

다중경로 페이딩 및 다중사용자 채널 환경에서 Trellis 부호화를 이용한 DS/SSMA 시스템의 성능분석

Performance Analysis of the Trellis Coded DS/SSMA System in Multipath Fading and Multiuser Channel Environments

박 승 근*, 목 진 담*, 강 봉 권**, 전 기 용***, 조 성 호****

(Sung-Geun Park*, Jin-Man Mok*, Bong-Kwon Kang**, Ki-Yong Jeon***, Sung-Ho Cho****)

요 약

본 논문에서는 다중경로 Rayleigh Fading과 다중사용자가 동시에 존재하는 채널환경에 대해 TCM (Trellis coded modulation)이 적용된 DS/SSMA (direct sequence/spread spectrum multiple access) 시스템의 성능을 분석하였다. 이를 위해 시스템의 Pairwise 오류확률을 나타내는 관계식을 유도하였다. 기존의 연구가 다중사용자 간섭만이 고려된 제한적인 환경에 대한 것임에 비해, 본 논문에서는 다중사용자 환경과 다중경로 환경이 복합적으로 고려되었다. 분석내용의 타당성을 간접적으로 검증하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였으며, 유도된 관계식에 의한 결과가 다중경로와 TCM의 영향을 제외한 제한적인 경우에 대해, 기존의 것과 동일하다는 것을 알 수 있었다. 또한 다중경로간섭과 다중사용자간섭 환경에서 DS/SSMA 시스템에 TCM을 적용할 경우, 부호화하지 않은 QPSK 경우에 비해 성능이 크게 향상됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we investigate the performance of the direct sequence/spread spectrum multiple access (DS/SSMA) system using the Trellis coded modulation (TCM) technique in both multipath fading and multi-user channel environments. For this, an expression that represents the pairwise bit error probability of the system is derived. Unlike the existing results that were performed in a more restrictive condition considering only the multi-user effect, the effects of the multipath fading as well as the multi-user environments are compositely taken into account. In order to check the validity of our analysis, although not direct, computer simulations are carried out, and they show that our expression matches exactly with the previous work for which the TCM and the multipath effects were disregarded. Moreover, it is observed that the performance of the Trellis coded DS/SSMA system can be improved dramatically comparing to the uncoded QPSK system in the multipath fading and multi-user channel environments.

I. 서 론

이미 상용화되어 널리 사용되고 있는 code division multiple access (CDMA) 시스템에서와 같이, direct sequence /spread spectrum multiple access (DS/SSMA) 개념의 시스템은 현재 많은 사람들의 주목을 받고 있다 [1]. 그러나 실제 DS/SSMA 시스템을 구현함에 있어서 다중경로 fading과 다중사용자에 의한 간섭은 통화품질에 심각한 위협이 되고 있다. 이러한 다중 간섭을 극복하기 위하여는 채널코딩 기술의 도입이 필수적이며, 실제로 CDMA 시스템에서는 길쌈부호 (convolutional code)가 사용되고

있다. 길쌈부호는 그러나 정보 비트에 비트에 부가 비트 (redundant bit)를 부가함으로써 대역폭이 확장되는 단점이 있다.

Trellis coded modulation (TCM)은 부호화와 변조를 일체화한 방식으로, 부호화와 변조가 독립적으로 설계된 기존의 부호화 방식과는 달리 대역폭의 확장 없이 additive white Gaussian noise (AWGN) 채널하에서 약 3~6 dB 정도의 부호이득 (coding gain)을 얻을 수 있다 [2], [3]. 따라서 현재 대부분의 무선통신에서와 같이 대역폭이 제한되어 있는 채널에 특히 유용하게 사용될 수 있다.

AT&T의 Kavehrad를 [4]-[9] 비롯한 많은 사람들이 DS/SSMA 시스템에 대하여 Rayleigh, Rician, Nakagami fading 환경에 대해 성능분석을 통하여 비트오류확률을 나타내는 관계식을 구하였다. 여기서는 모두 길쌈부호 또는 블록코드 및 다이버시티가 고려되었다. 이 연구들의 결과로서, 부호화나 다이버시티를 적용하지 않은 경

*한국전자통신연구소
**한국통신
***LG정보통신 전송연구단
****한양대학교 전자공학과
접수일자: 1996년 10월 31일

우 DS/SSMA 시스템의 성능은 매우 열악한 성능을 나타낸다는 사실을 알 수 있었다 [5]. Laforgia [10] 등은 이들 시스템에서 나타나는 다중경로잡음과 다중사용자들의 간섭 잡음의 영향에 따른 조건부 오류확률을 구하기 위해 Gaussian Quadrature Rule (GQR)을 적용하였는데, 매우 정확한 오류 확률을 구할 수 있었다.

Boudreau [3] 등은 처음으로 DS/SSMA 시스템에 TCM을 적용하여 성능을 분석하였다. 그들은 DS/SSMA 시스템에 TCM을 적용하는 것보다 연판정 (soft decision)에 의한 길쌈부호를 적용한 방법이 대역폭 확장을 고려하지 않을 경우 더 나은 성능을 가진다는 사실을 보였다. 그런데 이 시스템 모델은 다중경로 fading 및 다중사용자 간섭의 영향이 고려되어 있지 않고, 단지 AWGN 채널과 단순 지연만이 고려되어 있다. 한편, Woerner [11]는 DS/SSMA 시스템에 TCM을 적용시, 특정한 경우에는 Boudreau의 결과와 동일한 결과를 얻지만 동일한 코딩 복잡도와 데이터 속도하에서 길쌈부호 보다 나은 성능을 가질 수 있다는 사실을 밝혔다.

Boudreau의 연구에서 사용된 채널 모델은 그러나, 실제 무선채널의 모델과는 상당한 차이가 있으며 좀 더 실제환경에 가까운 시스템 모델의 설정이 필요하다. Kavehrad와 많은 사람들이 적용한 DS/SSMA 시스템은 Rayleigh fading하의 다중경로 간섭과 다중사용자 간섭을 모두 고려하였기 때문에 Boudreau가 적용한 채널모델보다 실제 채널환경에 가깝다. 따라서 Rayleigh fading과 같은 다중경로 간섭과 다중사용자 간섭이 동시에 존재하는 채널에서 TCM이 적용된 DS/SSMA 시스템의 성능에 대해 좀 더 정확한 검증할 필요가 있다.

본 논문에서는 다중경로 Rayleigh Fading과 다중사용자가 존재하는 채널환경에 대해 TCM을 이용한 DS/SSMA 시스템의 성능을 분석하였다. 이를 위해 TCM과 다중간섭 및 다중사용자 채널특성이 복합적으로 고려된 시스템의 Pairwise 오류확률을 나타내는 관계식을 유도하였다. 이때 다중경로 및 다중사용자의 간섭을 해석하기 위해 Laforgia [10]에 의해 그 정확성이 널리 알려져 있는 GQR 방법을 사용하였는데, GQR은 모멘트 (moment)를 결정하여 수행한다. 그리고 TCM의 해석은 일반화된 전달함수방법 (generalized transfer function method)을 이용하였다.

II. 시스템 모델

TCM 시스템은 대역폭이 제한된 채널상에서 디지털신호의 전송을 위해 채널부호화와 변조기법을 결합시킨 기술이다. Trellis diagram의 성질 중에서 부호기로 들어가는 모든 정보 sequence가 부호화되면서 Trellis diagram 상에서 하나의 유일한 경로와 상응된다는 성질을 이용한 것이다. TCM은 데이터 전송률을 희생시키거나 대역폭을 증가시키지 않고 부호이득을 얻을 수 있다.

TCM에서는 부호율이 $n/(n+1)$ 인 부호기를 이용하여 신호의 수를 2^n 개에서 2^{n+1} 개로 2배 확장시킨다. 그리고 mapper를 이용한 집합분할 (set partitioning) 기법에 의하여 인접한 신호사이의 Euclidean 거리가 증가하도록 mapping 한다. 인접 신호점 간의 자유 Euclidean 거리를 최대화하기 위해서, 부호기의 출력신호 사이의 거리가 최대가 되도록 신호집합을 연속적으로 분할하여 부집합 신호사이의 거리가 증가하도록 한다. 부호이득은 부호화된 시스템의 자유 Euclidean 거리가 기존 시스템의 최소 Euclidean 거리보다 클 때 발생한다. 따라서 신호의 수가 증가하여 인접신호 간의 Euclidean 거리가 감소해도 부호이득을 얻을 수 있다.

해석하고자 하는 시스템의 모델을 <그림 1>에 나타내었다. 시스템은 K 명의 사용자로 구성되어 있으며 동시에 비동기적으로 신호를 전송한다. 각각의 전송신호는 시간 지연과 함께 Rayleigh fading의 영향을 받는다. 우리가 수신하고자 하는 신호를 user 1이라 하고, 이 경우 L 개의 Rayleigh fading 모델을 갖는 다중경로로 구성되어 있다고 가정한다. 다른 user에 대하여는 Rayleigh fading 모델을 갖는 단일경로라 가정한다. User 1에 대한 경로에서는 하나의 전송 펄스가 랜덤한 시간 t_l , $l=1, \dots, L$ 순간에 수신되는데, t_l 은 한개의 symbol 구간 $(0, T)$ 동안에 걸쳐 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 그림에서 β_l 은 user 1의 l 번째 경로의 fading에 의한 감쇄계수를 나타내고, V_k 는 user 1을 제외한 k 번째 다른 user에 대한 fading 감쇄정도를 나타낸다.

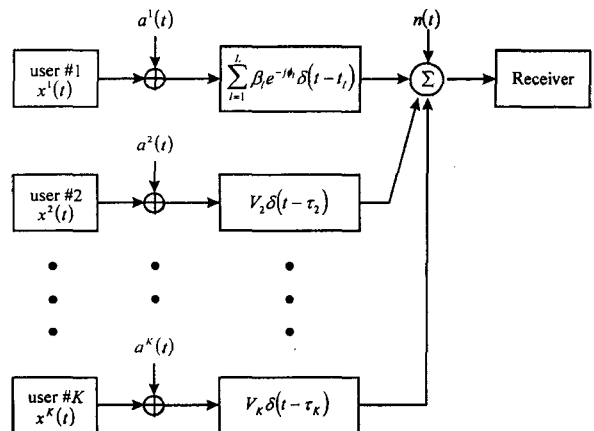


그림 1. DS/SSMA 시스템 모델

정보신호는 PN sequence에 의해 확산되기 전에 Trellis 부호화된다. 여기에서 mapper는 부호화 과정에서 발생하는 부가 비트 (redundant bit)가 포함된 부호화된 비트를 이용하여 부신호집합을 선택하고, 부호화되지 않은 비트를 이용하여 선택된 부집합 내에서 신호점을 확정하게 된다.

임의의 시간 $t = p$ 일때 user k 에 대한 복소 기저대역 출

력의 크기를 b_p^k , 위상을 Θ_p^k 라 한다면, Trellis 부호화된 복소기저대역 정보신호는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$x^k(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} x_p^k P_T(t - pT) \quad (1)$$

여기서

$$x_p^k = b_p^k \exp[j\Theta_p^k] \quad (2)$$

이고, $P_T(t)$ 는 펄스간격이 T 인 pulse wave이다. 또한 user k 에 대한 대역확산 신호는

$$a^k(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m^k \Psi(t - mT_c) \quad (3)$$

와 같이 표현되는데, 여기서 a_m^k 는 $+1$ 또는 -1 을 갖는 PN sequence이고 $\Psi(t)$ 는 chip 간격이 T_c 인 PN pulse wave이다. 따라서 user k 에 대한 결과적인 전송신호는

$$S^k(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \operatorname{Re} \left\{ \xi^k(t) \exp \left[j(\omega_c t + \theta^k) \right] \right\} \quad (4)$$

와 같이 표현할 수 있다. 여기서

$$\xi^k(t) = a^k(t)x^k(t) \quad (5)$$

이고, E_s , ω_c 및 θ^k 는 각각 symbol 에너지, carrier 주파수, 그리고 k 번째 user의 random phase를 나타내며, $\operatorname{Re}\{\cdot\}$ 는 $\{\cdot\}$ 의 실수부를 나타낸다.

다중경로가 존재하는 채널, 즉 user 1 ($k=1$)에 대한 채널에서의 지역통과 등가 임펄스응답 $h(t)$ 는

$$h(t) = \sum_{l=1}^L \beta_l \delta(t - t_l^1) \exp(j\phi_l^1) \quad (6)$$

로 표현되며, β_l 과 ϕ_l^1 은 각각 user 1의 l 번째 경로의 fading에 의한 감쇄계수와 위상변이를 나타낸다. 이때, 다른 user에 대한 채널의 임펄스응답은 감쇄 및 단순 지연만을 고려한다. 따라서 AWGN 채널을 통과하여 수신된 신호는

$$\begin{aligned} r(t) = & \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{l=1}^L \beta_l \xi^1(t - t_l^1) \exp \left[j(\omega_c t + \phi_l^1) \right] \right\} \\ & + \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=2}^K V_k \xi^k(t - t^k) \exp \left[j(\omega_c t + \phi^k) \right] \right\} \\ & + n(t) \end{aligned} \quad (7)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $n(t)$ 는 양측 전력스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN이고, $\phi_l^1 = \theta^1 - \omega_c t_l^1 + \phi_l^1$, $\phi^k = \theta^k - \omega_c t^k$ 이며, V_k 는 user 1을 제외한 k 번째 다른 user에 대한 fading 감쇄정도를 나타낸다. 이 수신신호가 수신기의 상관기를 통과하여 얻어진 복소 지역통과된 신호 $Y(t)$ 는 coherent 수신기 모델을 가정할 때, 다음 식으로 표현

된다.

$$Y(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \int_0^T r(t) \cdot a^1(t) \exp(-j\omega_c t) dt \quad (8)$$

다음 절에서는 Boudreau [3]에서 전개된 분석 방법을 확대 적용하여 위와 같이 모델링된 시스템의 성능을 살펴 보겠다.

III. 성능 분석

Trellis 부호화된 시스템의 성능분석을 위해서는 채널 특성이 고려된 Pairwise 오류확률을 구해야 한다. Pairwise 오류확률 $P(X \rightarrow \hat{X})$ 이란 전송된 임의의 sequence X 대신 sequence \hat{X} 으로 잘못 선택할 확률을 말한다.

p 번째 구간에 전송되는 complex symbol을 X_p , 이것이 complex channel을 통해 수신단에 입력되는 complex symbol을 Y_p , 그리고 Y_p 로부터 잘못 판단된 complex symbol을 \hat{X}_p 라 하자. 또한 이들 complex symbol들로 구성된 길이가 N 인 complex symbol sequence X, Y, \hat{X} 를 각각 다음과 같이 정의하자.

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (9)$$

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N) \quad (10)$$

$$\hat{X} = (\hat{X}_1, \hat{X}_2, \dots, \hat{X}_N) \quad (11)$$

그리고 다중경로 간섭성분을 나타내는 complex sequence Z^a 와 다중사용자 간섭성분 complex sequence Z^b 를 합한 complex sequence를 Z 라 하면, 이는 다음과 같다.

$$Z = Z^a + Z^b = (Z_1, Z_2, \dots, Z_N) \quad (12)$$

여기서 Z_p 는 p 번째 구간에서의 통합적인 채널 간섭성분을 나타내는 complex symbol이다. 따라서 p 번째 구간에서 채널을 통과하여 수신단에 입력되는 complex symbol Y_p 는 위의 두성분 X_p 와 Z_p 에 p 번째 구간의 complex Gaussian 잡음 symbol η_p 를 더한 것으로

$$Y_p = X_p + Z_p + \eta_p \quad (13)$$

로 주어진다.

임의의 두 사건 사이에 Pairwise 에러는 Chernoff bound [12]를 사용하여 그 한계를 결정할 수 있다. 간섭성분 sequence Z 가 발생하였다는 조건과 AWGN 채널에 최적의 metric을 사용하였다는 가정하에서 Chernoff bound를 적용함으로써 얻은 Pairwise 에러 확률을 수식적으로 표현하면 [12]

$$P(X \rightarrow \hat{X}|Z) \leq \prod_{p \in \nu} E \left\{ \exp \left[\lambda \left(|Y_p - X_p|^2 - |Y_p - \hat{X}_p|^2 \right) \right] \right\} \quad (14)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 ν 는 $X_p \neq \hat{X}_p$ 인 구간 p 의 집합이고 λ 는 Chernoff parameter이며, $E\{\cdot\}$ 는 $\{\cdot\}$ 의 통계적 기대치를 나타낸다. 임의의 symbol X_p 의 에너지를 E_s 라 했을때, 식(14)는 정규화시킨 symbol로 식(15)와 같이 동가적으로 다시 표현할 수 있다.

$$P(x \rightarrow \hat{x}|z) \leq \prod_{p \in \nu} \exp \left[-\lambda E_s |x_p - \hat{x}_p|^2 \right] \cdot E \left\{ \exp \left[-2\lambda \sqrt{E_s} \operatorname{Re} \left\{ \eta_p (x_p - \hat{x}_p)^* \right\} \right] \right\} \cdot E \left\{ \exp \left[-2\lambda \sqrt{E_s} \operatorname{Re} \left\{ z_p (x_p - \hat{x}_p)^* \right\} \right] \right\} \quad (15)$$

여기서 $x = X/\sqrt{E_s}$, $x_p = X_p/\sqrt{E_s}$, $\hat{x} = \hat{X}/\sqrt{E_s}$, $\hat{x}_p = \hat{X}_p/\sqrt{E_s}$, $z = Z/\sqrt{E_s}$, 그리고 $z_p = Z_p/\sqrt{E_s}$ 를 각각 나타낸다. 이때 에러가 발생한 신호의 complex symbol distance를 d_p 라고 하고 그것의 in-phase 및 quadrature 성분을 각각 d_I , d_Q 라 한다면, d_p 는

$$d_p = x_p - \hat{x}_p = d_I + jd_Q \quad (16)$$

와 같이 표현된다.

다중경로 간섭성분과 다중접속 간섭성분은 에러가 발생한 신호의 complex symbol distance d_p 와 다중경로 간섭 sequence Z^a 및 다중접속 간섭 sequence Z^b 를 곱한 후 실수부를 취함으로써 각각 얻을 수 있다. 이와같은 다중경로 간섭성분과 다중접속 간섭성분을 각각 γ_1 과 γ_2 , 그리고 이들의 합을 γ 라 한다면

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = \left(z_I^a d_I + z_Q^a d_Q \right) + \left(z_I^b d_I + z_Q^b d_Q \right) \quad (17)$$

여기서 $z^a = Z^a/\sqrt{E_s}$, $z^b = Z^b/\sqrt{E_s}$ 이고, superscript I와 Q는 각각 in-phase 및 quadrature 성분을 나타낸다.

식(16)와 (17)을 사용하여 식(15)에 있는 두개의 expectation을 각각 간단히 하면 [3]

$$E \left\{ \exp \left[-2\lambda \sqrt{E_s} \operatorname{Re} \left\{ \eta_p (x_p - \hat{x}_p)^* \right\} \right] \right\} = \exp \left[N_0 E_s \lambda^2 |x_p - \hat{x}_p|^2 \right] \quad (18)$$

$$E \left\{ \exp \left[-2\lambda \sqrt{E_s} \operatorname{Re} \left\{ z_p (x_p - \hat{x}_p)^* \right\} \right] \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[-2\lambda E_s \gamma \right] p(\gamma) d\gamma = \sum_{i=1}^{N_m} W_{pi} \exp \left(-2\lambda E_s \xi_{pi} \right) \quad (19)$$

를 얻는다. 특히 식(19)에서 W_{pi} 와 ξ_{pi} 는 각각 p 번째 구간 에 대해 Gaussian Quadrature Rule (GQR) [3], [13], [14]을 사용해서 얻은 i 번째 노드의 가중치와 노드값을 나타내며, N_m 은 전체 노드수를 나타낸다. W_{pi} 와 ξ_{pi} 는 먼저 γ 의 모멘트를 구한 후 그것을 GQR 알고리즘에 대입하여 구한다. 따라서 GQR을 적용하기 위해 구해야 하는 모멘트의 갯수는 $2N_m + 1$ 개가 된다.

위와 같은 과정을 거쳐 결과적으로 우리가 구하려는 pairwise 오류확률의 표현식은 다음과 같다.

$$P(x \rightarrow \hat{x}) \leq \prod_{p \in \nu} \exp \left[-\frac{E_s}{N_0} \lambda (1-\lambda) |x_p - \hat{x}_p|^2 \right] \sum_{i=1}^{N_m} W_{pi} \exp \left(-2\lambda \frac{E_s}{N_0} \xi_{pi} \right) \quad (20)$$

Chernoff parameter의 최적값을 구하기 위해 식(20)의 $\exp(\cdot)$ 항을 λ 에 대해 미분하고 0으로 놓으면 $\lambda=1/2$ 를 구할 수 있고[3], 이 값을 식(20)에 다시 대입하면 다음과 같이 표현된다.

$$P(x \rightarrow \hat{x}) \leq \prod_{p \in \nu} \exp \left[-\frac{E_s}{4N_0} |x_p - \hat{x}_p|^2 \right] \sum_{i=1}^{N_m} W_{pi} \exp \left(-\frac{E_s}{N_0} \xi_{pi} \right) \quad (21)$$

우리가 고려하는 변조방식은 QPSK이므로 식(21)의 구간 p 는 두가지 즉 $d=2$ 와 4일 경우로 나누어 생각할 수 있으며, 이들 구간을 각각 p_1 , p_2 라 하자. 부호화되지 않은 QPSK와 Trellis 부호화된 QPSK는 symbol 에너지 E_s 와 bit 에너지 E_b 가 동일하므로, Pairwise 오류확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$p(x \rightarrow \hat{x}) \leq D^{d^2(x, \hat{x})} \quad (22)$$

여기에서

$$D = \left[\sum_{i=1}^{N_m} W_{p1i} \exp \left(-\frac{E_b}{N_0} \xi_{p1i} \right) \right] \left[\sum_{i=1}^{N_m} W_{p2i} \exp \left(-\frac{E_b}{N_0} \xi_{p2i} \right) \right] \exp \left(-\frac{E_b}{4N_0} \right) \quad (23)$$

이고, Euclidean distance $d^2(x, \hat{x})$ 는

$$d^2(x, \hat{x}) = \sum_{p \in \nu} d_p^2(x_p, \hat{x}_p) \quad (24)$$

이다.

여기까지의 수식전개는 전개방법 측면에서 참고문헌 [3]을 많이 따르고 있지만 내용면에서는 다중경로의 영향

을 포함하기 때문에, 본 논문의 결과는 (3)의 확장된 것으로 간주할 수 있다.

W_{p1i} 와 ξ_{p1i} 과 W_{p2i} 와 ξ_{p2i} 의 값을 구하기 위하여는 다중경로 및 다중접속 간섭성분의 모멘트를 구한후 GQR 과정을 수행하여야 하는데, 자세한 식의 유도는 참고문헌 [15]를 따랐다.

IV. 실험 결과

우선 본 연구에서 TCM과 다중경로간섭을 고려하지 않고 QPSK를 PN sequence 길이 $N=127$ 인 DS/SSMA 시스템에 적용한 경우의 성능을 알아보았는데, 그 결과는 Kavehrad [5], [6]의 연구 결과와 동일하였다.

다음, 수신하고자 하는 신호가 다중경로에 의해 수신되고 다중접속으로 인한 다른 사용자의 간섭성분이 부가적으로 존재하는 DS/SSMA시스템에 대하여 Trellis 코드를 적용한 경우의 성능을 실험하여 그 결과를 (그림 2), (그림 3), 그리고 (그림 4)에 나타내었다. 각 경우에 대하여 적용한 TCM의 부호율은 1/2이고 QPSK를 사용하였으며, TCM의 상태수가 2인 경우와 4인 경우로 나누어 비교하였다. 우리가 원하는 신호의 세기는 Rayleigh 페이딩의 영향을 받은 다중경로 및 다중사용자 간섭신호의 잡음성분의 세기와 동일하게 두었다. 또한 다중사용자 수를 K 로, 그리고 다중경로의 수를 L 로 표현하였을 때, 다중사용자의 수와 다중경로의 수를 변화시켜 가며 각 경우의 성능을 분석하였다. 각 경우의 성능은 TCM의 일반적인 전달함수법에 의한 상한치로 나타내었다.

(그림 2)는 $K=2, L=1$ 인 경우의 성능곡선이다. 우선 TCM의 상태수가 4인 경우가 2인 경우 보다 성능이 좋을

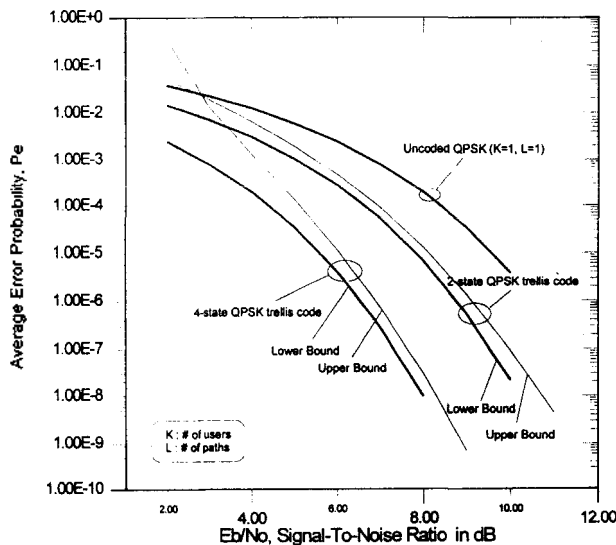


그림 2. TCM을 적용한 경우의 QPSK-DS/SSMA 시스템의 성능 ($K=2, L=1$)

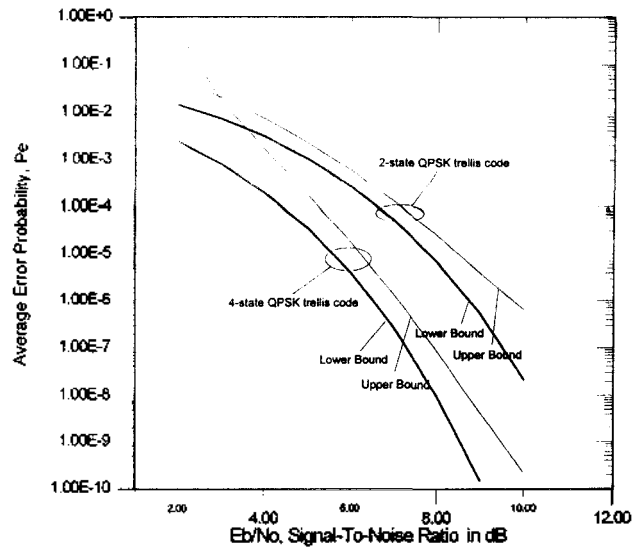


그림 3. TCM을 적용한 경우의 QPSK-DS/SSMA 시스템의 성능 ($K=5, L=6$)

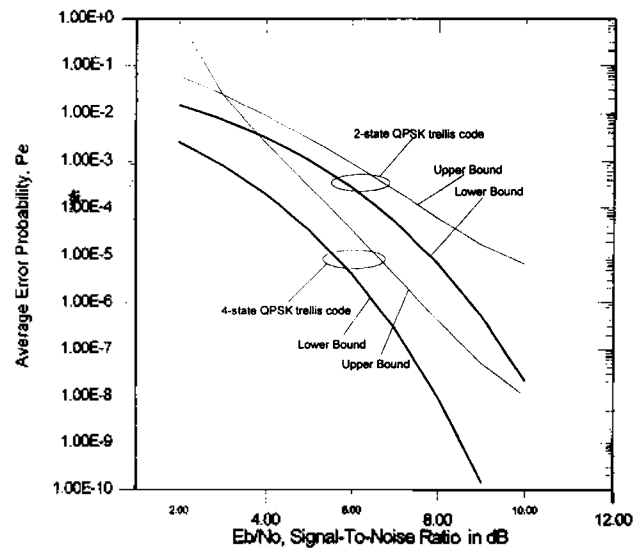


그림 4. TCM을 적용한 경우의 QPSK-DS/SSMA 시스템의 성능 ($K=10, L=10$)

성능은 더욱 향상되지만 수신단에서는 복호에 더욱 많은 부담을 갖게 된다. 그리고, TCM을 적용한 경우 사용자의 수 K 가 2임에도 불구하고, $K=1, L=1$ 이며 부호화하지 않은 QPSK를 적용한 경우에 비하여 비트오류확률 10^{-6} 에서 TCM의 상태수가 2인 경우는 약 1.5 dB, 상태수가 4인 경우는 약 3.5 dB 정도의 부호화이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 TCM을 적용할 경우 부호화하지 않은 QPSK의 성능에 비하여 많은 성능개선이 이루어짐을 알 수 있다.

(그림 3)과 (그림 4)는 각각 $K=5, L=6$ 인 경우와 $K=10, L=10$ 인 경우의 성능곡선이다. 각 성능곡선을 (그림 2)의 성능곡선과 비교해보면 사용자의 수가 많아

질수록, 또는 다중경로의 수가 많아질수록 성능곡선의 하한곡선과 상한곡선사이의 간격이 점점 벌어짐을 알 수 있다. 즉 사용자의 수가 많아질수록, 또는 다중경로의 수가 많아질수록 성능이 저하됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 AWGN 및 다중사용자와 다중경로의 Rayleigh 페이딩이 함께 존재하는 채널환경에서 TCM을 적용한 DS/SSMA 시스템의 한가지 모델을 제안하였고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 이를 위해 TCM과 다중간섭의 채널특성이 고려된 시스템의 Pairwise 오류확률을 나타내는 관계식을 유도하였다. 기존의 연구 [5], [6]가 다중사용자 환경이라는 제한적인 환경에 대해 관계식을 유도한 반면, 본 논문에서는 다중사용자 환경에 다중경로 환경을 추가로 고려하여 통합적인 개념의 관계식을 유도하였다. 한편, 본 논문에서 유도된 관계식에서 TCM과 다중경로간섭 환경을 배제시킨 결과는, 기존의 [5], [6]에 나타나 있는 결과와 동일함을 컴퓨터 모의실험을 통하여 확인하였고, 따라서 유도된 관계식이 타당하다는 것을 간접적으로 알 수 있었다. 그리고 다중경로 수를 1, 다중사용자 수를 2로 설정한 DS/SSMA 시스템에 TCM을 적용할 경우, 사용자의 수가 1이고 다중경로의 수가 1로 설정한 환경하에서 부호화하지 않은 QPSK를 적용한 경우에 비해 비트오류확률 10^{-6} 에서 TCM의 상태수가 2인 경우 약 1.5 dB, 상태수가 4인 경우 약 4.5 dB 정도 성능이 향상됨을 관찰하였다. 이와같은 실험 결과를 통하여 다중사용자간섭과 다중경로간섭을 통합적으로 고려한 환경하에서 TCM을 적용하는 경우의 성능이 부호화하지 않은 QPSK를 적용한 경우보다 더욱 향상됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. J.G.Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1989.
2. G. Ungerboeck, "Channel Coding with Multilevel/Phase Signals," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.IT-28, pp. 55-67, Jan. 1982.
3. G. Boudreau, D. Falconer, and S. Mahmoud, "A Comparison of Trellis Coded Versus Convolutionally Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-8, pp. 628-640, May 1990.
4. M. Kavehrad and P.J. McLane, "Spread Spectrum for Indoor Digital Radio," *IEEE Commun. Mag.*, vol.25, pp. 32-40, Jun. 1987.
5. M. Kavehrad, "Performance of Nondiversity Receivers for Spread Spectrum in Indoor Wireless Communications," *AT&T Tech. J.*, vol.64, pp.1181-1210, Jul.-Aug. 1985.
6. M.Kavehrad and P.J.McLane, "Performance of Low-Complexity Channel Coding and Diversity for Spread Spectrum in Indoor Wireless Communication," *AT&T Tech. J.*, vol.64,

pp.1927-1965, Oct. 1985.

7. M. Kavehrad and B. Ramamurthi, "Direct Sequence Spread Spectrum with DPSK Modulation and Diversity for Indoor Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp.224-236, Feb. 1987.
8. M. Kavehrad and G. E. Bodeep, "Design and Experimental Results for a Direct Sequence Spread Spectrum Radio Using Differential Phase Shift Keying Modulation for Indoor Wireless Communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.SAC-5, pp.815-825, Jun. 1987.
9. K. T. Wu and S. A. Tsaur, "Selection Diversity for DS/SSMA Communications on Nakagami Fading Channels," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol.43, pp.428-438, Aug. 1994.
10. D. Laforgia, A. Luvison, and V. Zingarelli, "Bit Error Rate Evaluation for Spread Spectrum Multiple Access Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-32, pp.660-667, Jun. 1984.
11. B. D. Woerner and W. E. Stark, "Trellis-Coded Direct-Sequence Spread-Spectrum Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-42, Dec. 1994.
12. D. Divsalar and M. K. Simon, "Trellis Coded Modulation for 4800-9600 bit/s Transmission over a Fading Mobile Satellite Channel," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-35, pp.162-175, Feb. 1987.
13. M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple Access Communication-Part I: System Analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-25, pp.795-799, Aug. 1977.
14. G.H. Golub and J.H. Welsh, "Calculations of Gauss Quadrature Rules," *Math. Comput. J.*, vol.26, pp.221-30, Apr. 1969.
15. 강봉권, "다중경로 채널하에서 Trellis 부호화된 DS/SSMA 시스템의 성능 분석," 한양대학교 석사학위논문, Dec. 1995.

▲박 승 근(Sung-Geun Park)

1967년 4월 5일생



1991년 2월: 고려대학교 응용통계학과 졸업(이학사)
 1993년 8월: 고려대학교 대학원 응용통계학과 졸업(이학석사)
 1993년 8월~현재: 한국전자통신연구원 무선통신표준연구실 연구원

※주관심분야: 무선통신, 정보통신 표준화

▲ **목진담**(Jin-Man Mok) 1954년 8월 30일생



1980년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 8월: 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학사)(공학석사)
1981년 7월~현재: 한국전자통신연구원 무선통신표준연구실 책임연구원

※주관심분야: 무선통신, 컴퓨터 네트워크, 정보통신 표준화

▲ **강봉권**(Bong-Kwon Kang) 1969년 7월 19일



1994년 2월: 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1996년 2월: 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1996년 3월~현재: 한국통신 품질평가국 연구원

※주관심분야: 유무선 전송 시스템

▲ **진기웅**(Ki-Yong Jeon) 1972 8월 18일생



1995년 2월: 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1997년 2월: 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1997년 3월~현재: LG 정보통신 중앙연구소 전송연구단 연구원

※주관심분야: 디지털통신, 신호처리 MPEG 시스템

▲ **조성호**(Sung-Ho Cho) 1960년 2월 21일생



1982년 2월: 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1984년 12월: University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
1989년 8월: University of Utah 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1989년 8월~1992년 8월: 한국전자통신연구소 부호기술부 선임연구원

1992년 9월~현재: 한양대학교 전자공학과 조교수

※주관심분야: 디지털통신, 무선통신, 신호처리, 정보통신 시스템