논문 2010-47TC-11-3

# CDMA 시스템의 대역폭확장 조합에 따른 성능분석

## ( A Performance Analysis of CDMA System Based on the Combination of Bandwidth Expansion )

류 길 현*

( Kil Hyen Ryu )

요 약

*M*-ary와 PN 확산의 조합이 존재하는 CDMA 시스템에서 성능분석 방법을 제안하였다. *M*-ary와 PN 확산에 의한 전체 대역폭 확장이 같더라도 두 블럭의 대역폭 확장의 조합에 따라 시스템 성능이 달라진다. 따라서 *M*-ary와 PN 확산이 이루는 CDMA 시스템 전체 대역폭 확장이 아니라, 각각의 대역폭 확장을 사용하여 시스템 성능을 분석하였다. 그리고 SINR이 높을수록 *M*-ary에 의한 대역폭 확장이 PN 확산에 의한 대역폭 확장보다 비트오율을 더 많이 감소시키는 것을 볼 수 있었다. 제안한 성능분석 방법이 *M*-ary에 의한 성능개선의 효과를 반영했기 때문에 전체 대역폭 확장만을 사용한 방법보다 더 정확한 성능분석을 할 수 있었다.

Abstract

We propose a performance analysis of code division multiple access systems based on the combination of *M*-ary and pseudo-noise spreading. In spite of the total bandwidth expansion being equal, there is a difference in the system performance by the combination of *M*-ary and pseudo-noise spreading. The proposed analysis uses each bandwidth expansion, caused by *M*-ary and pseudo-noise spreading, rather than the total bandwidth expansion. If the signal to interference plus noise ratio becomes high, it is more effective to reduce biterror rate by bandwidth expansion of *M*-ary modulation rather than that of pseudo-noise spreading. Since the proposed analysis reflects the effect of the *M*-ary modulation, the bit error rate from the proposed analysis is closer to the results of the simulation than from the conventional analysis.

**Keywords** : CDMA, PN spreading, *M*-ary modulation, Mobile communication

## Ⅰ. 서 론

CDMA 시스템은 다중접속을 위해 의사잡음(pseudo - noise; PN) 또는 Walsh 코드를 이용하여 대역폭 확장을 한다. 그리고 순방향 오류정정부호 (forward error correction code; FEC) 등을 사용하여 비트오율을 감소시키는데, FEC와 *M*-ary 변조를 통해서도 대역폭 확장(Bandwidth Expansion)이 일어난다. 이러한 CDMA 시스템 성능분석은 전체 대역폭 확장을 통해서 간단히 얻을 수 있다[1]. 그러나 비록 전체 대역폭 확장이 같다 하더라도, 각각의 대역폭 확장을 일으키는 블럭들의 대역폭 확장 조합에 따라 시스템 성능이 달라질 수 있다. 본 논문에서는 PN 확산과 *M*-ary에 의해 일어나는 대역폭 확장에 대해서 각각의 특성을 고려한 성능분석의 방법을 제안한다. *M*-ary와 PN 확산에 의한 전체 대역폭 확장이 고정되어 있을 때, 두 블럭의 대역폭 확장의 조합에 따라 시스템 성능이 변하는 것을 알 수 있다.

그리고 SINR 이 높을수록 *M*-ary에 의한 대역폭 확장이 PN 확산에 의한 대역폭 확장보다 비트오율을 더 많이 감소시키는 것을 볼 수 있었다. 반면 SINR이 낮을 때는 *M*-ary에 의한 대역폭 확장이 효과적이지 못했다. 제안한 성능분석 방법이 *M*-ary에 의한 성능개선의 효

* 정회원, 삼성전자 System LSI 사업부
(Samsung Electronics)

접수일자: 2010년6월6일, 수정완료일: 2010년11월10일

과를 반영했기 때문에 기존의 논문에서 사용하던 전체 대역폭 확장만을 사용한 방법[1]보다 더 정확한 성능분석을 할 수 있다.

## Ⅱ. M-ary와 PN 확산조합의 CDMA 시스템

CDMA 시스템의 성능은 PN 확산이나 Walsh 코드 확산에 의한 대역폭 확장과 밀접한 관련이 있는데 이러한 시스템의 성능분석 방법은 여러 논문에서 연구되었다[1~2]. 일반적으로 알려진 CDMA 시스템의 성능분석 방법은 대역폭확장과 사용자 수의 함수로써 구해지는 SINR을 이용한다. 이러한 성능분석에서 쓰이는 대역폭 확장은 시스템전체에 대해서만 생각하는데 비해, 본 논문에서는 각 $M$-ary와 PN 확산의 개별적인 특성을 반영한 대역폭 확장에 대해서 생각하겠다.

$M$-ary와 PN확산의 조합을 갖는 CDMA 시스템 성능분석을 위해 IS-95 역방향 (reverse link) CDMA 시스템을 예로 들겠다. 이 시스템의 전체 대역폭 확장 $B$는 길쌈 부호기(convolutional encoder)를 제외한다면 $M$-ary 변조와 PN 확산에 의해서 이루어진다. $M$-ary에 의한 대역폭 확장$M/\log 2M$ , PN 확산에 의한 대역폭 확장 $N$ 과 $B$의 관계는

$$B=\frac{M}{\log_2 M}N \tag{1}$$

와 같다. IS-95 역방향 CDMA 시스템에서 $M$ 은 64, $N$은 4의 값을 가져서 $B$는 약 42.7의 값이 된다. CDMA 시스템 역방향 송신기에서 송신신호의 비트율(bit rate)이 $R$, 시스템 전체의 대역폭이 $W$로 주어졌을 때 식 (1)의 시스템 전체의 대역폭 확장 $B$는 $W/R$ 이다. 이 때 첫번째 사용자의 신호를 원하는 신호라고 하면 SINR은

$$\mathrm{SINR}=\frac{A_1}{1/B\sum_{k=2}^{K}\upsilon_k A_k+\frac{N_0 W}{2B}} \tag{2}$$

와 같다[1]. 여기서 $K$는 사용자 수, $N0\,W$는 대역폭 $W$내에서의 배경잡음 전력(background noise power), $A_k$는 $k$번째 사용자의 송신 신호 전력, $V_k$는 $k$번째 사용자의 voice activity이다. 여기서 분모의 항은 배경잡음과 다른 사용자들에 의한 간섭을 포함한다. 잡음이 가우시안 분포를 따른다고 가정하고 식 (2)의 SINR을 $Q$ 함수에 대입하여 비트오율은

표 1. $M$-ary와 PN 확산에 의한 대역폭 확장의 조합.
Table 1. Combination of bandwidth expansion in the $M$-ary and PN spreading.

| $M$ | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N$ | 21 | 16 | 10 | 6 | 4 | 2 |
| $B$ | 42 | 42.7 | 40 | 38.4 | 42.7 | 36.6 |

$$P_e=Q(\sqrt{\mathrm{SINR}})=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{\sqrt{\mathrm{SINR}}}^{\infty}\exp(-u^2/2)du \tag{3}$$

와 같이 계산할 수 있다. 일반적으로 CDMA 시스템의 성능은 식 (3)으로 계산한 비트오율로써 나타낸다. 위의 식 (2)와 (3)에서 보듯이, CDMA 시스템의 성능은 사용자수 뿐만 아니라 전체 대역폭 확장에 의해서 결정된다. 그런데 CDMA 시스템이 전체적으로 같은 대역폭 확장값 $B$를 갖더라도, $M$-ary와 PN 확산이 이루는 대역폭 확장의 조합에 따라 시스템 성능이 차이를 보일 수 있다. 식 (1)에서 전체 대역폭 확장 $B$ 값 42.7을 상한값으로 했을 때 실현 가능한 정수값 $M$과 $N$의 조합을 표 1에 나타내었다. 다음 절에서는 $M$-ary와 PN 확산이 이루는 대역폭 확장의 조합, $M$과 $N$에 따른 CDMA 시스템의 성능을 분석하겠다.

## Ⅲ. M-ary와 PN 조합의 성능분석

그림 1은 본 논문에서 분석하려는 시스템의 구성도이다. 이것은 IS-95 역방향 CDMA 시스템에서 대역폭 확장을 이루는 블럭 중 길쌈 부호기를 제외하고 나타낸 것이다. 그림 1의 송신기에서 송신하려는 $i$ 번째 신호심벌 $x_i$는 $M$-ary 변조기를 거친 후 직교성(orthogonality)을 갖는$M$-ary 심벌 si로 변한다. 신호심벌은 $\log_2 M$ 비

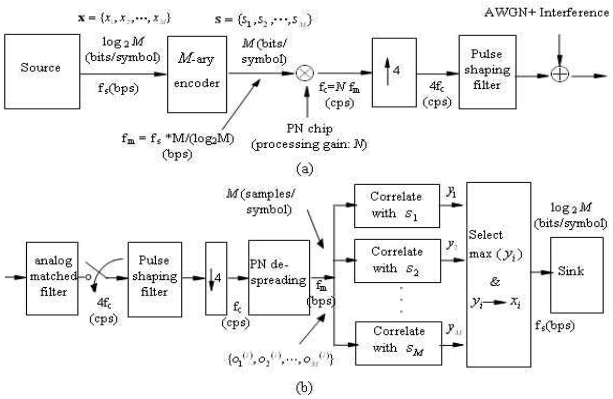


그림 1. 시스템 구성도. (a) 송신기. (b) 수신기.
Fig. 1. System model. (a) Transmitter. (b) Receiver.

트로 이루어지고 $M$-ary 심벌은 이에 해당하는 $M$비트로 이루어진다[3]. $M$-ary 심벌 si를 구성하는 비트들을 $\{d_1^{(i)}, d_2^{(i)}, ..., d_M^{(i)}\}$ 라고 하자. 여기서 $d_l^{(i)} \in \{+1,-1\}$이고 M-ary 심벌들 사이의 직교성 때문에

$$\sum_{l=1}^{M} d_l^{(i)} d_l^{(j)} = M\delta_{i,j},\ i=1,2,\Lambda,M,\ j=1,2,\Lambda,M \tag{4}$$

이다. $\delta_{i,j}$은 Kronecker 델타 함수(delta function)를 나타내며 $i$, $j$가 같을 때 1이고, 다를 때는 0의 값을 가진다. $M$-ary 심벌 $s_i$ 는 각 사용자 고유의 PN 코드와 곱해지면서 $N$배로 대역폭 확장된다. 이렇게 대역폭 확장된 신호는 심벌간의 간섭을 줄이기 위해 IS-95에서 쓰인 것과 같이 4배로 오버 샘플링(oversampling) 되어 파형정형필터(pulse shaping filter)를 거쳐 송신된다. 파형정형필터 계수는 IS-95에서 쓰인 48개를 사용했다. 그림 1의 수신기에서는 원래의 송신신호가 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise; AWGN)과 다른 사용자들에 의한 간섭신호와 합해져서 들어온다. 이렇게 수신된 아나로그 신호가 디지털 신호로 바뀐 후 파형정형필터를 거쳐 4배로 다운 샘플링(downsampling)된다. 다음으로 PN 역확산과 $M$-ary 복조 과정을 거쳐서 수신된 신호를 복조한다. 여기서 역방향 CDMA 시스템의 전력 제어가 정확하게 이루어져 수신된 신호들의 전력이 모두 $A$라고 가정한다.

그림 1의 송신기에서 $i$번째 신호심벌 $x_i$가 전송되었을 때 수신기에서 PN 역확산 출력단, 즉 $M$-ary 복조기 입력단에서 한 $M$-ary 심벌에 대한 관측샘플들을 $\{O_1^{(i)}, O_2^{(i)}, ..., O_M^{(i)}\}$으로 표시하자. 각 관측샘플은

$$o_l^{(i)} = \sqrt{A}\, d_l^{(i)} + e_l,\ i=1,2,\Lambda,M,\ l=1,2,\Lambda,M \tag{5}$$

으로 표시되고 $e_l$은 각 관측샘플에 대한 잡음을 나타낸다. 여기서 voice activity를 1로 했을 때 PN 역확산 출력단의 $\mathrm{SINR_{pn}}$은 식 (2)로부터

$$\mathrm{SINR_{pn}} = \frac{A}{\sigma_e^{\,2}} = \frac{A}{A\dfrac{K-1}{N} + \dfrac{N_0 W}{2N}} \tag{6}$$

와 같이 표시된다. 여기서 $\mathrm{SINR_{pn}}$은 비트 단위에 대한 것이고, $\sigma_e^2$은 PN 역확산 출력단 잡음의 분산(variance)이다. $\sigma_e^2$은

$$\sigma_e^{\,2} = A\frac{K-1}{N} + \frac{N_0 W}{2N} \tag{7}$$

와 같다. 그림 1의 $M$-ary 복조기에서는 PN 역확산의 출력으로부터 나온 식 (5)의 신호가 $M$-ary 심벌을 갖는 $M$개의 상관기(correlator)에 입력된다. 식 (4)를 이용하여 $j$번째 상관기의 출력은

$$\begin{aligned} y_j &= \sum_{l=1}^{M} o_l^{(i)} d_l^{(j)},\ i=1,2,\Lambda,M,\ j=1,2,\Lambda,M \\ &= \sum_{l=1}^{M} \sqrt{A}\, d_l^{(i)} d_l^{(j)} + \sum_{l=1}^{M} d_l^{(j)} e_l \\ &= \sqrt{A} M \delta_{i,j} + n_j \end{aligned} \tag{8}$$

와 같다. 여기서 $n_j$는 $j$번째 상관기 출력의 잡음이고

$$n_j = \sum_{l=1}^{M} d_l^{(j)} e_l \tag{9}$$

와 같다. 이 때 $M$개의 상관기 중에서 가장 큰 상관값 $y_j$에 해당하는 심벌 $x_j$ 를 수신기의 출력으로 한다. 상관기 출력단의 잡음의 평균은 0이고 분산은

$$\begin{aligned} \sigma_n^{\,2} &= E[n_j^{\,2}],\ j=1,2,\Lambda,M \\ &= E[\sum_{l=1}^{M} d_l^{(j)} e_l \sum_{q=1}^{M} d_q^{(j)} e_q] \\ &= M\sigma_e^{\,2} \end{aligned} \tag{10}$$

와 같다. 식 (7)을 식 (10)에 대입하면

$$\sigma_n^{\,2} = M\sigma_e^{\,2} = A\frac{M(K-1)}{N} + M\frac{N_0 W}{2N} \tag{11}$$

와 같이 된다. 따라서 그림 1의 $M$-ary 복조기 출력단에서의 $\mathrm{SINR}_M$은

$$\mathrm{SINR}_M = \frac{(\sqrt{A}M)^2}{\sigma_n^{\,2}} = \frac{MN}{K-1+N_0 W/(2A)} \tag{12}$$

와 같다. 여기서 $\mathrm{SINR}_M$은 $M$-ary 심벌 단위에 대한 것이다. 식 (12)를 보면 $M$-ary와 PN 확산에 의한 대역폭 확장이 커질수록 $\mathrm{SINR}_M$이 높아짐을 알 수 있다. 식 (12)에서 구한 $\mathrm{SINR}_M$을 이용하여 비트오율을 계산할 수 있다. 이 때 다른 사용자들에 의한 간섭은 이항분포(binomial distribution)를 이루는데 사용자 수가 많아지면 가우시안 분포로 접근한다는 것이 알려져 있다[3]. 따라서 상관기 출력의 잡음은 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 송신단에서 $i$ 번째 심벌 $x_i$가 보내졌다고 할 때, $M$-ary 복조기의 상관기 중에서 $i$번째 상관기 출력의 확률밀도함

수(probability density function; pdf)는

$$p(y_i \mid x_i)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^{\,2}}}\exp\left[-\frac{(y_i-\sqrt{A}M)^2}{2\sigma_n^{\,2}}\right], i=1,2,\Lambda\ ,M \tag{13}$$

와 같다[3]. 그리고 $M$-ary 복조기의 상관기중에서 $M$-1 개 나머지 상관기 출력의 확률밀도함수는

$$p(y_j \mid x_i)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^{\,2}}}\exp\left[-\frac{y_j^{\,2}}{2\sigma_n^{\,2}}\right], j=2,3,\Lambda\ ,M \tag{14}$$

와 같다. 이와 같이 $M$-ary 상관기들의 확률밀도함수와 $SINR_M$이 주어졌을 때 $M$-ary 에 대한 심벌 오류확률은

$$P_M=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\left[1-\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u}e^{-v^2/2}dv\right)^{M-1}\right]\exp\left[-\frac{1}{2}\left(u-\sqrt{\mathrm{SINR}_M}\right)^2\right]du \tag{15}$$

와 같다. 이것을 비트오율로 바꾸면

$$P_b=\frac{M/2}{M-1}P_M \tag{16}$$

와 같다.

## Ⅳ. 모의실험 및 고찰

$M$-ary와 PN 확산의 조합을 갖는 CDMA 시스템이 있을 때, Ⅲ절에서 제시한 성능분석의 방법이 타당한지 알기 위해서 모의실험 하였다. 그림 1의 시스템에서 $M$-ary를 제외하고 대역폭 확장이 PN 확산에 의해서만 이루어지는 시스템을 구성한다. 이러한 시스템에서 모의실험 결과와 PN 확산만 있을 때 CDMA 시스템의 성능분석에 쓰이는 식 (6)의 결과를 비교하겠다. 배경잡음을 무시하면 식 (6)은 신호대 간섭비(signal to interference ratio; SIR)로 표현되고 다음과 같이 간단히 된다.

$$\mathrm{SIR}_{\mathrm{pn}}=N/(K-1) \tag{17}$$

식 (17)로 계산한 $SIR_{pn}$ 계산값과 모의실험으로 구한 $SIR_{pn}$ 실험값을 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보듯이 계산값과 모의실험 결과가 비슷하다.

다음으로 그림 1에 나타난 전체 시스템에 대해서 모의실험을 하였다. 표 1에서 $M$값 8, 16, 32, 64과 $N$값 16, 10, 6, 4의 조합에 대해, 동일한 전력을 가지는 10, 15, 20, 30명의 사용자를 갖는 환경을 가정한다. 표 1에서 보듯이 $M$과 $N$의 조합이 달라지더라도 전체 대역폭 확장 $B$는 비슷하다. 여기서 다른 사용자들 간섭에 의한 영향만을 고려하기 위해 배경잡음을 0으로 두었다. 표 3에 본 논문에서 유도한 식 (12)로 구한 $SIR_M$값과 모의실험으로 구한 $SIR_M$값을 나타내었다. Ⅲ절에서 나타낸 것처럼 식 (12)는 전체 대역폭 확장이 아니라, $M$-ary와 PN 확산 각각의 대역폭 확장에 대해 개별적인 특성을 고려해서 성능 분석한 식이다. 표 3을 보면 본 논문에서 제안한 방법으로 구한 식 (12)의 $SIR_M$값과 모의실험으로 구한 $SIR_M$값이 비슷함을 볼 수 있다. 그리고 표 1과3에서 알 수 있듯이 $M$-ary와 PN 확산을 곱한 전체 대역폭 확장이 비슷하더라도 $M$-ary가 높아질수록 SIRM이 증가한다. 하지만 여기서 계산한 SIRM은 $M$-ary 복조기 출력단에서 $M$-ary 심벌에 대한 것이기 때문에, $M$-ary를 높인다고 해서 반드시 비트오율이 작아 진다고 할 수 없다. 비트오율로 표현한 모의실험 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서 + 표시는 모의실험을 했을 때의 비트오율을 나타내고, 실선은 본 논문에서 제안한 분석방법인 $M$-ary와 PN 확산에 의한 대역폭 확장을 분리해서 유도한 식 (16)으로 계산한 비트오율이다. 점선은 기존의 방법[1]대로 $M$-ary와 PN 확산이 이루는 전체 대역폭 확장을 이용하여 유도한 식 (2)와 (3)을 이용해서 계산한 비트오율이다. 점선에 표시한 기존의 방법, 즉 개별 블록의 특성을 고려하지 않고 전체 대역폭 확장에 의해

표 2. PN 확산에 의한 $SIR_{pn}$.
Table 2. $SIR_{pn}$ from the PN spreading.

| $N$ / $K$ | 4 | | 6 | | 10 | | 16 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 |
| 10 | 0.44 | 0.44 | 0.67 | 0.65 | 1.11 | 1.08 | 1.78 | 1.70 |
| 20 | 0.21 | 0.21 | 0.31 | 0.31 | 0.53 | 0.51 | 0.84 | 0.81 |

표 3. $SIR_M$로 나타낸 제안한 성능분석과 모의실험 결과.
Table 3. $SIR_M$ from the analysis and simulation result.

| $K$ / $M,N$ | 10 | | 15 | | 20 | | 30 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 | 계산값 | 실험값 |
| 64, 4 | 28.4 | 27.6 | 18.2 | 17.7 | 13.4 | 13.1 | 8.8 | 8.6 |
| 32, 6 | 21.3 | 20.7 | 13.7 | 13.3 | 10.1 | 9.8 | 6.6 | 6.5 |
| 16, 10 | 17.7 | 17.2 | 11.4 | 11.1 | 8.4 | 8.2 | 5.5 | 5.4 |
| 8, 16 | 14.2 | 13.9 | 9.1 | 8.9 | 6.7 | 6.6 | 4.4 | 4.3 |

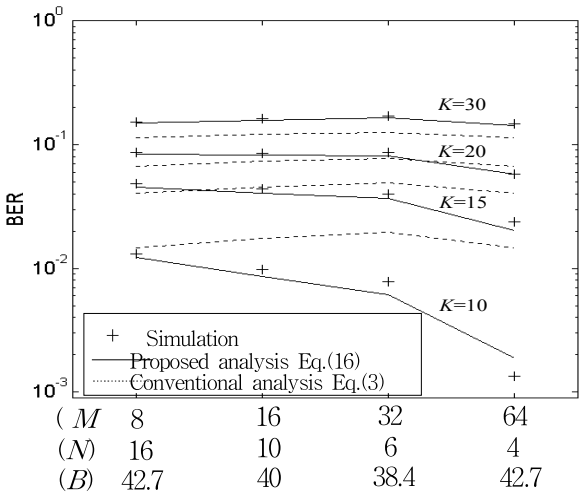


그림 2. 제안한 성능분석에 대한 모의실험 결과
Fig. 2. Simulation results from the proposed analysis.

서만 계산한 성능분석의 결과는 모의실험과 잘 맞지 않는다. 반면 제안한 $M$-ary와 PN 확산이 이루는 대역폭 확장의 조합에 따른 성능분석의 결과는 모의실험과 잘 들어맞음을 알 수 있다.

특히 사용자 수가 15명 이하이고 $M$이 32이상일 때는 $M$-ary에 의한 성능개선의 효과가 크다. 따라서 비슷한 전체 대역폭 확장이라도 M-ary가 높아질수록 비트오율이 많이 감소한다. 이러한 결과에서 보듯이 $M$-ary와 PN 확산을 갖는 CDMA 시스템의 성능분석을 할 때는 전체 대역폭 확장만을 대상으로 하는 것보다, III절에서 제안한 것과 같이 대역폭 확장을 일으키는 M-ary와 PN 확산 블럭을 분리해서 성능분석 하는 것이 더 정확하다. 참고로 그림 2를 보면 사용자 수가 증가할수록(약 20명 이상) $M$-ary의 증가에 따른 성능개선의 효과가 적다. 반면에 $M$이 증가할수록 수신기의 상관기 수가 급격히 많아지기($M$개만큼 필요) 때문에 수신기가 더욱 복잡해진다. 그러므로 CDMA 시스템의 전체 대역폭 확장에 비해서 사용자 수가 많을 경우에는 M을 크게 할 필요가 없다. 따라서 시스템을 설계 할 때는 시스템의 성능과 복잡성을 적절히 절충해야 할 것이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 M-ary와 PN 확산의 조합이 존재하는 CDMA 시스템의 성능분석 방법을 제안하고 모의실험을 통해 그 타당성을 확인하였다. 여기서 제안한 방법은 $M$-ary 변조와 PN 확산에 의해 일어나는 전체 대역폭 확장을 사용하지 않고, 각각의 대역폭 확장에 대해 개별적으로 성능분석을 하는 방법이다. 비록 $M$-ary와 PN 확산의 조합이 이루는 전체 대역폭 확장이 같다 하더라도, 두 블럭 각각의 대역폭 확장의 조합에 따라 시스템의 성능이 달라짐을 알 수 있었다. 그리고 SINR이 높을수록 $M$-ary에 의한 대역폭 확장이 PN 확산에 의한 대역폭 확장보다 비트오율을 더 많이 감소시키는 것을 볼 수 있었다. 반면 SINR이 낮을 때는 $M$-ary에 의한 대역폭 확장이 효과가 적었다. 본 논문에서 제안한 방법으로 유도한 SINR 식과 비트오율 식이 $M$-ary에 의한 성능개선의 효과를 반영했기 때문에 모의실험 결과와 잘 들어맞아 우수한 성능분석 방법임을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] R. Padovani, “Reverse link performance of IS-95 based cellular systems,” *IEEE Personal Commun.*, vol. 1, no. 3, pp. 28-34, Third Qrtr. 1994.
[2] K. S. Gilhousen et al., “On the capacity of a cellular CDMA system,” *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 40, no.2, pp. 303-311, May 1991.
[3] J. G. Proakis, *Digital Communications*. McGraw-Hill, Inc., 1995.

### 저 자 소 개

류 길 현(정회원)
1991년 경북대학교 전기공학과 학사
1995년 경북대학교 전자공학과 석사
2009년 경북대학교 전자공학과 박사
2003년~현재 삼성전자 System LSI 사업부 수석연구원
<주관심분야 : 통신시스템, 스마트 안테나>