

나카가미 페이딩 환경에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 최대비 합성 다이버시티 기법에 의한 적응변조방식의 성능 분석

Performance Analysis of Adaptive Modulation Systems with Truncated Type-II Hybrid ARQ Scheme and MRC Diversity Techniques in Nakagami Fading Environment

양재훈 · 강희조

Jea-Hun Yang · Heau-Jo Kang

요 약

본 논문에서는 이동 통신 시스템에서 고속의 전송데이터를 전송할 시스템을 이루기 위해 적응변조 방식을 적용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 제안했다. 여기서, 나카가미 페이딩 채널 환경으로 적응변조 방식을 해석하였다. 적응변조 시스템은 나카가미 페이딩 지수에 따라서 변조 레벨과 심볼율을 제어할 수 있다. E_b/N_0 가 높거나 나카가미 페이딩 지수 m 이 높을 경우 이 시스템은 높은 변조 레벨과 높은 심볼율을 선택하여 전송 효율을 증가시키는데 목적이 있다. 이와 반대로, E_b/N_0 가 낮을 경우, 전송 성능 감소를 막기 위해 낮은 변조 레벨과 낮은 심볼율을 선택한다. 변조 방법으로는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16 QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64 QAM, 256 QAM을 채용하였다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 의한 적응변조 방식은 실시간(delay-limited)처리 및 고신뢰도가 요구되는 이동 통신 및 무선 데이터 통신 시스템에 적용이 가능하리라 판단된다.

Abstract

This paper proposes a Truncated Type-II Hybrid ARQ scheme using an adaptive modulation system to achieve high throughput data transmission systems for mobile communication systems. In this paper, the adaptive modulation system analyzed in Nakagami (m-distribution) fading channel environment. The adaptive modulation system controls the modulation level and symbol rate according to the Nakagami fading parameter(m). When the received E_b/N_0 is high or the Nakagami fading parameter m is high, the propose system selects higher modulation level and higher symbol rate to increase throughput. On the other hand, this system selects lower modulation level and lower symbol rate to prevent throughput performance degradation when the received E_b/N_0 is low. The modulation method have been adopted QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16 QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64 QAM, 256 QAM. Therefore, Adaptive Modulation Systems with Truncated Type-II Hybrid ARQ Scheme is proper for mobile and radio data communication system that require high reliability and delay-limited applications.

동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문 번호 : 20010525-070

· 수정완료일자 : 2001년 6월 29일

I. 서론

최근 육상 이동 통신의 보급·발전이 수반하여 디지털 육상 이동 통신에 있어서도 새로운 방식의 도입이 필수적이라고 생각되어진다. 육상 이동 통신의 통신 형태에 관해서는 이후에 각종 이동통신서비스의 통합화 등으로 발전하는 것이 예상되고, ISDN (Integrated Service Digital Network) 등의 통합 통신망과의 접속을 고려할 필요가 있다. 더욱이 전송 정보에 관해서도 일반적으로 음성 주체에서부터 데이터, 팩시밀리, 영상 등 다양화되고 있는 이때에 이와 같은 미디어 통신을 복합하고 동일 전송로 및 단말을 이용하는 멀티미디어 통신에 대한 요구가 높아져 가고 있다^[1].

육상 이동 통신에 있어서 이상과 같은 고도화 속에서 서비스를 실현하기 위해 한정된 주파수대를 이용한 디지털 무선 전송의 고속화 및 고품질화는 불가능하지만, 무선 전송 기술의 향상은 중요한 과제의 하나라고 할 수 있다. 이에 대해 전송로 상황의 순시적인 변동을 측정하여 그것에 대응하는 기준 비트 오류(BER : Bit Error Rate)를 만족하고, 또한 최대 할당 대역의 범위 내에서 전송 속도를 최대한으로 하여 변조 다차수와 심볼율을 변조 파라미터로 선택하는 적응변조 방식이 제안되고 있다^[2].

본 논문에서는 나카가미 페이딩의 심도 지수인 m 값에 따라 변화하는 채널환경에서 적응변조 방식을 적용하였을 경우에 QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM 방식의 오류 특성과 이 때 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법과 MRC 다이버시티 기법을 적용하였을 경우의 오류 특성을 비교·분석하였으며, 최종적으로 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 적용하였을 경우의 throughput 및 전송지연에 대한 성능을 분석하였다.

II. 해석 모델

2-1 적응변조 방식

적응변조 방식의 시스템에서 채널 환경은 나카가미 페이딩 채널 환경으로 해석하고, 사용하는 변조 방식으로는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying),

표 1. 나카가미 페이딩의 심도 지수 (m)

Table 1. Nakagami Fading parameter (m).

변조방식 Eb/No	일정 E_b/N_0 에서 기준오율 10^{-3} 을 얻기 위한 나카가미 페이딩의 심도 지수(m)			
	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
25 dB	1.1	1.4	2.5	15.7
27 dB	1	1.3	2	5.4
40 dB	0.66	0.79	0.99	1.29

16 QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM, 256 QAM을 사용하여 QPSK 변조 방식의 BER(예: 10^{-3})을 기준으로 각각의 변조 방식의 변조 비율을 결정한다. 그리고 표 1은 나카가미 페이딩 채널 환경에서 기준 오율을 10^{-3} 으로 하고, 각 변조 방식의 나카가미 페이딩의 심도 지수(m)를 결정한 결과를 나타낸다.

위와 같은 표에 의해 본 논문에서는 $m=1$ 인 경우 (레이리 페이딩 환경)의 QPSK를 기준으로하여 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM의 나카가미 페이딩의 심도 지수 (m)를 결정하고, 적응변조 방식을 행한다.

2-2 MRC 다이버시티 기법

모든 가지에서 m 과 γ 가 같고 서로 상관없다고 가정하고, 각 가지에 가중치를 준다고 할 때 나카가미 페이딩 환경에서 신호를 MRC 다이버시티로 수신시 SNR γ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 구해진다^[3].

$$p_m(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\bar{\gamma}}\right), \quad (1)$$

단, $\Gamma(\cdot)$: 감마함수, γ : 순시 SNR ($= R^2/2N$), $\bar{\gamma}$: 평균 SNR, m : 페이딩의 심도 지수, L : 다이버시티 가지수

2-3 적응변조 방식을 이용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식

그림 1은 적응변조 방식을 이용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식의 시스템 구조를 나타낸다^[4]. 본 방식에서는 Truncated Type-II Hybrid ARQ

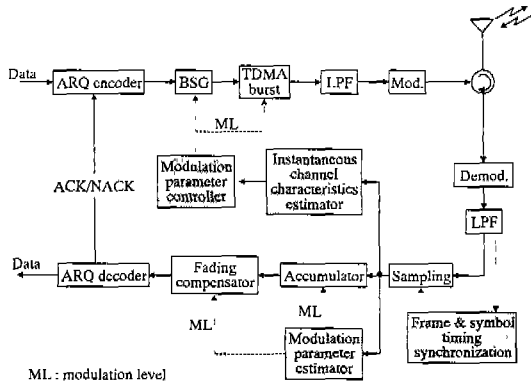


그림 1. 적응변조 방식을 이용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식의 시스템 구성
 Fig. 1. System composition of Truncated Type-II Hybrid ARQ method with Adaptive Modulation method.

방식을 수행하기 때문에 송·수신기에 각각의 오류 검출 부호의 부호기가 필요하고, 송신측 부호기에서는 송신되는 정보에 대해 오류 검출 부호화를 행하고 정보에 대해서 검사 비트를 부가한다. 수신측 복호기는 수신했던 정보의 오류검사를 하여 오류가 없는 경우에는 ACK(ACKnowledgement)를 반송하고, 수신 정보에 오류가 발생할 경우에는 NACK(Negative ACKnowledgement)를 반송한다. 본 논문에서는 한번 재전송 하는 경우를 고려한다.

III. 적응변조 방식을 이용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식의 성능 해석

3-1 각 변조 방식의 오율 특성

적응변조 방식으로 사용하는 변조 방식 QPSK에 나카가미 페이딩을 적용한 오율식은 다음과 같이 나타내진다.

$$P_{QPSK} = \int_0^{\infty} P_{eQPSK} \cdot p(R) dR \quad (2)$$

여기서, $P_{eQPSK} = \text{erfc}(\sqrt{\gamma})$,

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} R^2\right); m\text{분포 p.d.f.}$$

단, $\Omega = \overline{R^2}$

또한, 적응변조 방식으로 사용하는 변조 방식인 M진 QAM에 나카가미 페이딩을 적용한 오율은 식 (3)이고, 여기서 사용하는 변조방식은 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM을 고려하므로 $M=16, 64, 256$ 인 경우에 대해 해석한다.

$$P_{eMQAM} = \int_0^{\infty} P_{eMQAM} \cdot p(R) dR \quad (3)$$

여기서,

$$P_{eMQAM} = \frac{2(M-\sqrt{M})}{M} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{6\gamma}{M-1}}\right),$$

단, M : M-ary 수

3-2 적응변조 방식의 오율 특성

나카가미 페이딩 환경에서 각 변조 방식에 대해 변조 비율을 결정하고, 위의 표 1에서 m 값 변화에 의한 적응변조 방식의 오율식은 다음과 같이 나타난다.

$$P_e = W_1 P_{QPSK} + W_2 P_{16QAM} + W_3 P_{64QAM} + W_4 P_{256QAM} \quad (4)$$

여기서, W_1, \dots, W_4 는 전송로 특성에 대응할 수 있는 각 변조 방식의 변조 비율이다.

3-3 적응변조 방식을 이용한 MRC 다이버시티 기법의 오율 특성

나카가미 분포 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시의 적응변조 방식의 오율식은 다음과 같이 구해진다^[5].

$$P_{eM} = \int_0^{\infty} P_e \cdot p_m(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

3-4 적응변조 방식을 이용한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식의 오율 특성

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시 전송 효율 μ 를 고려한 적응변조 방식의 오율식은 다음과 같이 구해진다^{[6],[7]}.

$$P_e = W_1 P_{QPSK} + W_2 P_{16QAM} + W_3 P_{64QAM} + W_4 P_{256QAM} \quad (6)$$

$$P_{QPSK} = \int_0^{\infty} \text{erfc}(\sqrt{\gamma_c}) \cdot p(R) dR,$$

$$P_{MQAM} = \int_0^{\infty} \frac{2(M-\sqrt{M})}{M} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{6\gamma_c}{M-1}}\right) \cdot p(R) dR$$

단, $\gamma_c = \frac{1}{\mu} \gamma$

전송효율 μ 는 다음 식으로 정의되며, 이의 역수는 throughput을 나타낸다.

$$\mu = \frac{n}{k} [P_c + 2(1 - P_c - P_b)P_d] \quad (7)$$

여기서, k/n : 부호율,

$P_c = (1 - P_e)^n$: 수신 신호에 오류가 없을 확률,

$P_b \leq [1 - (1 - P_e)^k] 2^{-(n-k)}$: C_0 부호를 수신한 후 검출 불가능한 오류를 가질 확률,

$P_d = P_c + (1 - P_c - P_b) \frac{q_0 - y}{1 - y}$: 패리티 비트를 수신한 후 변환 과정을 통해 원래의 신호로 복호 가능할 확률,

단, $q_0 = \sum_{j=0}^k \binom{2n}{j} P_e^j (1 - P_e)^{2n-j}$,

$$y = (1 - P_e)^n \left[2 \sum_{l=0}^k \binom{n}{l} P_e^l (1 - P_e)^{n-l} - (1 - P_e)^n \right]$$

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시의 수신 오류 확률을 $P_r(E)$ 라 할 때, 본 논문에서는 한 번만 재전송 하는 경우를 고려하므로 오율식은 다음과 같이 된다.

$$P_r(E) = P_r(A_0^e) + P_r(A_0^d E_1^E) = P_r(A_0^e) + P_r(A_0^d) P_r(E_1^E | A_0^d) \quad (8)$$

위의 식에서 A_0^e, A_0^d 는 각각 수신신호가 검출 불가능한 오류를 가질 경우와 검출 가능한 오류를 가질 경우를 나타내며, E_1^E 는 재전송된 패리티 비트를 수신한 후 정정 불가능한 오류를 가질 경우이다. 각각의 정의에 따르면

$$P_r(A_0^e) = P_b,$$

$$P_r(A_0^d) = P_d = 1 - P_c - P_b$$

이다. 전송된 C_0 부호에 대해 오류 검출을 행하여 오류가 발생한 신호를 버퍼에 저장하고, 이를 재전송된 패리티 비트를 이용하여 원신호를 복호해낼 확률 q_1 은 다음과 같이 주어진다.

$$q_1 = \frac{q_0 - y}{1 - y}$$

패리티 비트를 수신한 후 원래의 정보를 복호하지 못할 확률은 수신신호가 검출 불가능한 오류 패턴을 가질 확률과 정정 불가능한 오류 패턴을 가질 확률의 합이 되므로

$$P_r(E_1^E | A_0^d) = P_e + P_d(1 - q_1)$$

이 된다. 그러므로 각각의 경우를 식 (8)에 대입하면 최종 오율식은 다음과 같이 구해진다^[6].

$$P_r(E) = P_b + P_d \left(P_b + P_d \left(1 - \frac{q_0 - y}{1 - y} \right) \right) \quad (9)$$

전파지연(propagation delay)을 T_p , 채널의 데이터율을 R_d , 블록길이를 n , ACK(또는 NACK)시간을 T_a 라 할 때, Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시의 전송지연 D_t 는 다음과 같다.

$$D_t = T_p + \frac{n}{R_d} + \left(2T_p + T_a + \frac{n}{R_d} \right) P_d \quad (10)$$

IV. 해석 결과 및 검토

본 논문에서는 나카가미 페이딩 환경에서 QPSK, 16Q AM, 64 QAM, 256 QAM 변조 방식의 오율식을 유도하여 각 변조 방식을 독립적으로 사용한 경우의 오율특성과 적응변조 방식을 채용한 경우의 오율 특성을 비교하였다. 또한, 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 도입한 경우와 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티 기법을 도입한 경우의 오율 특성을 분석하였다. 나카가미 페이딩 심도 지수 (m), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0)등을 함수로 하여 이론 해석한 결과를 그림 2~그림 6에 나타내었다.

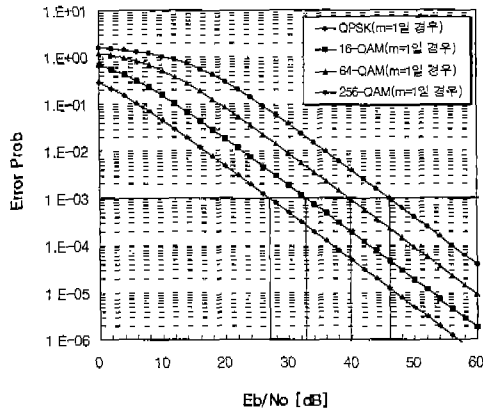


그림 2. 나카가미 페이딩 환경에서 각 변조 방식의 오율 특성 ($m = 1$)
 Fig. 2. Error probability of every modulation method in Nakagami fading channel ($m = 1$).

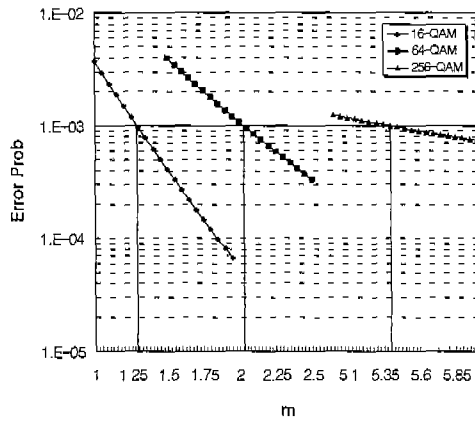


그림 3. 나카가미 페이딩의 심도 지수(m) 변화에 따른 각 변조방식의 오율 특성 ($E_b/N_0 = 27$ [dB])
 Fig. 3. Error probability of every modulation with a variation of the Nakagami fading parameter(m).

그림 2는 나카가미 페이딩에서 m 값이 1인 환경, 즉, 레일리 페이딩 환경에서 각 변조 방식의 오율 특성을 나타낸 것으로, 음성 통신의 기준 오율인 1×10^{-3} 에서 QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM에 대한 각각의 E_b/N_0 는 약 27[dB], 33[dB], 40[dB], 46[dB]임을 알 수 있다. 그림 2에서 QPSK 방식을

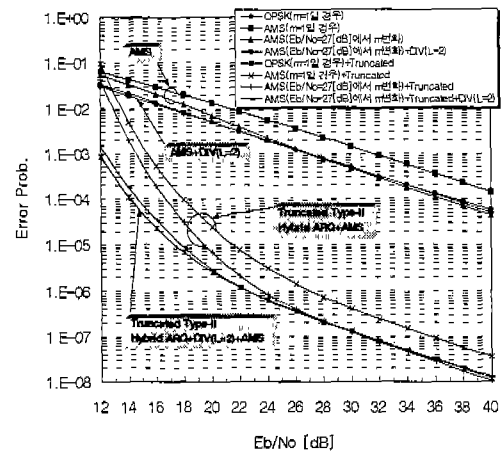


그림 4. 적응변조 방식에서 성능 개선 기법을 채용한 경우의 오율 특성 비교
 Fig. 4. Error probability comparison of adopting performance improvement technique in Adaptive Modulation method.

기준으로 E_b/N_0 의 값은 적응변조 방식을 행하는데 있어서 각 변조 방식의 변조 비율을 결정하게 된다. 그림 3은 나카가미 페이딩의 심도 지수(m) 변화에 따른 각 변조 방식의 오율 특성을 나타낸 것으로, 각 변조방식이 동일한 오율을 얻기 위한 m 값을 나타낸다. 그림 3에서 예를 들어 $E_b/N_0 = 27$ [dB]를 기준으로 QPSK 방식은 $m = 1$ 인 경우 1×10^{-3} 의 오율을 가지며, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM 방식은 $m = 1.3, 2, 5.4$ 에서 1×10^{-3} 의 오율을 갖음을 알 수 있다. 따라서 그림 3의 결과에 의해 나카가미 페이딩 환경에서 $m = 1$ 인 경우의 QPSK신호의 오율을 기준으로 하여 m 값을 결정한다.

그림 4는 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용한 경우와 채용하지 않은 경우 및 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티 기법을 동시에 채용한 경우의 오율 특성을 비교한 것으로, Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용함으로써 오율 특성은 현저하게 개선되고, Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티를 동시에 사용하는 경우의 오율은 $m = 1$ 인 QPSK 기준 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 적용한 오율 특

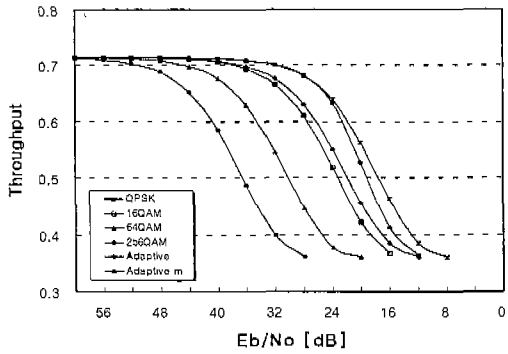


그림 5. 각 변조 방식과 적응변조 방식에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용한 경우의 throughput 비교

Fig. 5. Throughput comparison of adopting Truncated Type-II Hybrid ARQ method in every Modulation method and Adaptive Modulation method.

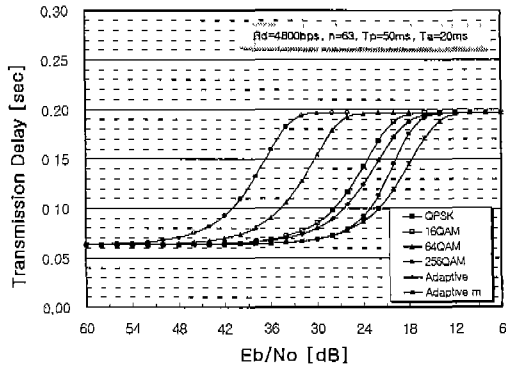


그림 6. 각 변조 방식과 적응변조 방식에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용한 경우의 전송지연 비교

Fig. 6. Transmission delay comparison of adopting Truncated Type-II Hybrid ARQ method in every Modulation method and Adaptive Modulation method.

성에 접근함을 보인다. 그리고 그림 4에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용한 경우 $E_b/N_0 = 27$ [dB]에서 m 값이 변화할 때 적응변조 방식과 QPSK 방식에서 $E_b/N_0 = 27$ [dB]일 때 약 8×10^{-4} 의 오율 개선을 성취함을 알 수 있다.

그림 5는 각 변조 방식과 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용할 때의 throughput을 각각 비교한 것으로, 낮은 $E_b/N_0 = 27$ [dB]에서 m 값이 변화할 때 즉, 채널환경이 변화할 때 적응변조 방식을 이용하면, 채널환경이 일정한 경우에 각각의 QAM 방식과 적응변조를 행하였을 때의 throughput 보다 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 보여준다. 또한 채널환경이 일정할 경우 QPSK 방식의 throughput과 비교하여 보면 조금 감소한 정도의 성능을 나타냄을 알 수 있다.

그림 6은 채널의 데이터율을 $R_d = 4800$ bps, 부호 길이를 $n = 63$, 전파지연을 $T_p = 50$ ms, ACK(또는 NACK) 시간을 $T_a = 20$ ms라 할 경우 각 변조 방식과 적응변조 방식에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식을 채용할 때의 전송지연을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 본 논문에서 고려한 기준 방식인 채널환경이 일정할 경우 QPSK 방식의 전송지연과 채널환경이 변화할 경우의 적응변조 방식을 비교해 보면 전송지연의 차이가 적음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 나카가미 페이딩의 페이딩 심도 지수 m 값을 고려한 채널환경에서 적응변조 방식을 적용한 시스템의 성능을 분석하였으며, 성능 개선 기법으로 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티 기법을 채용하였을 경우의 성능 개선과 throughput 및 전송지연에 관한 특성을 채널 환경이 일정한 경우의 QPSK 방식을 기준으로 각각 비교하였다.

m 값의 변화에 따른 적응변조 방식에 성능 개선 기법으로 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티 기법을 채용함으로써 데이터 통신과 같은 고신뢰도의 시스템에서 요구하는 1×10^{-6} 이하의 오율 특성을 얻을 수 있었고, 채널환경이 일정한 경우의 QPSK 방식과 비교하여도 그 성능 차이는 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 시스템에 적용하기 위해 throughput 과 전송지연 특성 비교에서도 큰 차이가 없는 결과로 전송로 상황이 순시적으로 변동하는 무선 데이터 통신 시스템에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식과 MRC 다이버시티 기

법을 채용한 적응변조 시스템이 적용될 수 있으리
라고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] N. Morinaga, M. Yokoyama and S. Sampei, "Intel ligent Radio Communication Techniques for Advanced Wireless Communications System", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, no. 3, pp. 214-221, 1996. 3.

[2] H. Matsuoka, S. Sampei, N. Morinaga and Yukiyoishi Kamio, "Adaptive Modulation System with Punctured Convolutional Code for High Quality Personal Communication Systems", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, pp. 328-334, no. 3, March 1996.

[3] Yu-Dong Yao, Tho Le-Ngoc, and Asrar U. H. Sheikh, "Block Error Probabilities in Nakagami Fading Channel", *IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 130-133, 1993.

[4] S. Sampei and T. Sunaga, "Rayleigh Fading Compensation for QAM in Land Mobile Radio Communication", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, VT-42, pp. 137-147, May 1993.

[5] W. Magnus, F. Oberhettinger and R. P. Soni, *Formulas and Theorems for Special Functions of Mathematical Physics*. 3rd ed., New York : Springer-Verlang, 1966.

[6] C. H. Oh, E. G. Kim and S. J. Cho, "Performance Improvement of SFH-CDMA/ FSK Signal with Truncated Type-II Hybrid ARQ and MRC Diversity Technique in Mobile Communication Channels", *IEEE International Conference on Communications*, vol. 3, pp. 1715-1721, June 1995.

[7] Q. Yang and V. K. Bhargava, "Delay and coding analysis of a truncated type-II hybrid ARQ protocol", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-40. no. 1. pp. 22-32, Feb. 1993.

양 재 훈



1998년 2월: 동신대학교 전기전자
공학과(공학사)
2000년 2월: 동신대학교 대학원 전
기전자공학과(공학석사)
1998년 3월~1999년 2월: 동신대
학교 전기전자공학과 조교
2000년 2월~현재: 동신대학교 대
학원 전기전자공학과(박사과정)

[주 관심분야] 무선통신, 이동통신, Adaptive Modulation

강 희 조



1994년 2월: 한국항공대학교 항공
전자 공학과(공학박사)
1994년 7월~1995년 12월: 전자통
신 연구원 위성망연구소 초빙연
구원
1996년 8월~1997년 8월: 오사카
대학교 공학부 통신공학과 Post

Doc.

1998년 3월~1998년 8월: 전자통신연구원 무선이동 위성
통신시스템 연구소 초빙연구원
2000년 6월~현재: 한국전자과학회 호남지부 지부장
1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학부 교수
[주 관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자
공학, 무선광통신, 밀리미터파 통신, ITS 통신시스템,
멀티미디어 통신, PELD 1.