

第 36 卷 S 編 第 9 號

# 電子工學會論文誌-S

JOURNAL OF THE INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS OF KOREA  
VOLUME 36-S / NUMBER 9

ISSN 1226-5837

## 論 文 (시스템 분야)

- 비동기 레일리 감쇄 채널에서 왜상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템의  
성능분석 ..... 金光淳, 宋翊鎬, 尹錫皓, 金洪吉, 李容業 (1)
- 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 수학적 모델링 및 성능분석  
..... 李聲柱, 金在錫 (9)
- 평균 최대 비슷함 함수를 바탕으로 한 유사동기 직접수열 부호분할 다중접속  
시스템의 여러쓰는이 검파 ..... 金光淳, 李姓美, 宋翊鎬, 金善勇, 尹炯植 (18)
- 이원부호의 위상오프셋 오류 검출 ..... 宋寧俊, 韓榮烈 (27)
- ATM 망에서 CT 서비스를 위한 개선된 동적 버퍼 할당 방식  
..... 金炳喆, 金東号, 趙有濟, 權 栗 (36)
- Rough Set Theory와 Neuro-Fuzzy Network를 이용한 추론시스템  
..... 鄭日熏, 徐在龍, 延貞欽, 趙鉉讚, 全洪兌 (49)
- 다 입력 비선형 시스템의 출력을 포함한 케환 선형화의 점검 가능한 필요 충분조건  
..... 宋大俊, 金載顯, 李鴻奇 (58)
- 형태론적 다중모드 2진 형상분해 알고리즘 ..... 崔鍾鎬 (67)
- 컬러 히스토그램과 컬러 텍스처를 이용한 내용기반 영상 검색 기법 ..... 李亨九, 尹逸東 (76)
- 디지털 영상 확대를 위한 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방법  
..... 郭魯尹, 權炳憲, 黃秉元 (91)
- 차량 항법용 음성인식 시스템의 구현 ..... 李台韓, 梁太榮, 朴相澤, 李忠容, 尹大熙, 車日煥 (103)



社團  
法人

## 大韓電子工學會

The Institute of Electronics Engineers of Korea

서울特別市 江南區 驛三洞 635-4 (科學技術會館 新館 907號)

# 9

# 1999

論文99-36S-9-1

# 비동기 레일리 감쇄 채널에서 쇄상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템의 성능분석

(Performance Analysis of a Concatenated Coded DS/CDMA System in Asynchronous Rayleigh Fading Channels)

金光淳\*, 宋翊鎬\*, 尹錫皓\*, 金洪吉\*, 李容業\*\*

(Kwang Soon Kim, Ickho Song, Seokho Yoon, Hong Gil Kim, and Yong Up Lee)

## 요 약

이 논문에서는 쇄상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템을 제안하였다. 대역효율이 좋은 쌍직교 신호 별자리를 쓰는  $2^{2L-2}$  상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 안쪽부호로 썼고 바깥부호로는 연접오류에 강한  $(2^{L-1}, \lfloor \frac{2^{L-1}}{L/2} \rfloor)$  리드-솔로몬 부호를 썼다. 제안한 시스템의 성능을 분석하여 전송속도를 떨어뜨리지 않으면서 상당한 성능이득을 얻을 수 있다는 것을 보였다. 따라서, 제안한 방식은 무선통신 환경에서 빠르게 정보를 전송하면서도 높은 신뢰성을 가지는 부호화 방식으로 쓰일 수 있을 것이다.

## Abstract

In this paper, we propose and analyze a concatenated coding scheme for DS/CDMA systems in asynchronous channels. In the concatenated coding, bandwidth efficient  $2^{2L-2}$ -state  $\frac{L}{L+1}$ -rate 2-MTCM with biorthogonal signal constellation is used for the inner code, and  $(2^{L-1}, \lfloor \frac{2^{L-1}}{L/2} \rfloor)$  RS code is used for the outer code. It is shown that we can get considerable performance gain over the uncoded system without sacrificing the data transmission rate. The proposed system can be used as a coding scheme for reliable and high speed integrated information services of mobile communication systems.

## I. 서 론

요즈음 직접수열 부호분할 다중접속 방식은 이동통

신에서 가장 관심을 끄는 연구영역이 되었다. 이 직접수열 부호분할 다중접속방식은 다른 방식들과 견주어 더 큰 용량을 가지고 있지만<sup>[1-2]</sup>, 사회가 발달함과 더불어 폭발적으로 늘어나는 쓰는이를 충분히 수용하려면 그 성능을 더욱 좋게 하는 여러가지 방법이 필요하다. 게다가 음성정보뿐만 아니라 영상정보나 종합정보를 전송하고자 하면 좀 더 빠르고 정확한 전송방식이 필요하다.

이러한 방법의 하나로 쇄상부호화 (concatenated coding) 방식이 이제까지 연구되었다<sup>[3-5]</sup>. 안쪽부호로

\* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

\*\* 正會員, 翰林大學校 電子工學科  
(Department of Electronics Engineering Hallym University)

接受日字: 1999年1月8日, 수정완료일: 1999年7月8日

대역효율이 좋은 격자부호변조를 (trellis coded modulation) 쓰고 바깥부호로 연집오류에 (burst error) 강한 리드-솔로몬 부호를 쓰는 왜상부호화 방식은 대역폭을 더 쓰지 않고도 부호 이득을 꽤 얻을 수 있으며 확률 (random) 오류와 연집오류에 강하다는 것이 알려져 있다.

한편, 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서는 다른 쓰는이로 말미암아 간섭이 일어나기 때문에  $M$ 진 위상편이키잉을 (phase shift keying) 쓰는 격자부호변조 계통은 부호율이 높아질수록 성능이 나빠지게 되며, 부호율이 클 때는 신호대 잡음비가 높아도 성능이 매우 나빠지게 된다. 높은 부호율을 얻으려면  $M$ 이 커야 하며,  $M$ 이 커질수록 신호별자리의 (signal constellation) 유클리드 거리가 줄어들기 때문이다. 한편, [6]에서는 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서 쌍직교 (biorthogonal) 신호별자리를 쓰는 격자부호변조에 대해 연구하였다. 이 방식은 쓰는이가 서명 수열을 여럿 써서 격자변조부호화된 신호를 전송함으로써 부호율이 높아져도 쓰는이가 쓰는 서명 수열의 수는 늘어나지만 유클리드 거리는 줄어들지 않는 장점이 있다.

이 논문에서는 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서 안쪽부호로 대역효율이 좋은 쌍직교 신호별자리를 쓰는  $2^{2L-2}$  상태  $\frac{L}{L+1}$  다차원 격자부호변조를 쓰고 바깥부호로는 연집오류에 강한 리드-솔로몬 부호를 쓰는 왜상부호화 방식을 제안하였다. 또, 제안한 시스템의 성질과 성능에 대해 알아보았다.

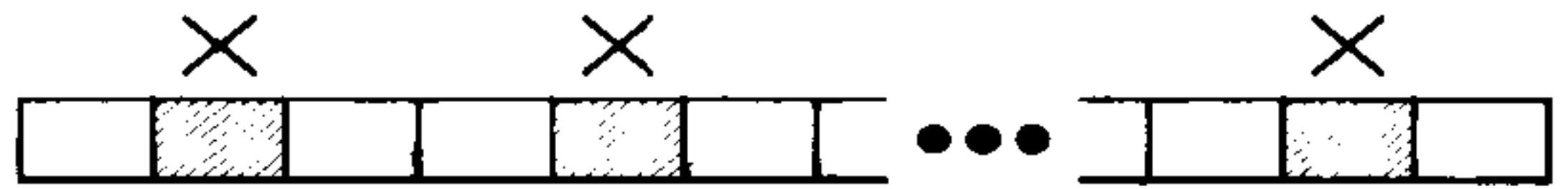
## II. 시스템 모형

직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서 왜상부호를 쓰려면, 먼저 안쪽부호와 바깥부호로 어떤 부호화 방식을 쓸 것인지를 결정해야 한다. 안쪽부호로는 대역효율이 좋은 격자부호변조가 널리 쓰이고 있고, 바깥부호로는 안쪽부호를 복호할 때 생기는 연집오류를 고칠 수 있도록 리드-솔로몬 부호가 많이 쓰인다.

왜상 부호 시스템의 성능을 가장 좋게 하고자 하면 안쪽부호의 오류 모양이 바깥부호 심볼 크기와 같아야 한다. 그렇지 않으면 같은 정도의 안쪽부호 오류가 더 많은 바깥부호 심볼에 영향을 주기 때문이다 (그림 1 참조). 다차원 격자부호변조의 바이트지향 (byte-oriented) 성질은 안쪽부호의 오류 모양과 바깥부호의 심볼 크기를 같게하는데 쓰일 수 있다<sup>[7]</sup>.



(가)



(나)

- : 안쪽부호 오류
- : 바깥부호 심볼
- : 오류가 생긴 바깥부호 심볼

그림 1. 안쪽부호의 오류 모양과 바깥부호 심볼 오류의 관계  
(가) 같지 않을 때  
(나) 같을 때

Fig. 1. Relation between the symbols of the outer code and the error patterns of the inner code.  
(a) When the symbols of the outer code are not matched to the error patterns of the inner code.  
(b) When the symbols of the outer code are matched to the error patterns of the inner code.

다차원 격자부호변조의 다차원성을 구현하려면 보통 시분할 방식이 쓰이지만, 직접수열 부호분할 다중접속 시스템에서는 거의 직교하는 서명 수열로도 이를 구현할 수 있다. 곧, 쓰는이에게  $r$  시간 슬롯에  $2^r$  서명 수열을 쓰게 함으로써  $2^{r(q+1)}$  쌍직교 신호별자리를 만들 수 있다. 이 때,  $r$ 이 너무 작으면 쓰는이에게 배당되는 서명 수열의 수가 너무 많아지게 되어 시스템 용량을 떨어뜨리게 되고,  $r$ 이 너무 크면 대역 효율이 나빠지게 되어, 이 또한 시스템의 성능을 떨어뜨리게 된다. 이 논문에서는  $r=2$ 일 때 서명 수열을  $2^q$ 개 쓰는  $2^{2(q+1)}$ 진 쌍직교 신호별자리 격자부호변조 방식을 생각하였다.

$2^m$  상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 안쪽부호로 쓰려면  $2^{L+1}$ 진 신호별자리가 필요하다. 시간 슬롯이 둘이므로,  $L$ 이 홀수라면  $2^{\frac{L+1}{2}}$ 진  $\times 2^{\frac{L+1}{2}}$ 진 신호별



자리를 써서  $2^{L+1}$ 진 신호별자리를 만들 수 있다.  $L$ 이 짝수일 때는  $2^{\frac{L+1}{2}}$ 진  $\times 2^{\frac{L+1}{2}}$ 진 신호별자리에서 신호를  $2^{L+1}$ 개 골라서 쓸 수 있다. 쓰는데에 배정된 서명 수열을 두 묶음으로 나누어서 첫째 시간 슬롯에서 첫째 (둘째) 묶음에 있는 서명 수열을 골랐다면 둘째 시간 슬롯에서도 첫째 (둘째) 묶음에 있는 서명 수열만을 고를 수 있도록 한다.

이제,  $q = \lfloor \frac{L}{2} \rfloor$ 라 하자. 여기서  $\lfloor a \rfloor$ 는  $a$ 보다 크지 않은 가장 큰 정수이다. 그러면,  $2^{q+1}$  쌍직교 신호별자리는 각 쓰는데에 다음을 만족시키는 서명 수열을 배정함으로써 만들 수 있다.

- 1) 한 집합 안의 서명 수열은 쌍직교 신호별자리의 성질을 가진다.
- 2) 다른 집합에 있는 서명 수열끼리는 직교한다.

이러한 서명 수열을 만드는 방법은<sup>[6]</sup>에서 연구된 바 있다. 하지만, <sup>[6]</sup>에서 연구된 방법은 비동기 시스템에서는 사용할 수 없다. 비동기 시스템에서는 쓰는데에 거의 직교하는 유사잡음수열을  $2^q$ 개 배당함으로써 쌍직교 신호별자리를 구현할 수 있다. 그림 2에는 64진 쌍직교 신호별자리의 보기를 보였다.

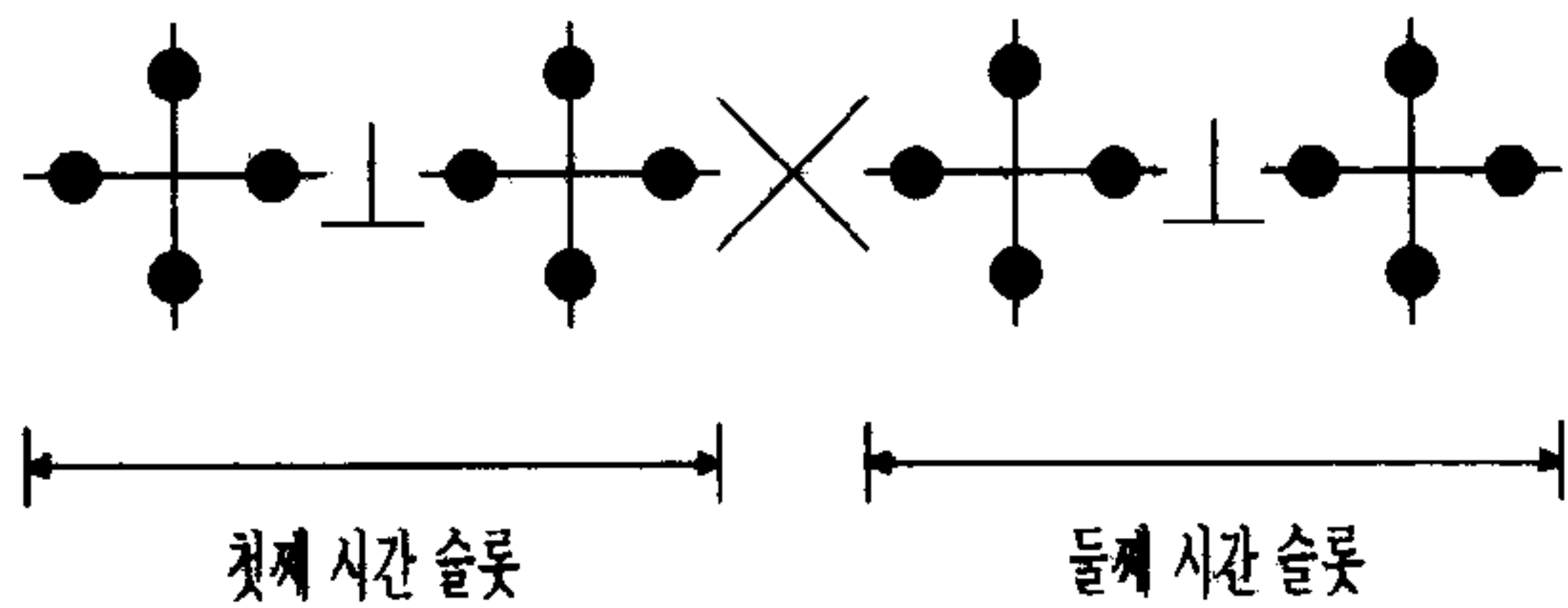


그림 2. 64진 쌍직교 신호별자리  
Fig. 2. The 64-ary biorthogonal constellation.

바깥부호로는  $(n, k)$  리드-솔로몬 부호를 쓰기로 한다. 왜상 부호의 성능을 좋게 하려면 앞에서 말한 대로 안쪽부호의 오류 모양과 바깥부호의 심볼의 크기를 잘게 해 주어야 한다. 이 때,

$$n = 2^L - 1 \tag{1}$$

이고 (여기서,  $2^L$ 은 신호별자리에서 부호화되지 않은 신호의 수 곧,  $L$ 은 한 심볼의 비트수), 한 심볼을 나타내는데 시간 슬롯을 두 개 쓰므로 유효부호율은

(effective code rate)

$$R_{eff} = \frac{kL/2}{2^{L-1}} \tag{2}$$

이다. 이 논문에서 다룬 바깥  $(2^L - 1, k)$  리드-솔로몬 부호와 안쪽  $2^m$ (격자부호에서 상태의 수) 상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 쓰는 왜상부호화 시스템의 열개를 그림 3에 보였다.

$(2^L - 1, k) (L-1)/L (2^{L+1} - \text{ary})$

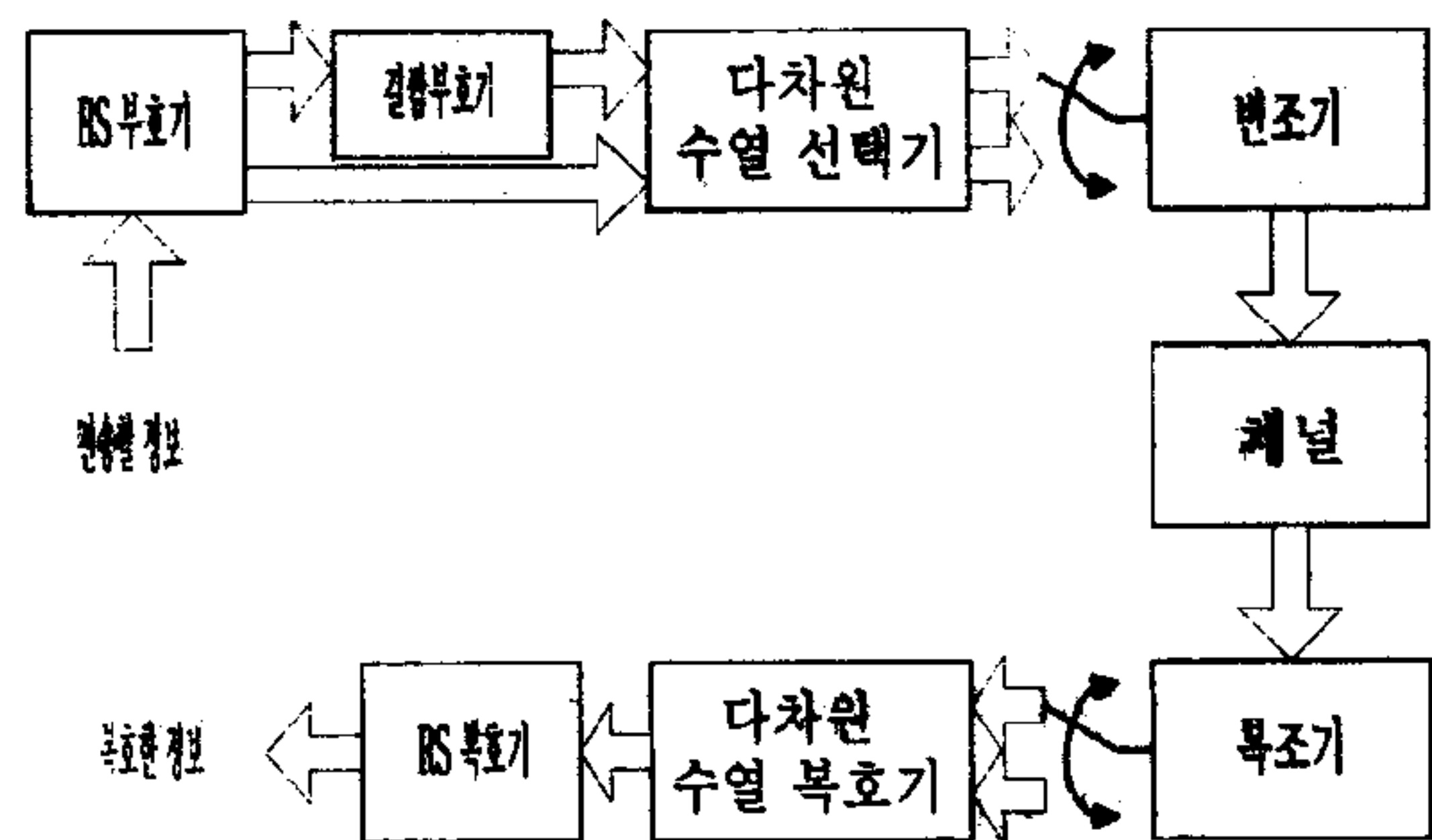


그림 3. 제안한 시스템의 열개  
Fig. 3. A structure of the proposed system.

### III. 왜상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템

왜상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템을 구현하려면, 먼저  $n, k, L, m$ 을 결정해야 한다. 여기서,  $n$ 은  $L$ 이 정해지면 (1)과 같이 얻을 수 있다. 그리고  $k$ 를 정하려면 유효부호율을 어떻게 할 것인지 결정해야 한다. 이 논문에서는 정보를 부호화하지 않은 시스템과 같거나 그 보다빠르게 보낼 수 있는 시스템을 생각한다. 곧, 유효부호율이 1과 같거나 1보다 커야 한다. 유효부호율  $R_{eff}$ 가 주어졌을 때,  $k$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$k = \lfloor \frac{(2^L - 1)R_{eff}}{L/2} \rfloor \tag{3}$$

그리고  $R_{eff} \geq 1$ 을 만족시키기만 하면 된다고 하면, 가능한  $k$  가운데 가장 작은 것을 고르면 오류확률을 가장 작게 할 수 있다. 이 때,  $k$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$k = \lceil \frac{2^L - 1}{L/2} \rceil. \quad (4)$$

그러므로,  $L$ 이 정해지면 (2)와 (4)에서  $n$ 과  $k$ 를 얻을 수 있다. 이제  $2^{L+1}$  쌍직교 신호별자리에 대해서 생각하자. 계산하기 쉽도록 서명 신호사이의 직교성이 완벽하다고 두자. 서명 신호의 칩 수를  $N$ 이라 하면, 정반대 (antipodal) 신호사이의 다른 칩의 수는  $N$ 이고 직교신호 사이의 다른 칩의 수는  $\frac{N}{2}$  썸이 된다.  $p$ 를 바라는 신호라 하면 다른 신호  $\hat{p}$ 와의 정규화된 유클리드 거리  $d_{p,\hat{p}}^2$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$d_{p,\hat{p}}^2 = \frac{2}{N} N_{p,\hat{p}}. \quad (5)$$

여기서,  $N_{p,\hat{p}}$ 는  $p$ 와  $\hat{p}$ 사이의 다른 칩의 수이다. 이제 부터 수식이 간단하도록  $d_{p,\hat{p}}^2$ 대신에  $d^2$ 로 쓰겠다. 그러면, 이 논문에서 생각하는  $2^{L+1}$  쌍직교 신호별자리는 다음을 만족시킨다.

- 정리 1. 두 신호 사이의 정규화된 유클리드 거리는 0, 1, 2, 3, 4 가운데 하나의 값을 갖는다.
- 정리 2. 정규화된 유클리드 거리  $d^2$ 을 갖는 다른 신호의 수는 다음과 같다.

표 1. 정규화된 유클리드 거리  $d^2$ 을 갖는 다른 신호의 수

Table 1. The number of signal points whose normalized Euclidean distance is  $d^2$

정규화된 유클리드 거리 ( $d^2$ )	신호의 수
0	1
1	$2^{\lceil \frac{L}{2} \rceil + 1} - 4$
2	$2^{L+1} - 2^{\lceil \frac{L}{2} \rceil + 2} + 6$
3	$2^{\lceil \frac{L}{2} \rceil + 1} - 4$
4	1

여기서,  $\lceil a \rceil$ 는  $a$ 보다 작지 않은 가장 작은 정수이다.

정리 1, 2로부터 가장 큰 거리를 갖는 신호는 하나만 있음을 알 수 있다. 따라서, 격자부호변조를 쓸 때 비부호 비트를 하나로 하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 이 논문에서는 부호화하지 않은 비트가 하나인  $2^m$  상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 쓰겠다. 그러면 다음 정리가 성립한다.

정리 3.  $L \leq m \leq 2L - 2$ 이라 하면,  $d_{free}^2 = 4$ ,  $N_{free} = 2^{2L-m} - 3$ ,  $\sum_{\hat{p} \in C_{free}} W_{p,\hat{p}} = 2^{2L-m+1} - 7$ 이다.

정리 4.  $m \geq 2L - 2$ 이라 하면,  $d_{free}^2 = 4$ ,  $N_{free} = 1$ ,  $\sum_{\hat{p} \in C_{free}} W_{p,\hat{p}} = 1$ 이다.

여기서,  $C_{free}$ 는 유클리드 거리가 최소인 오류사건의 집합이고  $N_{free}$ 는  $C_{free}$ 의 원소의 수이고  $W_{p,\hat{p}}$ 는 신호  $p$ 를 신호  $\hat{p}$ 으로 잘못 복호하였을 때 오류가 생기는 가지의 (branch) 수이다. 정리 3, 4로부터 격자부호변조의 상태 수를  $2^{2L-2}$ 로 늘일 때까지는 성능을 개선할 수 있지만 상태 수를 그 이상으로 늘이는 것은 점근적으로 성능이득을 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다.

이제 제안한 쇄상부호 계통의 복호기의 복잡도를 생각해 보자.  $2^m$  상태 격자부호변조의 복잡도는  $2^m$ 에 비례한다. 그리고,  $(n, k)$  리드-솔로몬 부호의 복호기의 복잡도는  $n$ 이 커질수록, 또  $n - k$ 가 커질수록 커진다. 이 논문에서 쓰이는  $(2^L - 1, \lceil \frac{2^L - 1}{L/2} \rceil)$  리드-솔로몬 부호의 복잡도는  $L$ 이 커질수록 커진다. 이제  $m$ 이 주어졌다고 생각하자. 그러면, 남은 일은 비트 오류확률을 가장 낮게 하는  $L$ 을 찾는 것이다. 앞에서  $m > 2L - 2$ 일 때는 이득을 얻을 수 없다는 것을 보였다. 또, 대부분의 실제로 쓰이는 격자부호변조에서  $m$ 은  $L$ 보다 크다. 따라서, 가능한  $L$ 의 값은  $\frac{m+2}{2} \leq L \leq m$ 이다. 이 때, 가장 작은  $L$ 을 고르는 것이 대부분의 실제 상황에서 가장 낮은 비트오류확률을 얻을 수 있다는 것을 4절에서 보일 것이다. 또,  $m$ 이 정해지면 제안한 계통의 복잡도는  $L$ 이 커질수록 커진다. 따라서, 복잡도면에서도 가장 작은  $L$ 을 고르는 것이 가장 좋음을 알 수 있다.

#### IV. 성능분석

안쪽부호를 복호한 뒤 리드-솔로몬 심볼 오류확률  $P_s$ 는 다음과 같다.

$$P_s \approx \sum_{p \in C_{l,m}} W_{p,\hat{p}} P_{p-\hat{p}} \quad (6)$$

여기서,  $P_{p-\hat{p}}$ 는  $p$ 를 전송했을 때  $\hat{p}$ 으로 잘못 복호할 오류 사건 확률이다. 그러면 리드-솔로몬 부호를 복호한 뒤 심볼 오류확률  $P_e$ 는 다음과 같이 근사화할 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$P_e \approx \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^i \frac{t}{n} \binom{n}{k} P_s^i (1-P_s)^{n-i} \quad (7)$$

그리고, 비트 오류 확률  $P_b$ 의 상한을 (upper bound) 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_b \leq kP_e \quad (8)$$

채널이 느린 레일리 감쇄 (slow Rayleigh fading) 채널이고 감쇄 과정이 오류사건이 일어나는 동안 바뀌지 않는다고 두자. 또, 여러 쓰는이사이의 감쇄 과정들은 독립이라고 하자. 이제, 첫째 쓰는이가 바라는 쓰는이라고 놓을 수 있다. 앞으로 나올 성능분석에 쓰인 표기법은<sup>[6]</sup>에서 쓰인 것과 같다.

$z_{p,\hat{p}}(j)$ ,  $j=1, 2$ 를 첫째 사용자의  $j$ 째 시간 슬롯에서의 결정통계량이라 (decision statistic) 하면  $p$ 와  $\hat{p}$ 사이의 결정통계량은 다음과 같다.

$$z_{p,\hat{p}} = \sum_{j=1}^2 z_{p,\hat{p}}(j) \quad (9)$$

[6]과 [9]의 결과를 쓰면

$$E(z_{p,\hat{p}}(j)|\rho_1) = \sqrt{\frac{P}{2}} \rho_1 N_{p,\hat{p}}(j) T_c \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \text{Var}(z_{p,\hat{p}}(j)|\rho_1) \\ &= \sum_{k=2}^K \frac{PT_c^2 E(\rho_k^2) N_{p,\hat{p}}(j)}{6} + \frac{N_0 T_c N_{p,\hat{p}}(j)}{4} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $P$ 는 전송 전력이고,  $T_c$ 는 서명 수열의 칩

주기이고,  $N_{p,\hat{p}}(j)$ 는  $j$ 째 시간 슬롯에서  $p$ 와  $\hat{p}$ 사이의 다른 칩의 수이고, 레일리 확률변수  $\rho_k$ 는  $k$ 째 쓰는이의 잡쇄요소이며,  $K$ 는 쓰는이 수이고,  $\frac{N_0}{2}$ 는 배경 잡음의 전력밀도 스펙트럼이다. 전력을 조절한다면,  $E(\rho_k^2) = 1$ ,  $k=1, 2, \dots, K$ 로 놓을 수 있다. 그러면,  $z_{p,\hat{p}}$ 의 조건부 기대값과 분산을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$E(z_{p,\hat{p}}|\rho_1) = \sqrt{\frac{P}{2}} \rho_1 N_{p,\hat{p}} T_c \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \text{Var}(z_{p,\hat{p}}|\rho_1) \\ &= \frac{(K-1)PT_c^2 N_{p,\hat{p}}}{6} + \frac{N_0 T_c N_{p,\hat{p}}}{4} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서,  $N_{p,\hat{p}} = \sum_{j=1}^2 N_{p,\hat{p}}(j)$ 이다. 이 때, 순간 신호대 잡음비  $\nu(\rho_1)$ 는 다음과 같이 나타난다.

$$\nu(\rho_1) = \frac{\frac{N_{p,\hat{p}} \rho_1^2}{N}}{\frac{N_0}{E_s} + \frac{2(K-1)}{3N}} \quad (14)$$

여기서,  $E_s = PNT_c$ 이다. 식 (13)에서 오른변의 첫째 항은 다중접속때문에 일어나는 간섭이고 둘째 항은 배경 정규 잡음이다. 다른 쓰는이때문에 생기는 간섭은 중심극한정리를 따라 정규 잡음으로 근사화할 수 있으며, 따라서, 조건부 오류 사건 확률  $P_{p-\hat{p}}(\rho_1)$ 은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{p-\hat{p}}(\rho_1) &= \Pr(z_{p,\hat{p}} < 0 | \rho_1) \\ &= \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\nu(\rho_1)}) \end{aligned} \quad (15)$$

이 때, (15)의 평균을 계산하면 오류 사건 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{p-\hat{p}} &= E\{P_{p-\hat{p}}(\rho_1)\} \\ &= \int_0^\infty P_{p-\hat{p}}(x) f_{\rho_1}(x) dx \\ &= \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{x}{1+x}}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

여기서  $x = \frac{N_{p,\hat{p}}}{N} / \left( \frac{N_0}{E_s} + \frac{2(K-1)}{3N} \right)$ 이다.



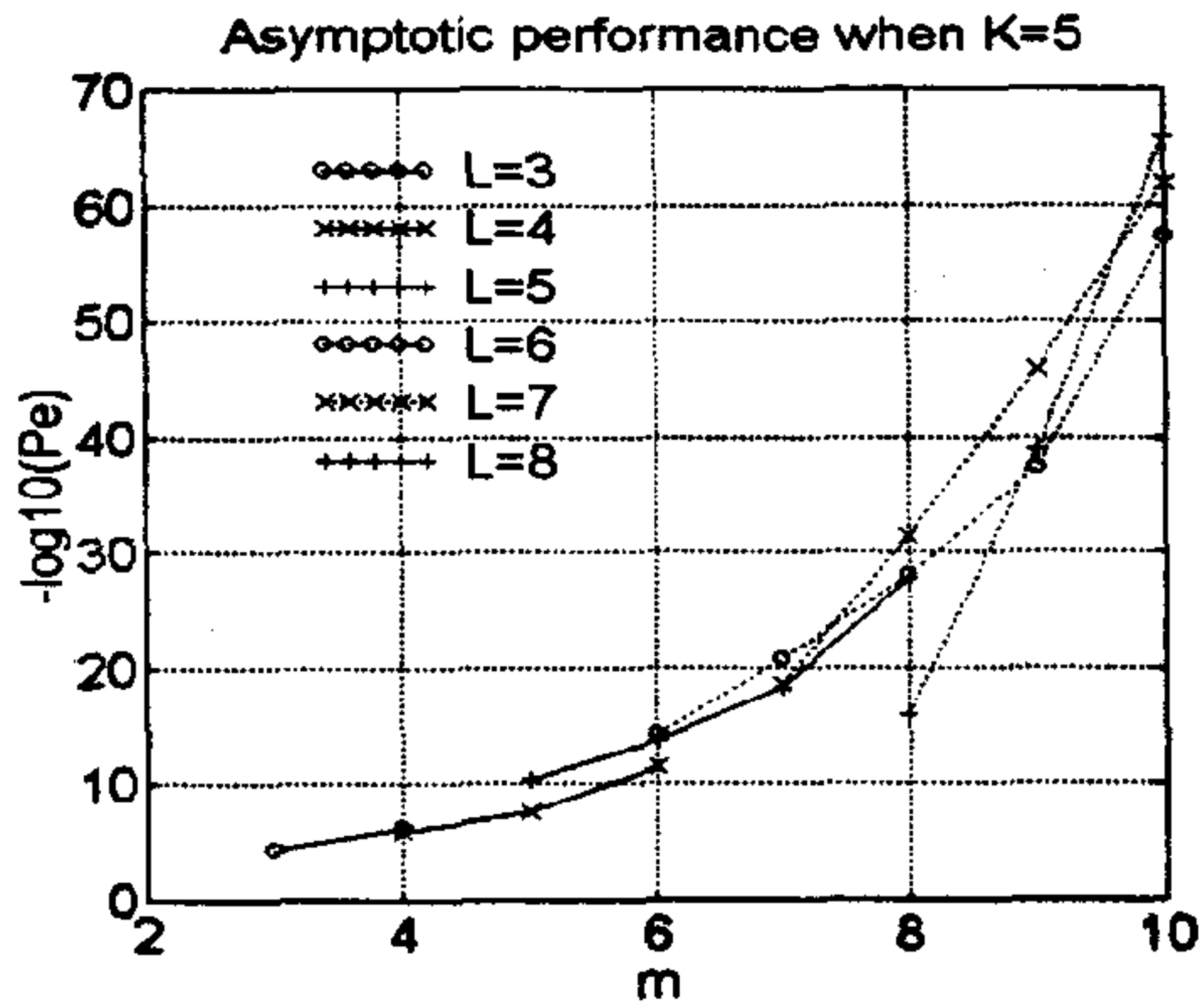


그림 4. 쓰네이가 5사람일 때 제안한 시스템의 점근성능  
Fig. 4. Asymptotic performance of the proposed system when the number K of users is 5.

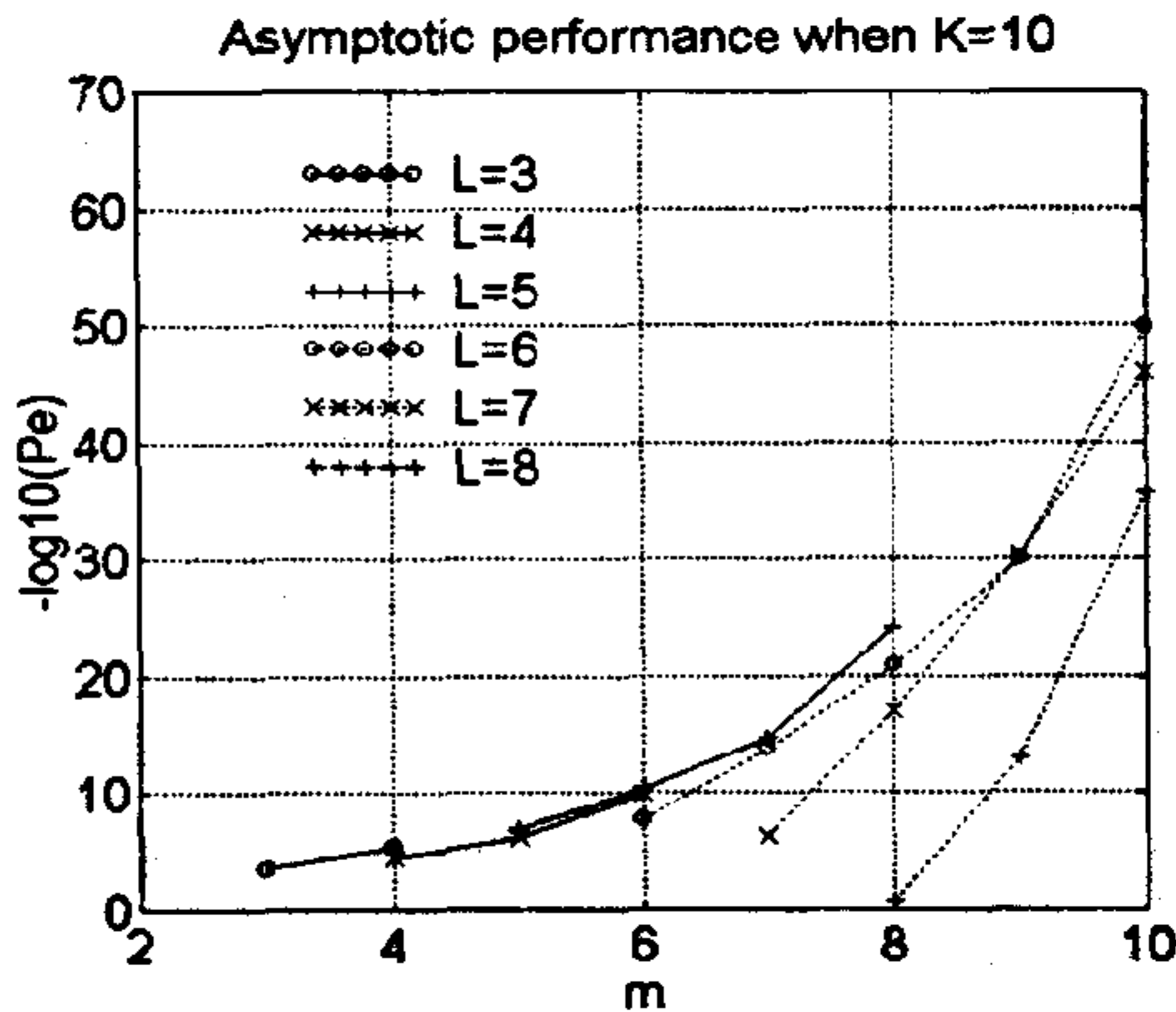


그림 5. 쓰네이가 10사람일 때 제안한 시스템의 점근성능  
Fig. 5. Asymptotic performance of the proposed system when the number K of users is 10.

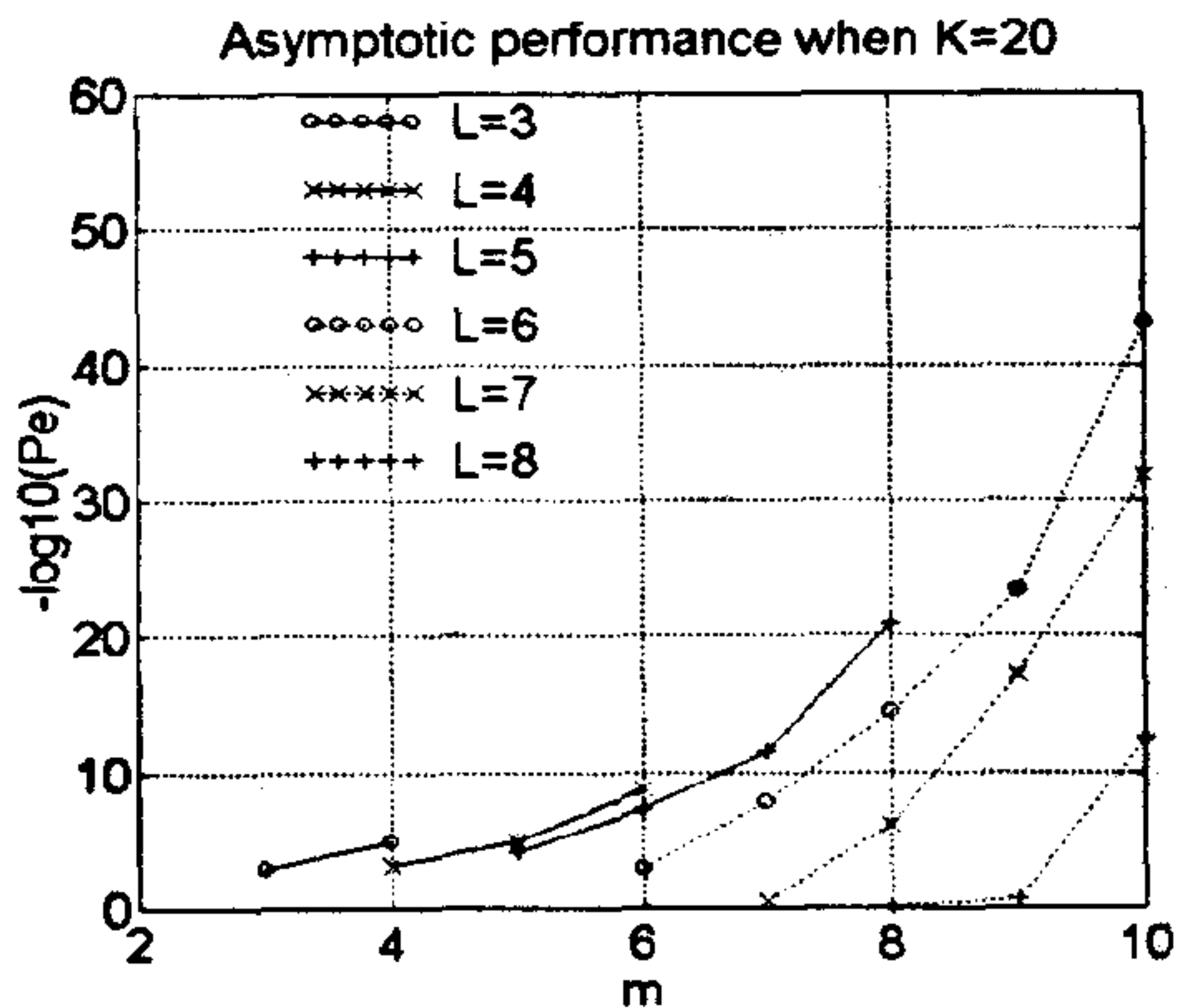


그림 6. 쓰네이가 20사람일 때 제안한 시스템의 점근성능  
Fig. 6. Asymptotic performance of the proposed system when the number K of users is 20.

그림 4-6에서는  $L$ 의 값이 바뀔 때 제안한 시스템의 점근 비트 오류 확률의 상한을  $R_{eff}=1, N=1024$  이고  $K=5, 10, 20$  인 때에 각각 보였다. 쓰네이가 많아질 수록 가장 좋은  $L$ 값은 점점 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. 상태수가 정해져 있을 때 안쪽부호인 격자부호변조의 성능은  $L$ 이 커질 수록 나빠진다. 반대로 바깥부호인 리드-솔로몬 부호의 성능은  $L$ 이 커질수록 좋아지나, 사용자 수가 적고 신호대 잡음비가 클 때에만 안쪽부호의 떨어진 성능을 보충할 수 있다. 따라서, 대부분의 실제 경우에는 가장 작은  $L$ 을 선택하는 것이 좋음을 알 수 있다. 그러므로  $2^{2L-2}$  상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 안쪽부호로 골랐다.

그림 7에는  $R_{eff}=1, N=1024, K=50$  인 때에  $(2^L-1, \lfloor \frac{2^L-1}{L/2} \rfloor)$  리드-솔로몬 부호를 바깥부호로 쓰고  $2^{2L-2}$  상태  $\frac{L}{L+1}$  2차원 격자부호변조를 안쪽부호로 쓰는 쇄상부호 시스템의 비트 오류 확률의 상한을 여러  $L$ 값에 따라 보였다. 전송속도를 떨어뜨리지 않으면서도 상당한 성능이득을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 신호대 잡음비가 5dB,  $L=5$  일 때, 제안한 시스템의 비트 오류 확률은  $10^{-6}$ 이다. 한편, 부호화하지 않은 시스템은 같은 신호대 잡음비에서 비트 오류 확률이  $10^{-1}$ 이다. 다시말해, 제안한 시스템은 신호대 잡음비가 5dB ( $L=5$ ) 쯤만 되어도 데이터

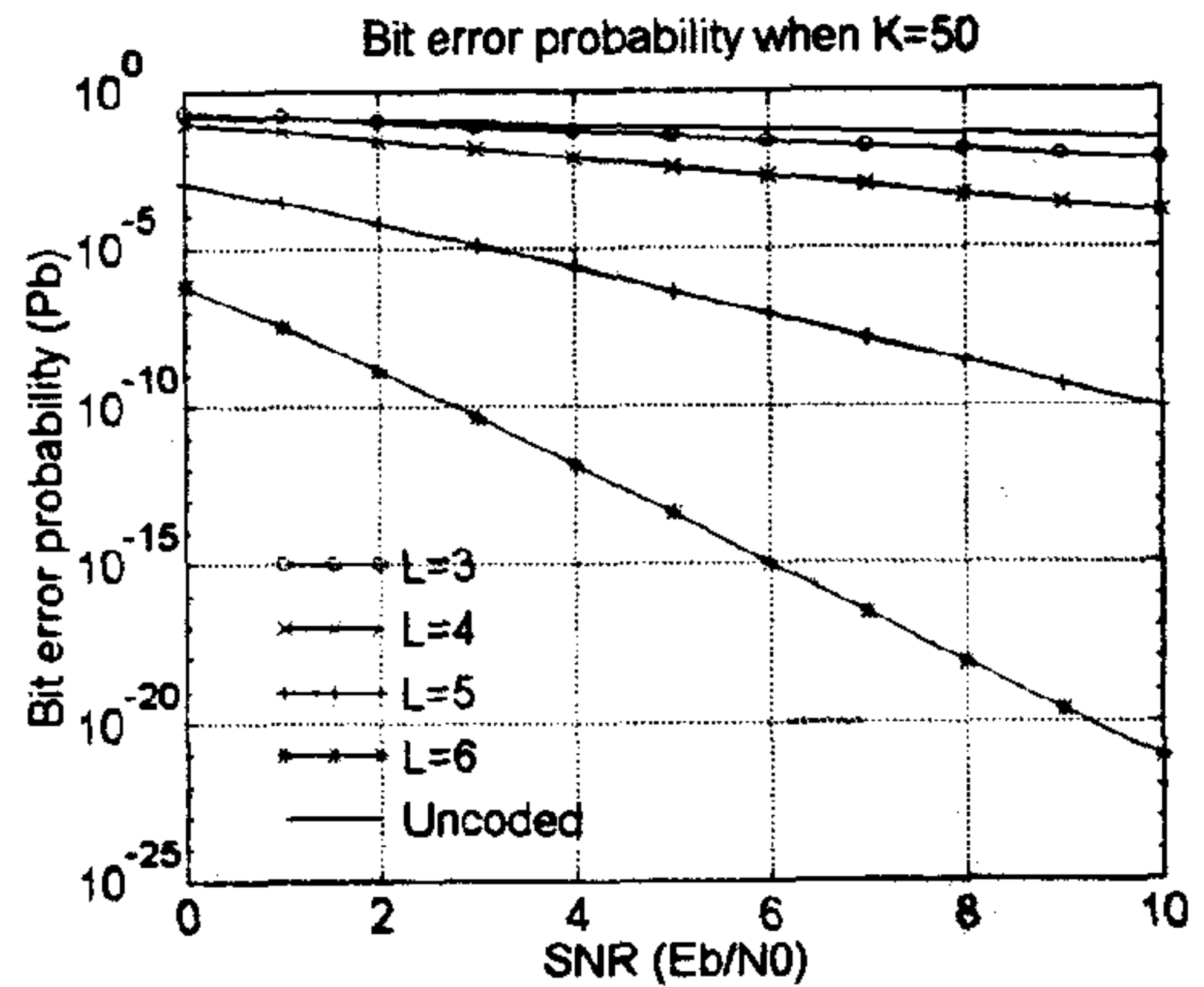


그림 7. 쓰네이가 50사람일 때 제안한 시스템의 비트 오류확률  
Fig. 7. Bit error probability of the proposed system for various values of  $L$  when  $K=50$ .

전송에 필요한 비트 오류 확률에 다다르지만 부호화하지 않은 시스템은 그 비트 오류 확률에 도달할 수 없다.

## V. 맺음말

이 논문에서는 쇄상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 안쪽부호로 부호화하지 않은 비트를 하나 갖고, 대역효율이 좋으며, 쌍직교 신호별자리를 쓰는  $2^{L-2}$  상태  $\frac{L}{L+1}$  격자부호변조를 쓰고, 바깥부호로 연접오류에 강한  $(2^L - 1, \lceil \frac{2^{L-1}}{L/2} \rceil)$  리드-솔로몬 부호를 쓴다.

제안한 시스템의 성질과 성능을 분석하였고, 제안한 시스템이 전송속도를 떨어뜨리지 않으면서도 부호화하지 않은 시스템과 견주어볼 때 상당한 성능이득을 가져다 줄 수 있다는 것을 보였다. 따라서, 무선통신 환경에서 빠르게 정보를 전송하면서도 높은 신뢰성을 가지는 부호화 방식으로 쓰일 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] R.L. Pickholtz, L.B. Milstein, and D.L. Schilling, "Spread spectrum for mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 40, no. 2, pp. 313-322, May 1991.
- [2] 김동구, 이종훈, "균일/비균일 이동국의 CDMA 용량 제어 및 분석," *한국통신학회논문지*, 제23권, 제11호, 2974-2982쪽, 1998년 11월
- [3] T. Kasami, T. Takata, T. Fujiwara, and S. Lin, "A concatenated coded modulation scheme for error control," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 6, pp. 752-763, June 1990.
- [4] 박형진, 정호영, 홍대식, 강창언, "이동통신 페이딩 채널에서의 CONCATENATED 코드 시스템," *한국통신학회논문지*, 제18권, 제1호, 1-9쪽, 1993년 1월.
- [5] S. Rajpal, D.J. Rhee, and S. Lin, "Low complexity, high performance and bandwidth efficient concatenated coded 8-PSK schemes for reliable data communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp. 785-794, February/March/April 1995.
- [6] B.D. Woerner, *Coded Modulation for Direct Sequence Spread Spectrum Communication*, Ph. D. Dissertation, University of Michigan, 1991.
- [7] S.S. Pietrobon, R.H. Deng, A. Lafanechere, G. Ungerboeck, and D.J. Costello, Jr., "Trellis-coded multidimensional phase modulation," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 36, no. 1, pp. 63-89, January 1990.
- [8] S. Lin and D.J. Costello, Jr., *Error Control Coding*, NJ: Prentice Hall, 1983.
- [9] M.B. Pursley, "Performance evaluation of phase-coded spread spectrum multiple-access communication-part I: system analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 795-799, August 1977.

## 저 자 소 개

### 金光淳(正會員)

1972년 9월 20일 태어남 1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사(최우등, 학과수석졸업) 1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사 1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사 1999년 3월~현재 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원, UCSD 연구 연수원 1998년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 은상 수상 1998년 10월 LG정보통신 논문상 은상 수상 주관심분야는 이동통신, 배열신호처리, 여러쓰는이 검파

### 李容業(正會員)

1962년 10월 5일 태어남 1985년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사 1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사 1996년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사 1986년 8월~1998년 2월 (주)삼성전자, 멀티미디어 연구소 영상통신그룹 선임연구원 1998년 3월~현재 한림대학교 전자공학부 조교수 1995년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 은상 수상 주관심분야는 통계학적 신호처리, 배열신호처리, 이동통신 이론



8 비동기 레일리 감쇄 채널에서 왜상부호 직접수열 부호분할 다중접속 시스템의 성능분석 金光淳 外

宋 翊 鎬(正會員) 第 36卷 S編 第 6號 參照

金 洪 吉(正會員) 第 36卷 S編 第 6號 參照

尹 錫 皓(正會員) 第 36卷 S編 第 6號 參照