

다매체 직접수열 대역확산 다중접속 시스템에 관한 연구

정회원 김 홍 직*, 종신회원 김 상 우**

Analysis of Multi-Media DS/CDMA System

Hong Jik Kim*, Sang Wu Kim** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는 다매체(Multi-Media)를 지원하는 변환 확산 이득을 가지는 직접수열 다중접속 시스템 (Variable Processing Gain DS/CDMA System)에 대해 생각한다. 서로 다른 전송율과 서로 다른 전송 전력을 가지는 두 가지 유형의 정보원이 같은 채널로 전송된다고 가정한다. 각 유형의 정보원에 대한 상관 수신기에서의 평균 신호 대 잡음비를 확산 부호간의 부분 상관함수들의 함수로 유도하였다. 매체 간의 전송율의 차이가 클수록 랜덤 확산부호를 가정에 의한 평균 신호 대 잡음비가 실제값과 큰 차이(최대 1dB 이상)를 나타냄을 확인하였다. 본 연구의 결과는 다매체 직접수열 대역확산 다중접속 시스템 설계에 필요한 분석적인 도구로 이용될 수 있다.

ABSTRACT

A multi-media variable processing gain DS/CDMA system are considered. Two types of information sources with different rates and transmitting powers are assumed to be stransmitted simultaneously in the same channel. Average signal-to-noise ratios at the correlation receiver outputs for each type of information sources are analytically derived as funtions of partial cross-correlations between spreading code sequences. As the difference of information rates between information sources increases, the difference between signal-to-noise ratio regarding random spreading code and that regarding pseudo random spreading code increases (maximum 1.3dB). The result can provide a analytical tools for use in multi-media DS/CDMA system design.

I. 서 론

고정된 chip 전송율과 변환 처리 이득을 가지는 직접수열 다중접속 시스템이 다매체 무선 통신 시스템에 적용될 것으로 고려되고 있다^[1]. chip 전송율을 고정시키는 것은 수신기의 RF 단과 부호 동기화를 간단히 한다. 그러나, chip 전송율의 고정으로 인해, 비트 전송율의 변화에 따라 처리 이득이 바뀌게 된다. 그러므로, 이러한 처리 이득의 차이를 극복하고 전송 품질을 유지하기 위해 정보원마다 다른 전송 전력이 요구된다. 이러한 시스템의 전송전력 제어와 시스템 용량에 대한 많은 연구가 진행되

었다^[2-5]. 그러나, 이러한 연구의 대부분은 상관 수신기에서의 신호 대 잡음비(SNR)의 랜덤 확산부호 가정에 의한 근사식^[6]에 기초하고 있다. 그러나, 실제 확산 부호는 랜덤부호가 아닌 의사 랜덤(pseudo random) 부호이므로, 근사식에 의한 시스템 성능 평가에 오차가 나타나게 된다. 특히, 다매체 대역확산 다중접속 시스템에서는 정보원 유형에 따라 확산이득이 상당히 낮게 되므로 근사식에 의한 오차는 크게 나타나게 된다. 한가지 유형의 정보원만 존재하는 비동기 직접수열 대역확산 시스템의 경우, 평균 신호 대 잡음비의 수식이 확산 부호간의 상호 상관도의 함수로 유도되었다^[6-8]. 그러나, 두

* 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 (hjkim@bada.kaist.ac.kr)

** 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 (swkim@san.kaist.ac.kr)

논문번호: 99006-0106 접수일자: 1999년 1월 6일

가지 유형 이상의 정보원이 존재하는 비동기 직접수열 대역확산 시스템의 성능, 즉 신호 대 잡음비에 대한 정확한 분석은 아직 되어 있지 않다.

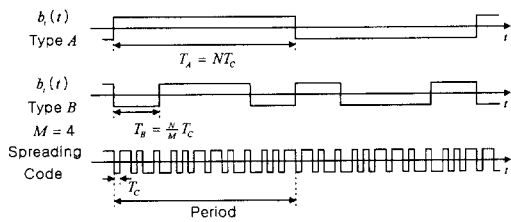


그림 1. 두가지 유형의 정보원과 확산부호의 특징

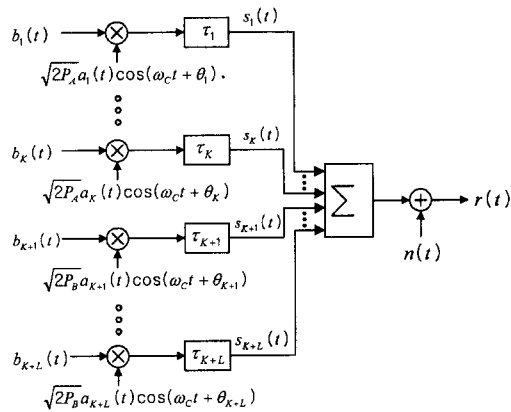


그림 2. 다매체 비동기 직접수열 대역확산 시스템 모델

이 논문에서는 변화하는 처리 이득을 가지는 비동기 직접수열 대역확산 시스템의 평균 신호 대 잡음비를 확산 부호간의 상호 상관도의 함수로 유도한다. 자기 다른 비트 전송율과 다른 송신 전력을 가지는 두 가지 유형의 정보원이 존재하는 비동기 직접수열 대역확산 시스템을 고려한다. 2절에서는 비동기 직접수열 대역확산 시스템의 모형을 보이고, 4절에서는 두 가지 유형의 정보원 각각의 평균 신호 대 잡음비를 유도하며, 5절에서는 실제 몇 가지 특정 확산 부호를 적용시킨 경우의 성능을 조사한다.

II. 비동기 직접수열 대역확산 시스템 모형

이 논문에서 고려하고 있는 비동기 직접수열 대역확산 시스템은 그림1과 같다. 그림2는 두 가지 유형의 정보원의 특성을 보여준다. 'A' 유형과 'B' 유형 사용자의 수는 각각 K 명과 L 명으로 한다.

$\{b_{i,\ell}\}$ 을 $\{+1, -1\}$ 로 구성된 i 번째 사용자의 데이터 수열이라고 하면, 데이터 신호 $b_i(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_i(t) = \begin{cases} \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} b_{i,\ell} P_{T_A}(t - \ell T_A), & 1 \leq i \leq K \\ \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} b_{i,\ell} P_{T_B}(t - \ell T_B), & K+1 \leq i \leq K+L \end{cases} \quad (1)$$

여기서, $P_T(t)$ 는 $0 \leq t \leq T$ 에서 $P_T(t) = 1$ 이고 그 외의 구간에서는 $P_T(t) = 0$ 이다. 비트 지속시간 T_A 는 T_B 의 정수배로 가정한다. 그러면, $M = T_A/T_B$ 개의 유형 'B'의 정보 비트가 유형 'A'의 한 비트 동안 전송된다.

i 번째 사용자에게 할당된 확산 부호는 다음과 같이 표현된다.

$$a_i(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j^{(i)}(t - jT_c) \quad (2)$$

여기서, $\{a_j^{(i)}\}$ 은 $\{+1, -1\}$ 로 구성된 확산 부호 수열이고 T_c 는 chip 지속시간이다. 여기서 모든 확산 부호 수열은 그림 2에서와 같이 $N = T_A/T_c = MT_B/T_c$ 의 주기를 갖는 것으로 가정한다. 유형 'A'의 정보원의 경우는 처리이득이 N 이고 유형 'B'의 경우는 처리이득이 N/M 임에 유의한다.

데이터 신호 $b_i(t)$ 는 확산되고 다음과 같은 위상 부호화된 반송파 $c_i(t)$ 에 의해 변조된다.

$$c_i(t) = \begin{cases} \sqrt{2P_A} a_i(t) \cos(\omega_c t + \theta_i), & 1 \leq i \leq K \\ \sqrt{2P_B} a_i(t) \cos(\omega_c t + \theta_i), & K+1 \leq i \leq K+L \end{cases} \quad (3)$$

여기서 θ_i 는 i 번째 반송파의 위상이고 ω_c 는 공통 반송 주파수이며, P_A 와 P_B 는 각 유형의 전송 전력을 나타낸다. 송신기는 일반적으로 시간 동기화가 되지 않으므로, 이 논문에서는 비동기라고 가정한다. 비동기 시스템의 경우, 그림 1에서의 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^K \sqrt{2P_A} a_i(t - \tau_i) b_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) + \sum_{i=K+1}^{K+L} \sqrt{2P_B} a_i(t - \tau_i) b_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) + n(t) \quad (4)$$

여기서 $\phi_i = \theta_i - \omega_c \tau_i$, 이며, $n(t)$ 는 $N_0/2$ 의 양방향

주파수 밀도를 가지는 가산성 백색 잡음이다.

III. 부분 상호 상관 함수의 정의

상관 수신기 출력의 신호 대 잡음비를 구하기 위해서는 두 가지의 연속 부분 상관함수와 두 가지의 이산 부분 상관함수를 정의해야 한다^[6]. 두 사용자 의 확산 신호 $a_k(t)$ 와 $a_i(t)$ 사이의 연속 부분 상관 함수가 정의된다. 그림3에서와 같이, 확산 신호의 한 주기 NT_c 는 G 개의 부분으로 나뉜다. G 는 k 번째 사용자와 i 번째 사용자의 유형에 의해 결정이 된다. 두 사용자가 모두 유형 'A'인 경우 $G=1$ 이며, 두 사용자 중 한 사용자라도 유형 'B'인 경우는 $G=M=T_A/T_B$ 이다. 그림 3에서와 같이 k 번째 사용자와 i 번째 사용자 사이의 지연 차이 $\tau=|\tau_k-\tau_i|$ ($0 \leq \tau \leq NT_c$)가 $(m-1)\frac{N}{G}T_c \leq \tau < m\frac{N}{G}T_c$ ($m \in \{1,2,3,\dots,G\}$) 범위에 들어가는 경우, 연속 부분 상관함수 $R_{k,i}(\tau, n)$ 과 $\widehat{R}_{k,i}(\tau, n)$ 는 다음과 같이 정의된다. $-m \leq n \leq G-m-1$ 인 경우는

$$R_{k,i}(\tau, n) = \int_{(m+n)\frac{N}{G}T_c}^{\tau+(n+1)\frac{N}{G}T_c} a_k(t-\tau)a_i(t) dt \quad (5)$$

$-m+1 \leq n \leq G-m$ 인 경우는

$$\widehat{R}_{k,i}(\tau, n) = \int_{\tau+n\frac{N}{G}T_c}^{(m+n)\frac{N}{G}T_c} a_k(t-\tau)a_i(t) dt \quad (6)$$

다음으로, 두 사용자의 확산 수열 $\{a_j^{(k)}\}$ 과 $\{a_j^{(i)}\}$ 간의 이산 부분 상관함수를 정의한다. 연속 부분 상관함수에서와 마찬가지로 확산 수열의 한 주기 N 은 G 부분으로 나뉘게 된다. $\tau = \ell T_c$ 라고 하고 ℓ 이 $(m-1)\frac{N}{G} \leq \ell < m\frac{N}{G}$ (여기서, $\ell \in \{0,1,2, \dots, N-1\}$ 이고 $m \in \{1,2,3, \dots, G\}$ 이다) 범위에 있다면, 이산 부분 상관함수 $C_{k,i}(\ell, \eta, n)$ 과 $\widehat{C}_{k,i}(\ell, \eta, n)$ ($\eta \in \{0,1\}$) 은 다음과 같이 정의된다. $-m \leq n \leq G-m-1$ 인 경우는

$$C_{k,i}(\ell, \eta, n) = \sum_{j=(m+n)\frac{N}{G}}^{\ell+\eta+(n+1)\frac{N}{G}-1} a_{j-\ell-\eta}^{(k)} a_j^{(i)} \quad (7)$$

$-m+1 \leq n \leq G-m$ 인 경우는

$$\widehat{C}_{k,i}(\ell, \eta, n) = \sum_{\ell+\eta+n\frac{N}{G}-1}^{j=(m+n)\frac{N}{G}-1} a_{j-\ell-\eta}^{(k)} a_j^{(i)} \quad (8)$$

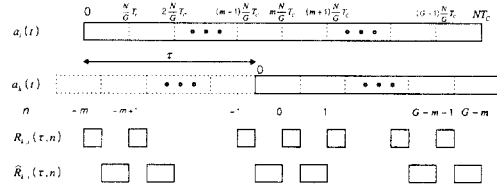


그림 3. 연속 부분 상관함수의 정의

$\ell T_c \leq \tau < (\ell+1)T_c$ 인 경우, 연속 부분 상관 함수는 다음과 같이 이산 부분상관함수들의 함수로 표현될 수 있다.

$$R_{k,i}(\tau, n) = C_{k,i}(\ell, 0, n)T_c + (C_{k,i}(\ell, 1, n) - C_{k,i}(\ell, 0, n))(\tau - \ell T_c) \quad (9)$$

$$\widehat{R}_{k,i}(\tau, n) = \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, n)T_c + (\widehat{C}_{k,i}(\ell, 1, n) - \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, n))(\tau - \ell T_c) \quad (10)$$

(9)와 (10)을 이용해서, 연속 상관함수의 계산 시간을 현저하게 줄일 수 있다. $G = 1$ 인 경우, 식 (5), (6), (9), (10)은 [6]과 일치한다.

IV. 평균 신호 대 잡음비

두 가지 유형의 정보원에 대한 평균 신호 대 잡음비를 이산 부분 상관 함수들의 함수로 유도한다. 잡음과 위상 변이, 시간 지연, 데이터는 상호 독립인 랜덤 변수로 가정한다. 신호 대 잡음비는 이러한 랜덤 변수들에 대한 확률적 평균을 통해 구해진다. 동기 상관 수신기이고 상대적 위상 변위를 모듈로 2π 로 생각하고 상대적 시간 지연은 모듈로 NT_c 로 생각하므로 i 번째 사용자에 대해서, $\theta_i=0$, $\tau_i=0$ 로 가정하고, $0 \leq \tau_k < NT_c$, $0 \leq \theta_k < 2\pi$ ($k \neq i$)인 경우만 생각해도 일반성에 문제가 없다. 수신 신호 $r(t)$ 가 $a_i(t) \cos \omega_c t$ 에 맞춘 상관 수신기를 통한 출력, Z_i 는 다음과 같이 된다.

$$Z_i = \begin{cases} \int_0^{T_A} r(t)a_i(t) \cos \omega_c t dt, & 1 \leq i \leq K \\ \int_0^{T_B} r(t)a_i(t) \cos \omega_c t dt, & K+1 \leq i \leq K+L \end{cases} \quad (11)$$

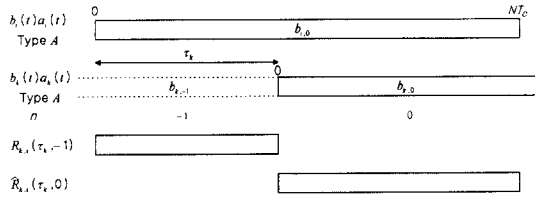


그림 4. 유형 'A'의 다른 사용자로부터 유형 'A'의 i번째 사용자로 오는 다중 사용자 간섭

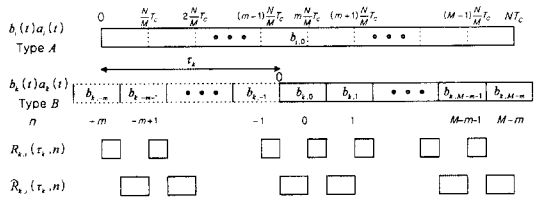


그림 5. 유형 'B'의 사용자로부터 유형 'A'의 i번째 사용자로 오는 다중 사용자 간섭

$x(t)\cos\omega_c t$ 의 두배 주파수 성분을 무시하기 위해 $\omega_c \gg T_A^{-1}$, $\omega_c \gg T_B^{-1}$ 라고 가정한다. 또한, $b_{i,0}=+1$ 인 경우만 생각한다.

유형 'A'의 i 번째 사용자($0 \leq i \leq K$)의 상관 수신기 출력 Z_i 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$Z_i = \sqrt{\frac{P_A}{2}} T_A + I_{AA}^{(i)} + I_{BA}^{(i)} + \int_0^{T_A} n(t)a_i(t)\cos\omega_c t dt \quad (12)$$

여기서 $I_{AA}^{(i)}$ 는 유형 'A'의 다른 사용자로부터의 다중사용자 간섭이고, $I_{BA}^{(i)}$ 는 유형 'B' 사용자로부터의 다중사용자 간섭을 나타낸다. 그림 4에서와 같이, $I_{AA}^{(i)}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$I_{AA}^{(i)} = \sqrt{\frac{P_A}{2}} \sum_{k=i}^K [b_{k,-1}R_{k,i}(\tau_k, -1) + b_{k,0}\widehat{R}_{k,i}(\tau_k, 0)]\cos\phi_k \quad (13)$$

여기서, $\phi_k = \theta_k - \omega_c \tau_k$ 이다. 이 경우, k 번째 사용자와 i 번째 사용자 모두 유형 'A'이므로 $G=1$ 이 된다. 그림 5에서와 같이, $I_{BA}^{(i)}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$I_{BA}^{(i)} = \sqrt{\frac{P_B}{2}} \sum_{k=i+1}^{K+L} \sum_{n=-m}^{M-m} b_{k,n} [R_{k,i}(\tau_k, n) + \widehat{R}_{k,i}(\tau_k, n)]\cos\phi_k \quad (14)$$

여기서는 간섭원이 유형 'B' 이므로 $G=M$ 이다. 위상 변위 ϕ_k 는 구간 $[0, 2\pi)$ 에서 균등 분포를 가지고, 시간 지연 τ_k ($k \neq i$)는 구간 $[0, NT_c)$ 에서 균등 분포를 가진다고 가정한다. 또한, $k \neq i$ 인 경우 데이터 $b_{k,\ell}$ 은 같은 확률로 +1과 -1을 가진다고 가정한다. 그러면, Z_i 의 원하는 신호, 즉 평균은 $\sqrt{P_A/2} \cdot T_A$ 가 되고, Z_i 의 분산은 식 (12)의 잡음과 간섭신호의 분산의 합이 된다. $I_{AA}^{(i)}$ 의 분산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Var}\{I_{AA}^{(i)}\} &= \frac{P_A}{4NT_c} \sum_{k=i}^K \int_0^{NT_c} [R_{k,i}^2(\tau_k, -1) + \widehat{R}_{k,i}^2(\tau_k, 0)] d\tau_k \\ &= \frac{P_A}{4NT_c} \sum_{k=i}^K \sum_{\ell=0}^{N-1} \int_{\ell T_c}^{(\ell+1)T_c} [R_{k,i}^2(\tau_k, -1) + \widehat{R}_{k,i}^2(\tau_k, 0)] d\tau_k \\ &= \frac{P_A T_c^2}{12N} \sum_{k=i}^K \gamma_{AA}^{(k)(i)} \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 $\gamma_{AA}^{(k)(i)}$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \gamma_{AA}^{(k)(i)} &= \sum_{\ell=0}^{N-1} [C_{k,i}^2(\ell, 0, -1) + C_{k,i}^2(\ell, 1, -1) \\ &+ C_{k,i}(\ell, 0, -1)C_{k,i}(\ell, 1, -1) + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, 0) \\ &+ \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, 0) + \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, 0)\widehat{C}_{k,i}(\ell, 1, 0)] \end{aligned} \quad (16)$$

같은 방법으로, $I_{BA}^{(i)}$ 의 분산과 그에 쓰이는 $\gamma_{BA}^{(k)(i)}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Var}\{I_{BA}^{(i)}\} = \frac{P_B T_c^2}{12N} \sum_{k=i+1}^{K+L} \gamma_{BA}^{(k)(i)} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{BA}^{(k)(i)} &= \sum_{\ell=0}^{N-1} \sum_{n=-m}^{M-m} [C_{k,i}^2(\ell, 0, n) + C_{k,i}^2(\ell, 1, n) \\ &+ C_{k,i}(\ell, 0, n)C_{k,i}(\ell, 1, n) + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, n) \\ &+ \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, n) + \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, n)\widehat{C}_{k,i}(\ell, 1, n) \\ &+ 2C_{k,i}^2(\ell, 0, n)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, n) \\ &+ C_{k,i}^2(\ell, 0, n)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, n) \\ &+ C_{k,i}^2(\ell, 1, n)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, n) \\ &+ 2C_{k,i}^2(\ell, 1, n)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, n)] \end{aligned} \quad (18)$$

(15)와 (17)을 사용해서, 유형 'A'의 i 번째 사용자

($1 \leq i \leq K$)의 평균 신호 대 잡음비는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} SNR_i^{(A)} &= \frac{E\{Z_i\}}{\sqrt{Var\{Z_i\}}} \\ &= \left\{ \frac{P_A}{6N^3P_A} \sum_{k=1}^K \gamma_{AA}^{(k)(i)} + \frac{P_B}{6N^3P_A} \sum_{k=K+1}^{K+L} \gamma_{BA}^{(k)(i)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{N_0}{2E_b^{(A)}} \right\}^{-1/2} \end{aligned} \quad (19)$$

여기서, $E_b^{(A)} = P_A T_A$ 이다. 같은 방법으로, 유형 'B' 사용자에 대한 평균 신호 대 잡음비가 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} SNR_i^{(B)} &= \frac{E\{Z_i\}}{\sqrt{Var\{Z_i\}}} \\ &= \left\{ \frac{P_A M^2}{6N^3P_B} \sum_{k=1}^K \gamma_{AB}^{(k)(i)} + \frac{P_B M^2}{6N^3P_B} \sum_{k=K+1}^{K+L} \gamma_{BB}^{(k)(i)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{N_0}{2E_b^{(B)}} \right\}^{-1/2} \end{aligned} \quad (20)$$

여기서, $E_b^{(B)} = P_B T_B$, $K+1 \leq i \leq K+L$, 이고 $\gamma_{AB}^{(k)(i)}$ 와 $\gamma_{BB}^{(k)(i)}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \gamma_{AB}^{(k)(i)} &= \sum_{\ell=0}^{N-1} [C_{k,i}^2(\ell, 0, -m) + C_{k,i}^2(\ell, 1, -m) \\ &\quad + C_{k,i}(\ell, 0, -m)C_{k,i}(\ell, 1, -m) \\ &\quad + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, -m+1) + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, -m+1) \\ &\quad + \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, -m+1)\widehat{C}_{k,i}(\ell, 1, -m+1)] \\ &\quad + \sum_{\ell=N/M}^{N-1} [2C_{k,i}^2(\ell, 0, -m)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, -m) \\ &\quad + C_{k,i}^2(\ell, 0, -m)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, -m) \\ &\quad + C_{k,i}^2(\ell, 1, -m+1)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, -m+1) \\ &\quad + 2C_{k,i}^2(\ell, 1, -m+1)\widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, -m+1)] \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{BB}^{(k)(i)} &= \sum_{\ell=0}^{N-1} [C_{k,i}^2(\ell, 0, -m) + C_{k,i}^2(\ell, 1, -m) \\ &\quad + C_{k,i}(\ell, 0, -m)C_{k,i}(\ell, 1, -m) \\ &\quad + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 0, -m+1) + \widehat{C}_{k,i}^2(\ell, 1, -m+1) \\ &\quad + \widehat{C}_{k,i}(\ell, 0, -m+1)\widehat{C}_{k,i}(\ell, 1, -m+1)] \end{aligned} \quad (22)$$

(19)와 (20)은 다른 비트 전송율과 전송 전력을 가지는 두 가지의 정보원이 같이 존재하는 비동기 직접수열 대역확산 시스템의 평균 신호 대 잡음비의 정확한 식이다. 이 결과식을 바탕으로 두 가지

이상의 정보원을 가지는 시스템의 경우도 평균 신호 대 잡음비를 구할 수 있다.

확산 신호가 랜덤이라고 가정하면, (19)와 (20)의 평균 신호 대 잡음비의 근사식이 다음과 같이 구해진다.

$$SNR_i^A \approx \left\{ \frac{1}{3NP_A} (P_A \cdot (K-1) + P_B \cdot L) + \frac{N_0}{2E_b^{(A)}} \right\}^{-1/2} \quad (23)$$

$$SNR_i^B \approx \left\{ \frac{M}{3NP_B} (P_A \cdot K + P_B \cdot (L-1)) + \frac{N_0}{2E_b^{(B)}} \right\}^{-1/2} \quad (24)$$

위의 식 (19)와 (23)에서 $P_A = P_B$ 인 경우, [6]의 결과와 일치함을 알 수 있다.

V. 특정 확산 부호에 대한 성능 분석 (20)

여기서는 특정 확산 부호가 쓰였을 때의 시스템 성능, 즉 평균 신호 대 잡음비를 (19)와 (20)을 이용해 구한다. 확산 수열로는 여러 주기의 Gold 부호 (Gold code)와 M 수열 (M sequence)^[9]을 적용한다. Gold 부호와 M 수열의 주기는 일반적으로 $2^r - 1$ 이고 r 은 부호의 생성에 쓰이는 shift register의 memory 개수이다. $r = 5, 6, 7, 9, 10$ 인 경우, Gold 부호가 존재하며, Gold 부호를 만들기 위해 쓰인 생성 다항식(Generator Polynomial)의 계수는 8진수로 표현하여, 각각 (45, 75), (141, 163), (211, 277), (1021, 1333), (2011, 2415) 과 같다. $r = 8$ 인 경우는 Gold 부호가 존재하지 않으나, Gold 부호와 거의 유사한 (717, 765)의 계수로 이루어지는 생성 다항식에 의해 만들어지는 부호를 사용하였다^[9]. M 수열의 경우는 생성 다항식의 계수가 8진수로 표현하여 45, 141, 211, 717, 1021, 2011인 경우의 부호를 사용하였다. 또한, 각 부호 수열의 마지막에 '-1'을 더해 주기를 2^r 으로 만들었으므로 $M = 1, 8, 32, 128$ 에서 N/M 이 정수가 되도록 하였다.

M 이 증가함에 따라, 전송 전력 P_A 와 P_B 는 평균 신호 대 잡음비를 주어진 정도로 유지하기 위해 조정된다. 유형 'A'와 유형 'B'에 대한 요구되는 평균 신호 대 잡음비를 각각 SNR_A^* 와 SNR_B^* 라고 하면, (25)와 (26)의 근사식에 의해 요구되는 chip

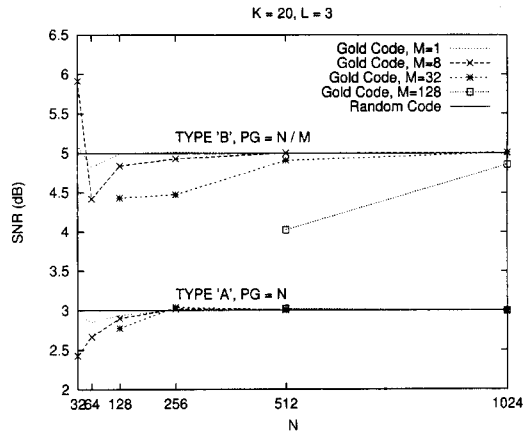


그림 6. Gold 부호를 확산 부호로 사용한 경우, 확산 부호의 주기 N에 따른 신호 대 잡음비의 변화

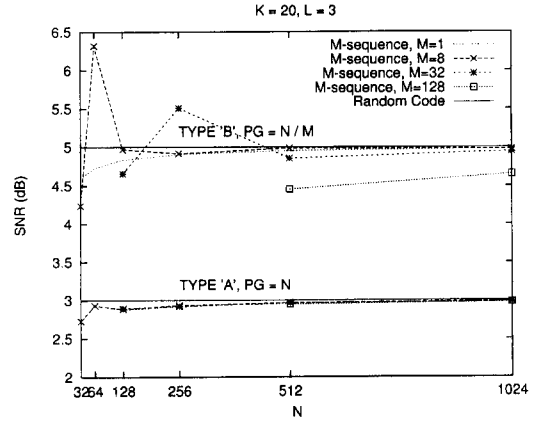


그림 7. M-수열을 확산부호로 사용한 경우, 확산부호의 주기 N에 따른 신호 대 잡음비의 변화

에너지 대 잡음비가 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{E_c^{(A)}}{N_0} = \frac{3/2}{C_A(1-K/C_A-L/C_B)} \quad (25)$$

$$\frac{E_c^{(B)}}{N_0} = \frac{3/2}{C_B(1-K/C_A-L/C_B)} \quad (26)$$

여기서, $E_c^{(A)} = P_A T_c$, $E_c^{(B)} = P_B T_c$, $C_A = 1 + 3N \cdot (SNR_A^*)^{-2}$, $C_B = 1 + 3N \cdot (SNR_B^*)^{-2}$ 이다. 위 두 식에서 다음 조건은 항상 만족되어야 한다.

$$\frac{K}{C_A} + \frac{L}{C_B} \leq 1 \quad (27)$$

식(27)이 만족되지 않으면, 사용자수가 시스템 용량을 넘는 것이다.

요구되는 평균 신호 대 잡음비는 각각

$SNR_A^* = 3(\text{dB})$, $SNR_B^* = 5(\text{dB})$ 로 가정한다.

$K = 20, L = 3$ 인 시스템에서 Gold 부호를 적용시킨 경우와 M 수열을 적용시킨 경우의 평균 신호 대 잡음비는 각각 그림 6, 그림 7과 같다. Gold 부호나 M 수열을 적용했을 때의 평균 신호대 잡음비와 랜덤 코드를 가정했을 때의 평균 신호대 잡음비의 차이를 표 1과 표 2에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이, 유형 'A'와 유형 'B' 모두 확산 이득이 일정 값 이상이 되어야만 랜덤 코드를 가정한 근사식에 가까운 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한, Gold 부호를 적용시켰을 때의 유형 'A'의 경우에서 볼 수 있듯이 두 유형의 전송율의 차이가 클수록, 즉, M이 클수록 근사식과의 차이가 더 큰

표 1. 확산부호로 Gold부호를 사용한 경우와 랜덤부호를 가정한 경우의 오차 (오차 = |랜덤부호를 가정한 경우의 SNR - Gold 부호를 적용한 경우의 SNR|)

확산이득 (N)	유형 'A'의 오차 (dB)				확산이득 (N/M)	유형 'B'의 오차 (dB)			
	M (=T _A /T _B)					M (=T _A /T _B)			
	1	8	32	128		1	8	32	128
4					4	0.911	0.568	0.974	
8					8	0.581	0.527	0.143	
16					16	0.163	0.089		
32	0.065	0.572			32	0.010	0.069	0.011	
64	0.147	0.331			64	0.179	0.002		
128	0.062	0.101	0.225		128	0.007	0.007		
256	0.006	0.017	0.040		256	0.015			
512	0.002	0.011	0.005	0.020	512	0.005			
1024	0.001	0.001	0.005	0.004	1024	0.001			

표 2. 확산부호로 M 수열을 사용한 경우와 랜덤부호를 가정한 경우의 오차 (오차 = |랜덤부호를 가정한 경우의 SNR - M 수열을 적용한 경우의 SNR|)

확산이득 (N)	유형 'A'의 오차 (dB)				확산이득 (N/M)	유형 'B'의 오차 (dB)			
	M (=T _A /T _B)					M (=T _A /T _B)			
	1	8	32	128		1	8	32	128
4					4	0.751	0.344	0.545	
8					8	1.319	0.507	0.346	
16					16	0.030	0.144		
32	0.272	0.273			32	0.401	0.082	0.053	
64	0.068	0.068			64	0.275	0.014		
128	0.128	0.118	0.106		128	0.165	0.025		
256	0.080	0.066	0.081		256	0.091			
512	0.042	0.032	0.033	0.049	512	0.046			
1024	0.022	0.016	0.017	0.023	1024	0.022			

것을 알 수 있다. 이는 Gold 부호의 한 주기에 M 개의 데이터 비트가 곱해지면서, Gold 부호 자체의 특성, 즉, 낮은 상호 상관도를 가지는 성질이 깨지기 때문이다. 다매체 이동통신 시스템에서 높은 전

