R. L. Peterson, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Macmillan, 1985.
- [4] S. W. Golomb, Shift Register Sequences, McGraw-Hill, New York, 1967.

ences, Holden-Day, 1967.

[5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2001.

현 광 민(Kwang-Min Hyun) 정회원



1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학 (공학사)
1995년 2월 : 한양대학교 전자통신공학 (공학석사)
1998년 3월~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

1989년 1월~1994년 6월 : 대우통신
1995년 1월~1996년 6월 : (사)고등기술연구원
1997년 6월~2001년 10월 : (주)케이엠더블유
2002년 3월~현재 : 동아방송대학 겸임교수

<주관심분야> 디지털통신, 이동통신, SDR

윤 동 원(Dong-Weon Yoon) 정회원



1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학 (공학사)
1992년 2월 : 한양대학교 전자통신공학 (공학석사)
1995년 2월 : 한양대학교 전자통신공학 (공학박사)

1995년~1997년 : 동서대학교 정보통신공학과 전임강사
1997년~1997년 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
2001년~2002년 : 펜실베니아주립대 방문교수
1997년~현재 : 대전대학교 정보통신인터넷공학부 부교수

<주관심분야> 디지털통신, 확산대역통신, 무선 통신, 무선 멀티미디어

박 상 규(Sang-Kyu Park) 정회원



1974년 2월 : 서울대학교 전기공학 (공학사)
1980년 5월 : Duke Univ. 통신공학 (공학석사)
1987년 5월 : Univ. of Michigan 통신공학(공학박사)
1976년 7월~1978년 10월 :

국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월 : Univ. of Southern California 객원교수
1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 교수

<주관심분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호 이론, PCS, IMT-2000