

4-위상 신호 방식에 알맞은 직접수열 부호분할 다중접속 서명수열

정회원 박 소 령*, 종신회원 송 익 호**

DS/CDMA Signature Sequences for 4-phase Signaling

So Ryoung Park*, Iickho Song** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는, 상관 (correlation) 성질이 비동기 (asynchronous) 4-위상 신호 방식에 알맞은 다상 (polyphase) 수열 집합을 제안한다. 제안한 수열과 이진 의사잡음 (pseudo-noise: PN) 수열을 서명수열로 (signature sequence) 쓸 때 직접수열 부호분할 다중접속 (direct sequence code division multiple access: DS/CDMA) 시스템의 성능을 견주어 본다. 최대 절대 상관값으로 (maximum magnitude of correlations) 분석한 최악 성능과 모의 실험으로 얻은 평균 비트오류율 성능 모두에서 제안한 수열을 쓰면 이진 의사잡음 수열을 쓸 때보다 시스템 성능이 더 나음을 보인다.

Key Words : DS/CDMA, signature sequence, correlation functions, 4-phase signaling

ABSTRACT

In this paper, we propose a class of polyphase signature sequences, whose general odd correlation properties are useful for 4-phase signaling systems. The performance of the direct sequence code division multiple access (DS/CDMA) systems using the proposed sequences is compared with that using binary pseudo-noise sequences. The performance of the system using the proposed sequence is shown to be better than that using other conventional sequences both from the worst-case analysis and bit error rate simulations.

1. 서 론

직접수열 부호분할 다중접속 (direct sequence code division multiple access: DS/CDMA) 방식은 근본적으로 여러 사람이 같은 시간에 같은 주파수로 같은 대역을 써서 통신하는 방식이므로, 쓰느 이들은 자신의 서명수열만으로(signature sequence) 구분된다. 이 방식에서는 송신쪽에서 쓰느에게서 서명수열을 알맞게 배정하여 확산하고 (spreading) 수신쪽에서 동기를 맞추어 그 수열을 역확산하여 (de-

spreading) 쓰느의 정보를 정확히 찾는 것이 매우 중요한 기술적인 문제이다¹⁻⁴⁾.

한편, 시분할 다중접속이나(time division multiple access: TDMA) 주파수분할 다중접속 (frequency division multiple access: FDMA) 시스템에서는 한 정된 시간이나 주파수를 잘게 쪼개어 쓰느에게 배정하므로 쓰느 수는 각각 주어진 시간이나 주파수에 따라 제한된다. 이와는 달리, 직접수열 부호분할 다중접속 시스템은 쓰느가 늘어나면 성능이 조금씩 떨어진다. 이때, 성능이 떨어지는 정도는 서

* 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 (spark@catholic.ac.kr)

** 한국과학기술원 전자전산학과 (i.song@ieee.org)

논문번호 : KICS2005-04-139, 접수일자 : 2005년 4월 4일

※ 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단 신진교수연구과제지원사업에서 지원받았습니다. (과제번호 : 2003-003-D00277)

명수열의 상관 (correlation) 성질에 따라 달라지므로, 직접수열 부호분할 다중접속 시스템이 수용할 수 있는 쓰는이 수는 그 시스템이 쓰는 서명수열의 상관성질에 크게 좌우된다고 할 수 있다. 그러므로, 쓰는이의 서명수열이 서로 상관관계가 없도록 만들어 간섭 잡음을 효과적으로 줄임으로써, 받아들일 수 있는 쓰는이의 수를 늘여 이동 통신의 수요를 만족시키고 주어진 대역을 효과적으로 쓰도록 하는 것은 무엇보다도 중요한 문제이다⁵⁻⁷⁾.

수열의 상관은 같은 수열끼리의 상관인 자기상관과 (autocorrelation) 서로 다른 수열끼리의 상관인 교차상관으로 (crosscorrelation) 나눌 수 있다. 수열의 시작 동기가 맞을 때만 큰 값이고 (그 값은 일반적으로 수열의 길이에 해당하는 값임) 동기가 맞지 않을 때는 0이면 자기상관이 이상적이라 할 수 있다. 자기상관 성질이 이상에 가까우면 부호 동기를 (code acquisition) 빨리 맞출 수 있고 여러 길로 말미암아 일어나는 간섭을 줄일 수 있다. 한편, 교차상관 성질은 언제나 0이면 가장 좋고, 교차상관 성질이 좋을수록 다중접속으로 말미암아 일어나는 간섭을 (multiple access interference: MAI) 줄이고, 따라서 시스템의 효율을 높여 한 채널을 동시에 더 많은 사람이 쓸 수 있다. 하지만, 이러한 이상적인 상관 성질을 가진 서명수열을 설계하기는 쉽지가 않다.

더욱이, 3, 4세대 이동 통신이나 위성통신의 디지털 변조방식에서는 직각 위상 편이 키잉(quadrature phase shift keying: QPSK), 오프셋 직각 위상 편이 키잉과 (offset QPSK: OQPSK) 같은 4-위상 신호 방식이 (4-phase signaling) 대부분 쓰이고 있으나, 이제까지의 연구에서는 수열의 주기 상관, 곧 짝상관 성질만을 주로 고려하였다. 그러나, 특정 수열을 서명수열로 쓰는 4-위상 신호 방식 비동기 (asynchronous) 직접수열 부호분할 다중접속 계통의 성능을 완전히 분석하려면, 수열의 짝상관 (영짜 상관) 성질뿐만 아니라 홀상관 (둘째 상관) 성질, 나아가 첫째 상관, 셋째 상관 성질까지도 충분히 고려해 주어야 한다. 이는, 4-위상 신호 방식에서 이진 정보 비트 1과 -1이 같은 확률로 나타날 때, 이 네 가지 상관은 통신 계통의 성능분석과 설계에서 그 중요도가 같다고 할 수 있기 때문이다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. I장에서 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서 서명수열의 역할과 4-위상 신호 방식의 특징을 살펴보고, II장에서 4-위상 신호 방식에 알맞은 서명수열을 제안하여 그 상

관 성질을 분석한다. III장에서는 실제 4-위상 신호 방식의 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에 제한한 서명수열을 적용하였을 때의 성능을 모의 실험으로 살펴보고, IV장에서 이 논문을 요약함으로써 글을 맺는다.

II. 서명수열의 생성 방법과 상관 성질

먼저, 길이가 N 이고 값이 1 또는 -1인 이진 의사잡음 (pseudo-noise) 수열 u_n 의 n 제 칩을 u_n 이라 하고, K 와 P 는 자연수, $j = \sqrt{-1}$ 이라 하자. 이때, 길이가 N 이고 n 제 칩 x_n 이

$$x_n = u_n \exp[j\pi nK/P] \quad (1)$$

인 수열 x 를 생각해 보자. 두 자연수 K 와 P 의 최대공약수를 $\langle K, P \rangle$ 라 쓸 때 수열 x 의 위상의 수는 $2P/\langle K, P \rangle$ 이다. 시스템이 M 진 위상 신호방식을 쓴다면, 위 (1)을 써서 이진 의사잡음 수열 u 와 u 로 각각 만든 두 수열 x 와 y 의 일반 홀상관 (general odd correlation) 함수는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_{x,y,\gamma}(\tau) &= C_{x,y}(\tau) + e^{j\pi\tau/2} C_{x,y}(\tau - N) \\ &= e^{-j\pi\frac{\tau K}{P}} \left\{ C_{u,u}(\tau) \right. \\ &\quad \left. + C_{u,u}(\tau - N) e^{j\pi\left(\frac{\tau}{2} + \frac{KN}{P}\right)} \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $\gamma \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ 이고

$$C_{x,y}(\tau) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-\tau-1} x_n y_{n+\tau}^*, & 0 \leq \tau < N \\ \sum_{n=0}^{N+\tau-1} x_{n-\tau} y_n^*, & 1 - N \leq \tau < 0 \end{cases} \quad (3)$$

이다.

이제, KN/P 의 소수 부분을 α 라 하자. 곧, ρ 이 정수이고 $0 \leq \alpha < 1$ 일 때 $KN/P = l + \alpha$ 이다. 그러면, 다음 정리를 얻을 수 있다.

정리 1: KN/P 의 소수 부분 α 가 $\alpha \in \{0, \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}\}$ 이고 $M \geq 4$ 일 때, (1)로 얻은 수열의 일반 홀상관 함수 M 개 $\{\theta_{x,y,\gamma}(\tau)\}_{\gamma=0}^{M-1}$ 가운데에서 적어도 둘은 그 크기가 같다.

증명: 먼저, $a \in \{0, \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}\}$ 이므로, k 가 정수일 때 $KN/P = 2k + \beta$ 로 두면 $\beta = a$ 또는 $a+1$ 이고, $\beta \in \{0, \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}, 1, \frac{5}{4}, \frac{6}{4}, \frac{7}{4}\}$ 이다.

i) $\theta_{u,v,1}(\tau) = \theta_{u,v,3}^*(\tau)$ 이므로, $\beta = 0$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\gamma}{2}}| \\ &= |\theta_{u,v,\gamma}(\tau)| \end{aligned}$$

이므로, $\beta = 1$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) - C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\gamma}{2}}| \\ &= |\theta_{u,v,\text{mod}(\gamma+2,4)}(\tau)| \end{aligned}$$

이다. 그러므로, $a = 0$ 일 때

$$|\theta_{x,y,1}(\tau)| = |\theta_{x,y,3}(\tau)| = |\theta_{x,y,5}(\tau)| = \dots \quad (4)$$

이다. 여기서, $\text{mod}(a, b)$ 는 a 를 b 로 나누었을 때의 나머지를 가리킨다.

ii) a 와 b 가 실수일 때, $a + be^{j\pi/4} = (a + be^{j\pi/4})^*$ 이고 $a + be^{3\pi/4} = (a + be^{5\pi/4})^*$ 이므로, $\beta = 1/4$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\text{mod}(2\gamma+1,8)}{4}}| \end{aligned}$$

이므로, $\beta = 5/4$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\text{mod}(2\gamma+5,8)}{4}}| \end{aligned}$$

이다. 그러므로, $a = 1/4$ 일 때

$$|\theta_{x,y,0}(\tau)| = |\theta_{x,y,3}(\tau)| = |\theta_{x,y,4}(\tau)| \quad (5)$$

$$|\theta_{x,y,1}(\tau)| = |\theta_{x,y,2}(\tau)| = |\theta_{x,y,5}(\tau)| \quad (6)$$

이다.

iii) $\beta = 1/2$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + jC_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\gamma}{2}}| \\ &= |\theta_{u,v,\text{mod}(\gamma+1,4)}(\tau)| \end{aligned}$$

이므로, $\beta = 3/2$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) - jC_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\gamma}{2}}| \\ &= |\theta_{u,v,\text{mod}(\gamma+3,4)}(\tau)| \end{aligned}$$

이므로, $a = 1/2$ 일 때

$$|\theta_{x,y,0}(\tau)| = |\theta_{x,y,2}(\tau)| = |\theta_{x,y,4}(\tau)| = \dots \quad (7)$$

이다.

iv) $\beta = 3/4$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\text{mod}(2\gamma+3,8)}{4}}| \end{aligned}$$

이므로, $\beta = 7/4$ 일 때

$$\begin{aligned} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| &= |C_{u,v}(\tau) + C_{u,v}(\tau-N)e^{j\pi\frac{\text{mod}(2\gamma+7,8)}{4}}| \end{aligned}$$

이므로, $a = 3/4$ 일 때

$$|\theta_{x,y,0}(\tau)| = |\theta_{x,y,1}(\tau)| = |\theta_{x,y,4}(\tau)| \quad (8)$$

$$|\theta_{x,y,2}(\tau)| = |\theta_{x,y,3}(\tau)| = |\theta_{x,y,6}(\tau)| \quad (9)$$

이다.

이제, 위 (1)로 정의한 수열을 정리 1을 바탕으로 ‘등가 일반 홀상관 (equivalent general odd correlations: EGO)’ 수열, 줄여서 ‘등홀’, 수열이라 부르도록 한다. 그림 1은 $M=4$ 이고 a 가 0, 1/4, 1/2, 3/4일 때, 길이가 127인 등홀 수열의 일반 홀상관 함수의 크기를 그린 것이다. 여기서, γ 가 0, 1, 2, 3인 네 가지 일반 홀상관 함수를 각각 영째, 첫째, 둘째, 셋째 상관이라 하였다. 특히, 영째 상관은 짝상관 함수와 같은 것이다. 이 그림들에서 등홀 수열의 상관 성질인 정리 1을 다시 한 번 확인할 수 있다. 곧, $a=0$ 일 때 첫째와 셋째, $a=1/4$ 일 때 영째와 셋째, 첫째와 둘째, $a=1/2$ 일 때 영째와 둘째, 그리고 $a=3/4$ 일 때 영째와 첫째, 둘째와 셋째 홀상관 함수의 크기가 같다.

이제, 일반적으로 등홀 수열의 전체 홀상관 함수의 최대값에 (=최대 홀상관값) 대하여 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

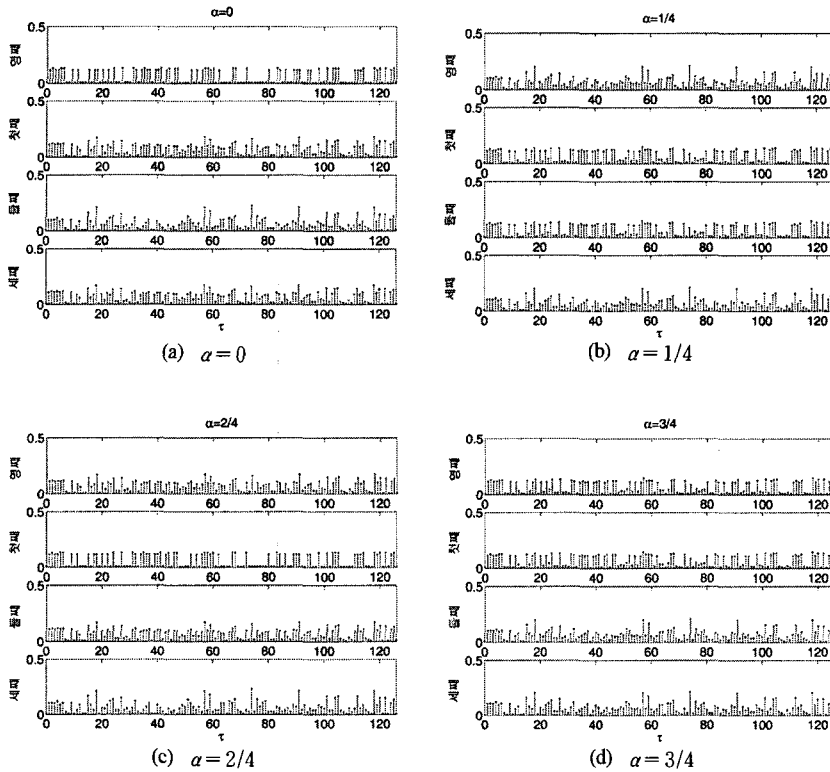


그림 1. $M=4$ 이고 $N=127$ 일 때, 등홀 수열의 홀상관 함수 (크기)
 Fig 1. The magnitudes of the general odd correlation functions of the EGO sequences when $M=4$ and $N=127$

정리 2: 먼저, $\alpha=0$ 또는 $\alpha=1/2$ 일 때 등홀 수열의 최대 홀상관값은 등홀 수열을 만들 때 쓴 이전의 사잡음 수열의 최대 홀상관값과 같다. 곧,

$$\max_{\gamma} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| = \max_{\gamma} |\theta_{u,v,\gamma}(\tau)|. \quad (10)$$

한편, $\alpha=1/4$ 또는 $\alpha=3/4$ 일 때 등홀 수열의 최대 홀상관값은 등홀 수열을 만들 때 쓴 이전의 사잡음 수열의 최대 홀상관값보다 작다. 곧,

$$\max_{\gamma} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| < \max_{\gamma} |\theta_{u,v,\gamma}(\tau)|. \quad (11)$$

증명: 정리 1에서 얻은 식과 다음 두 식에서 정리 2를 바로 얻을 수 있다.

$$\max_{\gamma} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)|^2 \quad (12)$$

$$= \begin{cases} C_{x,y}^2(\tau) + C_{x,y}^2(\tau-N) \\ + 2C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N), \\ \text{for } C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N) > 0, \\ C_{x,y}^2(\tau) + C_{x,y}^2(\tau-N) \\ - 2C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N), \\ \text{for } C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N) < 0, \end{cases}$$

$$\max_{\gamma} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)|^2 \quad (13)$$

$$= \begin{cases} C_{x,y}^2(\tau) + C_{x,y}^2(\tau-N) \\ + \sqrt{2}C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N), \\ \text{for } C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N) > 0, \\ C_{x,y}^2(\tau) + C_{x,y}^2(\tau-N) \\ - \sqrt{2}C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N), \\ \text{for } C_{x,y}(\tau)C_{x,y}(\tau-N) < 0. \end{cases}$$

그림 1에서도 정리 2가 뜻하는 성질을 볼 수 있다. 곧, 그림 1(a)가 $M=4$ 일 때 등홀 수열을 만들 때 쓴 두 이진 의사잡음 수열의 일반 홀상관 함수를 나타낸다고 볼 수 있으며 그 최대값은 0.2283이다. 마찬가지로, 그림 1(c)의 최대값은 0.2283으로 그림 1(a)의 최대값과 같음을 알 수 있다. 그림 1(b)와 (d)의 최대값은 0.2110으로 같으며, 이는 그림 1(a)나 (c)의 최대값보다 작음을 알 수 있다.

III. 제한한 수열의 성능

먼저, 앞에서 증명한 정리 1과 2를 $M=4$ 일 때 등홀 수열에서 적용하면 다음 두 성질을 얻을 수 있다.

성질 1: $\text{mod}(N,4)=1$ 일 때 $|\theta_{x,y,0}(\tau)|=|\theta_{x,y,3}(\tau)|$ 이고 $|\theta_{x,y,1}(\tau)|=|\theta_{x,y,2}(\tau)|$ 이며, $\text{mod}(N,4)=3$ 일 때 $|\theta_{x,y,0}(\tau)|=|\theta_{x,y,1}(\tau)|$ 이고 $|\theta_{x,y,2}(\tau)|=|\theta_{x,y,3}(\tau)|$ 이다. (여기서, 의사잡음 수열의 길이 N 은 홀수이므로 $\text{mod}(N,4)$ 가 짝수인 경우는 고려하지 않아도 된다.)

한편, 골드 수열을 바탕으로 $\alpha=1/4$ 일 때 얻은 수열을 등홀-골드 수열이라 부르면, 성질 1에서 아래를 얻을 수 있다.

성질 2: 등홀-골드 수열의 최대 상관값은 상응하는 골드 수열의 최대 상관값보다 작다. 곧, 골드 수열 \mathcal{u} 와 \mathcal{v} 로 얻은 등홀-골드 수열을 \mathcal{x} 와 \mathcal{y} 라 할 때,

$$\max_{\gamma} |\theta_{x,y,\gamma}(\tau)| < \max_{\gamma} |\theta_{u,v,\gamma}(\tau)| \quad (14)$$

이다.

이제, 여러 가지 수열을 4-위상 신호 방식을 쓰는 직접수열 부호분할 다중접속 시스템의 서명수열로 쓸 때 성능을 전주어보도록 하자. 이진 의사잡음 수열인 골드 (Gold) 수열^[8], 등홀-골드 수열, 그리고 골드 수열을 바탕으로 [9]에서 제한한 등가홀짝-골드 (equivalent odd and even-Gold) 수열을 같은 조건에서 전주어보도록 한다.

3.1 최악 성능

일반적으로 최악 성능은 서명수열의 최대 상관값에 의존한다고 알려져 있다. 성질 2에서 말한 바와 같이, 등홀-골드 수열의 최대 상관값은 골드 수열의

최대 상관값보다 작다. $M=4$ 일 때, 등가홀짝-골드 수열의 최대 상관값은 늘 골드 수열의 최대 상관값과 같다. 곧, 골드 수열 \mathcal{u} 와 \mathcal{v} 로 얻은 등가홀짝-골드 수열을 각각 \mathcal{p} 와 \mathcal{q} 라 할 때,

$$\begin{aligned} \theta_{p,q,0}(\tau) &= \theta_{u,v,1}(\tau), \theta_{p,q,1}(\tau) = \theta_{u,v,2}(\tau), \\ \theta_{p,q,2}(\tau) &= \theta_{u,v,3}(\tau), \theta_{p,q,3}(\tau) = \theta_{u,v,0}(\tau), \end{aligned}$$

이므로

$$\max_{\gamma} |\theta_{p,q,\gamma}(\tau)| = \max_{\gamma} |\theta_{u,v,\gamma}(\tau)| \quad (15)$$

이다. 그러므로, 등홀-골드 수열을 쓴 시스템의 최악 성능이 골드 수열이나 등가홀짝-골드 수열을 쓴 시스템의 최악 성능보다 늘 더 나음을 쉽게 알 수 있다. 실제로, 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 채널에서 최대 비트오류율은 아래와 같다^[10].

$$P_{\max} = 1 - \Phi \left[\left(1 - \frac{\Lambda}{N} \right) \sqrt{\frac{2E}{\eta_0}} \right] \quad (16)$$

여기서, $\Phi(\cdot)$ 는 표준 정규 누적 분포 함수이고, Λ 는 쓰는데가 K 명일 때

$$\Lambda = \max_i \sum_{j=1, j \neq i}^K \max_{\gamma, \tau} |\theta_{x_i, x_j, \gamma}(\tau)| \quad (17)$$

로 정의되는 최대 누적 상관값이고, E 는 신호 에너지, η_0 는 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음의 양측 스펙트럼 밀도이다. 최대 누적 상관값 Λ 는 최대 다중접속 간섭의 양을 나타내는 값인데 그 값이 작을수록 성능이 좋음을 뜻한다.

표 1은 수열의 길이가 127과 511일 때 세 수열의 Λ 값을 얻은 결과이다. 이 표에서 등홀-골드 수열을 쓴 시스템의 최대 비트오류율이 다른 두 수열을 쓴 시스템의 최대 비트오류율보다 낮을 것임을 쉽게 알 수 있다.

표 1. $N=K=127$ 이고 $N=K=511$ 일 때 Λ 의 값
Table 1. The values of Λ when $N=K=127$ and $N=K=511$

수열	길이	
	$N=127$	$N=511$
등홀-골드 (제한)	26.6	61.0
등가홀짝-골드	31.1	70.9
골드	31.1	70.9

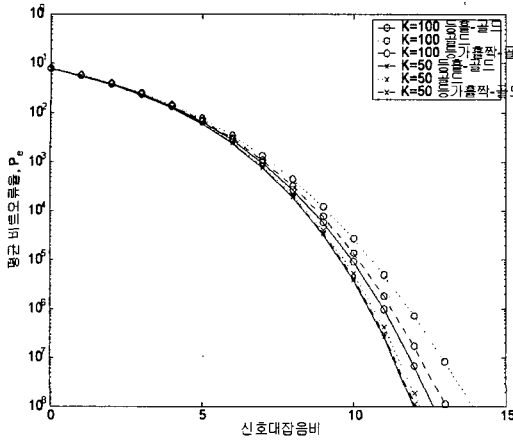


그림 2. $N=127$ 일 때 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음 채널에서의 평균 비트오류율
Fig 2. Bit error probability in AWGN channel when $N=127$

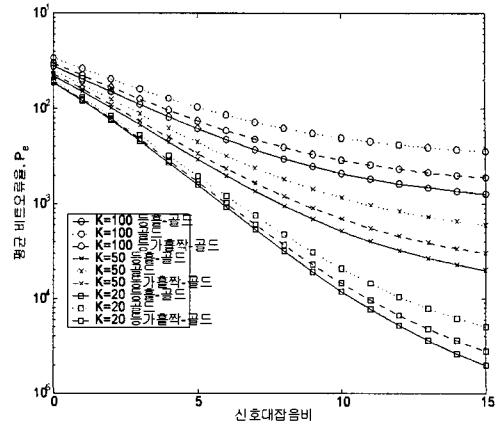


그림 3. $N=127$ 일 때 레일리 감쇄 채널에서의 평균 비트오류율
Fig 3. Bit error probability in Rayleigh multipath fading channel when $N=127$

3.2 평균 비트오류율 성능

그림 2와 3은 각각 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음 채널과 레일리 (Rayleigh) 여러길 감쇄(multipath fading) 채널에서 평균 비트오류율 P_e 를 보여주고 있다. 이 그림의 비트오류율 곡선은 [10]과 [11]의 연구결과를 참조하여 그린 것이다. 좀더 구체적으로 덧붙이자면, 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음 채널에서는

$$P_e = 1 - \Phi \left(\left[\frac{1}{6N^3} \sum_{k=2}^K \rho_{k,1} + \frac{\eta_0}{2E} \right]^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (18)$$

을, 레일리 여러길 감쇄 채널에서는

$$P_e = \sqrt{\frac{\gamma}{1+\gamma}} \frac{(1+\gamma)^{-m} \Gamma(m + \frac{1}{2})}{2\sqrt{\pi} \Gamma(m+1)} \times {}_2F_1 \left(1, m + \frac{1}{2}; m+1; \frac{1}{1+\gamma} \right) \quad (19)$$

를 써서 평균 비트오류율을 얻었다. 식 (18)과 (19)에서, L_p 은 여러길 수, Ω_0 는 초기 길 세기, L_r 은 갈퀴 (rake) 수신기의 가지 수이고, 그 밖의 매개변수와 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rho_{k,j} &= \sum_{\tau=0}^{N-1} [2\{C_{x_k, x_k}^2(\tau-N+1) + C_{x_k, x_k}^2(\tau+1)\} \\ &\quad + C_{x_k, x_k}(\tau-N)C_{x_k, x_k}(\tau-N+1) \\ &\quad + C_{x_k, x_k}(\tau)C_{x_k, x_k}(\tau+1)], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{q(L_r, 2\epsilon)}{2q(L_r, \epsilon)} \left[\frac{q(L_p, \epsilon) - 1}{6N^3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{q(L_p, \epsilon) \sum_{k=2}^K \rho_{k,1}}{6N^3} + \frac{\eta_0}{2E\Omega_0} \right]^{-1}, \\ m &= \frac{q^2(L_r, \epsilon)}{q(L_r, 2\epsilon)}, \\ q(L, \epsilon) &= \frac{1 - e^{-\epsilon L}}{1 - e^{-\epsilon}}, \\ {}_2F_1(a, b, c; z) &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a)_k (b)_k z^k}{(c)_k k!}, \\ (a)_k &= \frac{(a+k-1)!}{(a-1)!}, \\ \Gamma(x) &= \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt, \quad x > 0. \end{aligned}$$

그림 3에서는 $L_p=L_r=5$ 이며 $\epsilon=0.1$ 을 사용하였다.

그림 2와 3에서 채널이 덧셈꼴 흰빛 정규 잡음일 때나 레일리 여러길 감쇄가 있을 때나, 제안한 등률-골드 수열을 사용한 시스템의 평균 비트오류율 성능이 이제까지의 골드 수열이나 등가홀짝-골드 수열을 사용한 시스템의 평균 비트오류율 성능보다 늘 뛰어나다는 것을 명확히 볼 수 있다.

IV. 맺음말

이 논문에서는 비동기 4-위상 신호 방식에 알맞은 상관 성질을 지닌 다상 수열 집합을 이진 의사잡음 수열 집합을 바탕으로 얻었다. 제안한 수열의

n 째 칩은 바탕 이진 의사잡음수열의 n 째 칩에 $\exp[j\pi nK/P]$ 를 곱하여 얻으며, 여기서, K 와 P 는 정수이고, j 는 허수단위이다. 제안한 수열의 상관 성질은 KN/P 의 (N 은 수열의 길이) 소수 부분의 값을 따라 바뀌는데, 특히 이 소수 부분의 값이 1/4의 배수이면 상관 함수들 가운데 적어도 둘의 크기가 같다.

다음으로, 제안한 수열과 여러 가지 이진 의사잡음 수열을 서명수열로 쓸 때, 직접수열 부호분할 다중접속 시스템 성능을 최악 성능 분석과 평균 비트 오류율 모의 실험으로 견주어 보았다. 최대 상관값으로 분석한 최악 성능에서는 물론, 평균 비트오류율 모의 실험을 거쳐 얻은 평균 성능에서도, 제안한 수열을 사용한 시스템의 성능이 이제까지의 의사잡음 수열을 사용한 시스템의 성능보다 뛰어난 것을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] G.E. Corazza, "On the MAX/TC criterion for code acquisition and its application to DS-SSMA systems", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 44, pp. 1173-1182, Sep. 1996.

[2] G. Mazzini, "DS-CDMA systems using q-level m sequences: coding map theory", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 45, pp. 1304-1313, Oct. 1997.

[3] 최상호, C.N. Georghiadis, "다중 시퀀스 시그널링에 기초한 비동기 트래리스 부호화 DS/CDMA 시스템", *한국통신학회논문지*, 29권, 3A호, 248-256쪽, 2004년 3월.

[4] 김남선, "다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 새로운 하이브리드 간섭제거기", *한국통신학회논문지*, 29권, 9C호, 1219-1226쪽, 2004년 9월.

[5] D.V. Sarwate, "Bounds on crosscorrelation and autocorrelation of sequences," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 25, pp. 720-724, Nov. 1979.

[6] W.H. Mow and S.R. Li, "Aperiodic autocorrelation and crosscorrelation of polyphase sequences," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 43, pp. 1000-1007, May 1997.

[7] 강태성, 김형명, "직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서 다중경로 감쇄채널을 위한 미상

시공간 다중 사용자 검파기", *한국통신학회논문지*, 27권, 11B호, 1019-1027쪽, 2002년 11월.

[8] R. Gold, "Maximal recursive sequences with 3-valued cross-correlation functions," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 14, pp. 154-156, Nov. 1968.

[9] H. Fukumasa, R. Kohno, and H. Imai, "Design of pseudonoise sequences with good odd and even correlation properties for DS/CDMA," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 12, pp. 828-836, June 1994.

[10] M.B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread-spectrum multiple-access communication - Part I: system analysis," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 25, pp. 795-599, Aug. 1977.

[11] T. Eng and L.B. Milstein, "Coherent DS-CDMA performance in Nakagami multipath fading," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 43, pp. 1134-1143, Feb./Mar./Apr. 1995.

박 소 령 (So Ryoung Park)

정회원



1997년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사
 1999년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2003년 3월 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 전임강사

보통신전자공학부 전임강사
 2005년 4월 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 조교수

<관심분야> 이동통신, 다중접속, 통계학적 신호처리

송 의 호 (Iickho Song)

중신회원



30권 4호 참조