

고속 이동 멀티미디어 통신을 위한 터보 부호 적응 QAM 시스템의 성능 분석

Performance Evaluation of Turbo coded Adaptive QAM Systems for High-speed Mobile Multimedia Communications

백 흥 현*, 정 연 호*
HeoungHyun Baek* · Yeonho Chung*

요 약

고속 멀티미디어 전송에 있어서 주파수 선택적 페이딩은 정보 전송율 및 BER 성능에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 효과적인 고속 전송을 위해 터보 부호기를 적용한 적응 QAM(Adaptive Quadrature Amplitude Modulation) 시스템을 제안한다. 친사용자 환경 시뮬레이션 플랫폼 SPW를 이용하여 터보 적응 QAM 시스템을 개발하여 주파수 선택적 채널 환경에서 수율(throughput) 및 BER 성능분석을 수행하였다. 지연 확산이 700ns와 1400ns인 두 전력 지연 프로파일을 생성시켜 수율 및 성능을 조사하였는데 지연 확산 700ns인 프로파일에서 적응 변조 시스템이 고정 QAM 변조 시스템보다 평균 0.1231 bits의 수율 향상을 얻을 수 있었고 약 3dB의 BER 성능 개선을 얻을 수 있었다. 지연 확산 1400ns인 경우에서도 적응 변조 시스템이 고정 변조 시스템보다 더 나은 BER 성능 향상을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Frequency selective fading is a limiting factor for transmission rate and performance in high-speed multimedia communications. In this paper, we propose a turbo coded adaptive quadrature amplitude modulation (QAM) system for efficient high-speed transmission. By making use of a user-friendly simulation platform of SPW, the proposed turbo coded adaptive QAM system(TuAQAM) is developed and its performance is evaluated in terms of throughput and BER performance. Two channel models having delay spreads of 700ns and 1400ns are created for the simulations. It is shown that the proposed TuAQAM system provides a performance improvement of approximately 3dB and improved throughput for the channel model whose delay spread is 700ns. Similarly, a performance improvement is also achieved for the channel model whose delay spread is 1400ns.

Key words : Adaptive modulation, Turbo code, QAM, Frequency selective fading

I. 서론

이동 통신 채널은 시간과 공간에 따라 급격히 변화한다. 이동 통신 채널의 상태가 상당히 양호한 조건에서 고

정된 변조 방식으로 정보를 전송한다는 것은 정보 전송량 측면에서 비효율적이다. 또한 멀티미디어 정보 전송 요구가 증가함으로써 사용자 정보 전송량과 정보 전송의 신뢰성에 대한 요구는 급격히 증가하고 있다. 이러한 정보 전송량과 신뢰성의 문제를 해결하기 위한 방법으로 효과적인 변조 방식과 부호화를 고려할 수 있다. 적응 변조는 채널의 시간적 변화를 감지하여 그 상태에 따라 전송량을 가변 시키는 기술이다. 이러한 적응 변조 시스템은 고정 변조 시스템보다 하드웨어의 복잡성은 증가하지

*부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

접수 일자 : 2004. 3. 18 수정 완료 : 2004. 7. 19

논문 번호 : 2004-1-11

※이 논문은 2001학년도 부경대학교 기성회 학술 연구비에 의하여 연구되었음

만 정보 전송량이나 신뢰성은 증가한다.

터보 코드는 Berrou, Glavieux와 Thitimajshima에 의해 1993년에 구체적인 개념이 정립되었고 샤논의 한계에 근접한 코드가 증명되었다[1].

최근 제 4세대 멀티미디어 전송 시스템으로 적응 변조 및 부호화 기술이 제안되고 있으며 특히 터보 코드가 차세대 부호화 기술로 고려되고 있다[2]. 본 논문에서는 차세대 고속 멀티미디어 전송을 위한 효과적인 시스템으로 터보 코드와 적응 시스템을 결합한 터보 적응 QAM 시스템을 제안한다. 제안한 터보 적응 QAM 시스템(TuAQAM) 성능 분석은 정보 전송률 및 성능에 큰 영향을 미치는 주파수 선택적 페이딩 환경에서 성능 및 수율을 고정 QAM 시스템과 비교 분석하였다.

II장에서는 터보 부호기에 대해 설명하고 III장은 적응 시스템 및 그 메카니즘에 관해 설명하고 IV장에서는 시뮬레이션 환경, 그리고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 터보 부호기

터보 부호기는 2개 이상의 RSC(Recursive Systematic Code) 부호기를 이용하여 두 부호기 사이에 인터리버를 두어 병렬 연결한 구조를 가지고 있다. 일반적으로 낮은 신호대 잡음비에서는 RSC부호가 같은 구조의 NSC(Non-systematic Code)부호보다 성능이 더 좋으며 높은 신호대 잡음비에서는 NSC부호의 성능이 더 좋게 나타난다[3]. 따라서 터보 부호기에서는 RSC 부호를 구성부호로 사용하고, 인터리버의 크기와 반복부호 횟수를 증가시킴으로써 우수한 성능을 얻는다. 그림 1은 cdma2000 시스템의 순방향 터보 부호기이며 평처링을 통해 1/2, 1/3 및 1/4의 부호율을 얻을 수 있다[4].

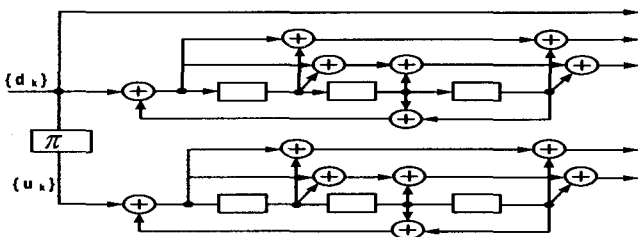


그림 1. 터보 부호기

Figure 1. Turbo encoder

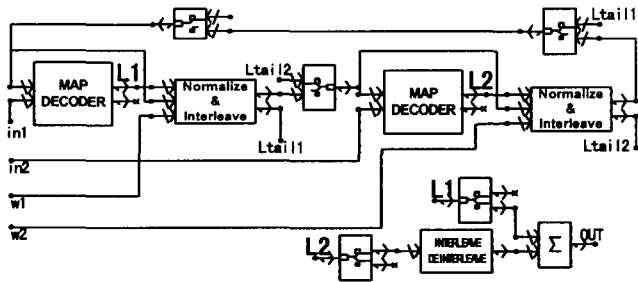


그림 2. 터보 복호기

Figure 2. Turbo decoder

터보 복호기는 두개의 MAP(Maximum a posteriori) 복호화 과정을 이용하여 복호를 실행한다. 이 때 복호기에서 나온 값을 순환적으로 다시 복호기의 입력에 대입하여 에러를 수정하게 된다. 여기서 이 순환 횟수를 증가하면 증가할수록 더 좋은 성능을 얻을 수 있다[5]. 하지만 순환 횟수를 증가시키면 계산량이 증가하므로 적절한 횟수가 요구된다. 본 논문에서는 순환 횟수를 3회로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 터보 복호기는 그림 2와 같은 cdma2000에 기반을 둔 MAP 방식의 터보 복호기를 사용하였다. 터보 부호기는 병렬로 연결된 형태에 반해, 터보 복호기는 복호기간의 정보를 서로 공유하여 보다 좋은 성능을 얻기 위해 직렬로 연결된 형태를 사용한다. 그림 2에서 보면 복호기의 입력은 정보 비트(in1, in2)와 패리티 비트(w1, w2)로 나누어 입력이 된다. 입력 in1이 첫 번째 MAP 복호기의 입력으로 들어간다. MAP 복호기의 출력은 인터리버를 통과하여 순환 신호(Ltai2)와 결합하고 입력 in2와 함께 두 번째 MAP 복호기의 입력이 된다. 첫 번째 반복 복호 단계에서 가능성비(Log-Likelihood Ratio: LLR) L1을 생성한다. L1은 입력된 정보와의 상관성을 없애기 위하여 입력 in1과 사전 정보를 제거하면 첫 번째 구성 복호기 L1의 외부 정보가 발생하고 w2와 순서를 맞추기 위해 인터리버를 통과시키면 두 번째 구성 복호기를 위한 사전 정보가 된다. L2는 입력 in2와 사전 정보가 제거되면서 디인터리빙 과정을 통해 다시 첫 번째 구성 복호기의 사전 정보가 된다. 이와 같은 반복 복호가 이루어지는데, 적절한 반복 횟수를 수행한 후 디인터리빙된 L2와 L1을 더한 출력을 판정하여 수신 데이터 비트를 결정하게 된다. 터보 복호기의 반복부호는 복호에서 출력 값을 연판정으로 보내 줌으로써 신뢰도의 정도를 판단하고 이것을 고려하여 반복적으로 복호를 수행하여 성능을 향상시킨다. 연판정 출력 값은 LLR로 표현되며, 복호화된 비트의 LLR(Log-Likelihood Ratio)은 식 (1) 와 같다.

$$L(d_k) = \log \left[\frac{P(d_k=+1|x)}{P(d_k=-1|x)} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 $P(d=i|x)$, $i=1, 1$ 은 데이터 비트 d 의 사전정보(A Priori Probability)이다. 복호된 비트 d 가 양의 값을 나타낼 경우는 식(1)에서 '1' 일 확률이 '-1' 일 확률에 비해 더 크다는 것을 의미하게 되고 이때 복호되는 값은 '1'이 된다. 음의 값을 나타낼 경우에는 반대로 '-1' 일 확률이 '1' 일 확률보다 클 경우이므로 이때 복호되는 값은 '0'이 된다. 따라서 출력 LLR(Log-Likelihood Ratio) 값은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L(\hat{d}) = L_c(x) + L(d) + L_e(\hat{d}) \quad (2)$$

여기서 $L_c(x)$ 는 채널의 신뢰 값과 수신된 systematic 정보 비트를, $L(d)$ 는 입력비트 \hat{d} 에 대한 사전정보의 LLR(Log-Likelihood Ratio)이고, $L_e(\hat{d})$ 는 외부정보 (extrinsic) LLR(Log-Likelihood Ratio)이다.

III. 적응 QAM 시스템

1. 차동 변조(Differential Modulation)

QAM 변조 기술은 위상과 진폭의 변화시킴으로서 신호를 변조하는 방식이다. 예를 들어 16-QAM의 성상도를 그림 3과 같다.

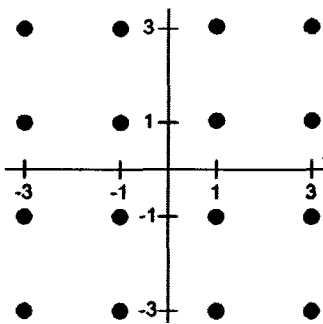


그림 3. 16-QAM 성상도
Figure 3. 16-QAM constellation

그림 3은 이차원 신호 공간을 나타내고 있으며 가로축은 실수를 세로축은 허수를 나타낸다. 일반적으로 정보 비트의 순서에 따라 일정한 성상도를 갖도록 변조된다. 각각의 성상도 점들은 해밍 거리(Hamming distance)를 일정하게 유지하기 위해서 그레이(Gray) 코드를 이용한다. 이런 과정을 거치면 최소 비트 에러 비율을 얻을 수 있다[6].

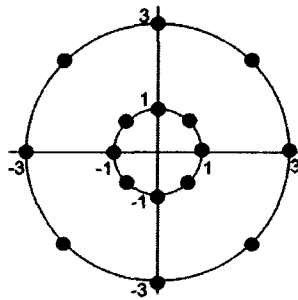


그림 4. 차동 16-QAM 성상도
Figure 4. Differential 16-QAM constellation

일반적으로 소형 및 경량 단말기 개발을 위해서는 전력 소모 및 저 비용은 중요한 이슈가 된다. 따라서 낮은 복잡도를 가지는 변조기술이 필요하게 되며 약간의 성능 열화를 초래하지만 저 복잡도의 비동기 차동 QAM 변조 기술을 적용한다. 본 논문에서는 자동이득제어(AGC) 및 반송파 복원 과정이 필요 없는 저 복잡도 차동 원형

QAM 변조기술을 기반으로 적응 변조시스템을 구성하였다[7]. 그림 4는 차동 원형 16-QAM의 성상도를 보여주고 있다.

예를 들어 차동 원형 16-QAM은 두 개의 링을 가지고 변조를 수행한다. 이때 QAM 변조 신호는 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$s(t) = I(t) \cos 2\pi f_c t - Q(t) \sin 2\pi f_c t \quad (3)$$

여기서

$$I(t) = A_m g_T(t) \cos \theta_n$$

$$Q(t) = A_m g_T(t) \sin \theta_n$$

$$m=1,2,\dots,M_1, \quad n=1,2,\dots,M_2$$

이며 A_m 은 QAM 신호의 진폭을 나타내고, $g_T(t)$ 는 펄스 형성 함수이며, f_c 는 반송 주파수를 나타낸다. 본 논문에서는 M_1 은 2를 사용하였으며 M_2 는 각각의 링에 대한 페이지 수를 나타낸다. 본 논문에서 적용된 차동 변조 방식은 다음과 같다.

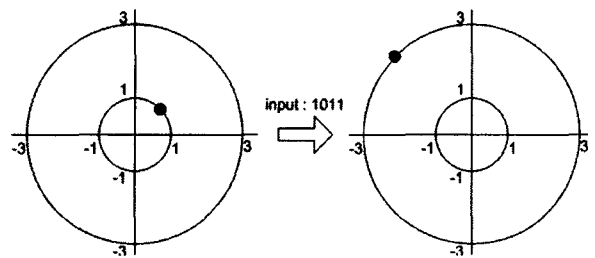


그림 5. 차동 변조 방법(16-ary QAM)
Figure 5. Differential QAM(16-ary QAM)

그림 5의 좌측 그림과 같이 16-ary QAM에서 이전 심볼시간에 입력된 데이터에 의해 진폭이 1이고 위상이 45도로 변조됐다고 가정하자. 현재의 4개의 입력 비트(예를 들어 1011)중에서 첫 번째 비트는 링의 진폭을 결정한다. 0이 입력 값으로 들어오면 기존의 링을 유지하고 1이 입력된다면 사용되지 않은 링으로 변경된다. 따라서 기존의 링의 크기가 1이고 입력 비트가 1이므로 현재 링의 크기는 3이 된다. 나머지 세 개의 비트는 위상을 결정한다. 이들 비트에 의해 이전 심볼 위상 45도를 기준으로 위상을 변경시킨다 (그림 5의 우측 그림은 90도의 위상변화를 예시하고 있다). 다음 입력 심볼(네개의 비트)은 현재의 성상도 위치에서 차동적으로 성상도 위치가 결정된다.

2. 적응 변조 메커니즘

적응 변조 시스템은 일정한 BER(Bit Error Rate)를 유지하면서 수율(Throughput)을 증가시키는 기술이다. 여기서 적응 변조를 위한 파라미터는 채널 조건을 나타낼 수

있어야 한다. QAM 신호의 심볼 에러 확률은 다음 식과 같이 표현된다[8].

$$P_e \leq 2 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\gamma}{2(M-1)}} \right) \quad (4)$$

여기서 M 은 심볼의 개수이고 γ 는 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)이다. 이때 γ 가 큰 값을 가진다고 가정하면, 심볼 에러 확률은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$P_e \approx \exp^{-1.5\gamma/(M-1)} \quad (5)$$

식 (5)를 주어진 에러 확률에 대해서 M 으로 나타낸다면 $M(\gamma) = 1 + C_a \gamma$ (6)

이다. 여기서 C_a 는 특정한 에러 확률에 대해서 상수값을 가진다. 그러므로 가산성 백색잡음(AWGN) 채널에서 QAM의 수율은 식 (7)과 같다.

$$T(\gamma) = \log_2(1 + C_a \gamma) \quad (7)$$

페이딩 채널에서의 수율은 가산성 백색잡음과 같은 방법으로 계산 될 수 있다. 단일 사용자를 가정하여 레일리 페이딩 채널 환경에서의 SINR 확률 밀도 함수(pdf)는 식 (8)과 같다.

$$f(\gamma) = \frac{1}{\Gamma} \exp^{-\gamma/\Gamma}, \quad \gamma \geq 0 \quad (8)$$

Γ 는 평균 SINR이다. 그러므로 레일리 페이딩 채널에서의 QAM 성능은 AWGN 채널에 대한 성능의 평균으로 나타내어지고 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \langle P_e \rangle &\approx \int_0^\infty \exp^{-1.5\gamma/(M-1)} f(\gamma) d\gamma \quad (9) \\ &= \frac{1}{\left(1 + \frac{1.5\Gamma}{M-1}\right)} \end{aligned}$$

그러므로 Γ 에 대한 심볼의 수는 식 (10)과 같다.

$$M(\Gamma) = 1 + C_\gamma \Gamma \quad (10)$$

C_γ 는 특정 평균 에러 확률에 대해서 상수이다. 그러므로 레일리 페이딩 채널에서의 데이터 수율은 주어진 평균 에러 확률에 대해 평균 SINR에 종속적임을 알 수 있다. 따라서 평균 SINR을 파라미터로 적응 변조를 수행하여 수율을 증가시킬 수 있다.

적응 변조의 또 다른 문제는 변조 레벨을 결정하는 방

법이다. 주파수 선택적 페이딩 채널에서 부적절한 변조 레벨은 비트 오류를 증가시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 두 개의 전송 블록 사이에서 채널 변화가 크지 않다는 것을 가정하였으며 별도의 파일럿 신호 전송 없이 수신측에서 적응 메커니즘을 수행하였다. 그리고 한 심볼 블록의 크기를 100K baud로 하였다.

구체적인 적응 메커니즘은 다음과 같다. 처음으로 전송되는 정보에 대한 적응 QAM 변조는 채널 상태를 알 수 없으므로 차동 QPSK로 변조하여 전송한다. 여기서 송신 신호는 평균 전력을 규정화(Normalization) 한 뒤 전송하며 주파수 선택적 페이딩의 영향과 가산성 백색잡음(AWGN)의 영향으로 세기와 위상이 변하여 수신기에 도달하게 된다.

수신측에서는 하나의 블록에 대한 평균 전력(Received Signal Strength Indicator : RSSI)을 계산하고 이 값에 따라 그 다음 심볼 블록에 적용할 변조 레벨을 결정한다. 그림 6은 변조 레벨 결정 메커니즘을 예시하고 있다. 즉, RSSI가 상위 변조 레벨의 임계치(threshold values)를 초과할 경우 변조 레벨을 증가하며 반대로 하위 레벨의 임계치로 떨어지면 변조 레벨을 감소시키게 된다. 본 논문에서는 BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM 6개의 변조 레벨을 적응변조에 이용하였다.

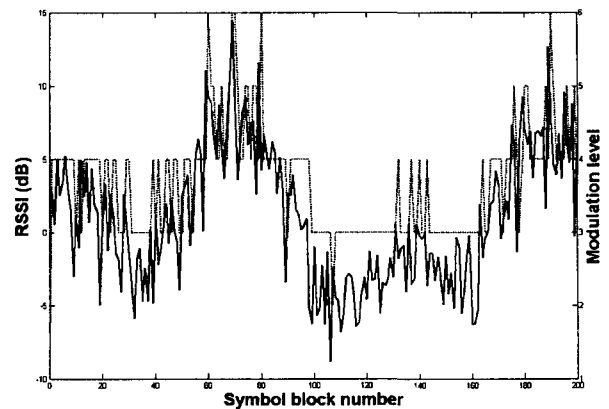


그림 6. RSSI의 변화에 따른 변조 레벨 결정
Figure 6. Decision of modulation level in accordance with RSSI

IV. 시뮬레이션 및 결과

터보 부호화한 적응 변조 시스템의 성능분석을 위해 Coware사의 SPW 플랫폼을 이용하였다[9]. 터보부호 적응 QAM 시스템 시뮬레이터는 SPW 표준 블록과 사용자 정의 블록으로 구성되어 있다. 터보 부호화된 적응 변조 시스템 시뮬레이터는 그림 7과 같다. 여기서 변조방식은 비동기 변조(Differential modulation)를 사용하였다. TuAQAM의 주요 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

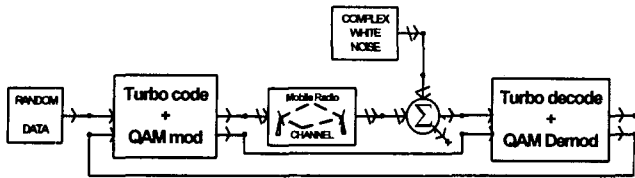


그림 7. 터보부호화한 적응 변조 시스템
Figure 7. Turbo coded adaptive QAM

표 1. 터보부호화한 적응 시스템 파라미터
Table 1. Parameters of TuAQAM

파라미터	값
심볼율	100k baud
반송파 주파수	1 GHz

반송파 주파수는 매크로 셀(Macro cell) 환경을 고려하여 1 GHz를 적용하였다. 첫 번째 블록은 랜덤 데이터 소스이다. 그림 7의 터보 부호 및 변조 블록은 하위 레벨에서 그림 8(a)와 같이 구성되어 있으며, 터보 복호 및 복조 블록은 그림 8(b)의 하위 블록으로 구현하였다. 터보 부호기의 주요 파라미터는 표2와 같다.

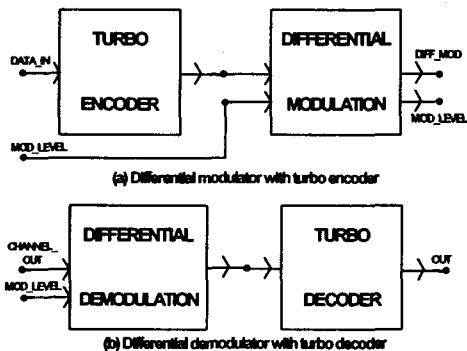


그림 8. 터보부호화한 적응 변조 시스템의 하위 블록
Figure 8. Sub-block of Turbo coded adaptive QAM system

표 2. 터보 부호기의 파라미터
Table 2. Turbo coder parameters

파라미터	값
터보 부호율	K=1, N=4
콘볼루션 구속장 길이	4
순환 반복 횟수	3

이동 무선 채널 블록은 탭 지연선 모델(Tapped delay line)로 구현하였으며 블록도는 그림 9과 같다. 여기서 경로수는 6으로 제한하였다. 채널 입력 신호는 전력 지연 프로파일에 따라 각 경로마다 신호지연과 레일리 페이딩을 겪게 되며 6개의 경로를 모두 거쳐 나온 신호는 가산성 백색 잡음(AWGN) 신호가 마지막으로 첨가되어 채널 출력 신호가 된다. 본 논문에서는 일반적으로 제안되고 있는 전력지연프로파일 대신에 적응 메커니즘의 신빙성

을 높이고 채널 지연의 정도에 따라 성능 변화를 관찰하기 위하여 채널 지연이 상대적으로 작은 모델(700ns)과 지연이 큰 모델(1400ns)을 그림 10과 11과 같이 생성시켰다. 이동속도는 36km/h 및 72km/h에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 터보 적응 변조 시스템의 수율 및 성능 비교를 위하여 차동 8-QAM(Differential 8-QAM)을 적용한 고정 시스템의 성능도 분석하였다. 고정 변조 레벨에서 8-QAM을 선택한 이유는 적응 메커니즘이 목표하는 평균 심볼당 비트수가 3이기 때문이다[7].

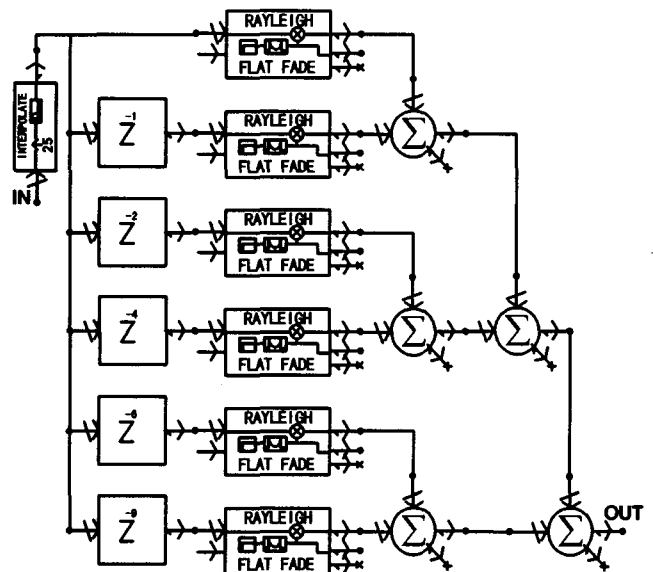


그림 9. 이동 무선 채널(경로수 6)
Figure 9. Mobile radio channel(6 paths)

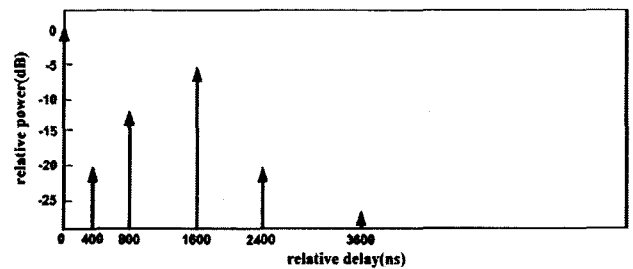


그림 10. 채널 모델 1(지연 확산 700ns: CH1)
Figure 10. Channel model 1(delay spread 700ns)

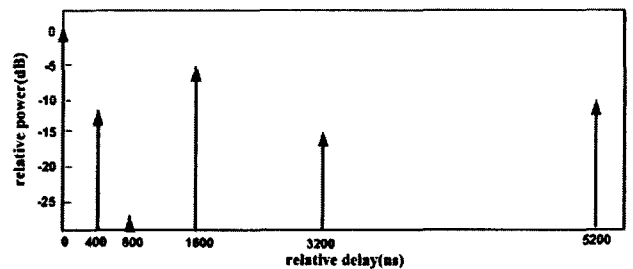


그림 11. 채널 모델 2(지연 확산 1400ns: CH2)
Figure 11. Channel model 2(delay spread 1400ns)

그림 12는 비교적 양호한 채널 환경인 지연 확산 700ns 채널 모델에서의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 적용된 도플러 주파수는 약 33Hz이다. 고정 변조 시스템(8QAM)은 신호대 잡음비 16dB이상에서 BER 10⁻³ 이하의 성능을 나타내며 적응 변조 시스템은 신호대 잡음비 13dB이상에서 BER 10⁻³의 성능을 얻을 수 있다. 또한 적응 변조 시스템은 수율이 3.123 비트로서 고정 변조 시스템보다 개선됨을 알 수 있다.

그림 13은 지연 확산 1400ns 인 채널모델에 대한 시뮬레이션 결과이며 도플러 주파수는 약 67Hz 이다. 고정 변조 방식(8-ary QAM)은 신호대 잡음비를 증가시키더라도 BER 0.05에서 포화 상태(error floor)에 이르는 현상을 볼 수 있다. 이는 주파수 선택적 페이딩에서 보상 기술이 적용되지 않은 고차 변조 시스템에서 관찰할 수 있는 현상이다. 그러나 적응 변조 방식은 신호대 잡음비가 증가함에 따라 BER이 개선됨을 확인할 수 있다. 다만, 수율 성능은 적응 변조 방식이 고정 변조 방식보다 다소 줄어들었으나 이는 상대적으로 높은 지연 확산 및 높은 페이딩을 가지는 열악한 채널 환경에서는 에러 정정 기능과 보상 기술을 적용하지 아니하면 수율과 성능 개선을 동시에 얻기 어렵다는 것을 보여주고 있다.

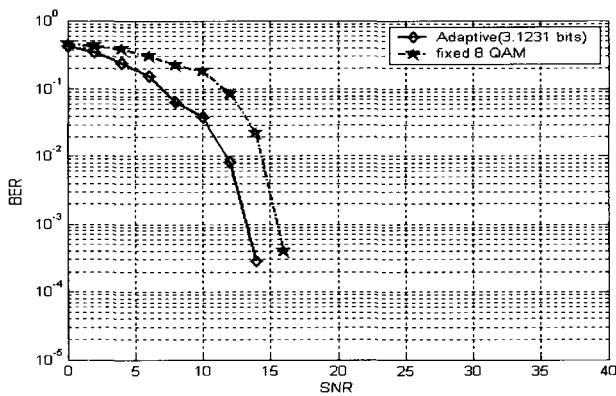


그림 12. 채널 모델 1에 대한 TuAQAM의 BER 성능
Figure 12. BER performance of TuAQAM for CH1

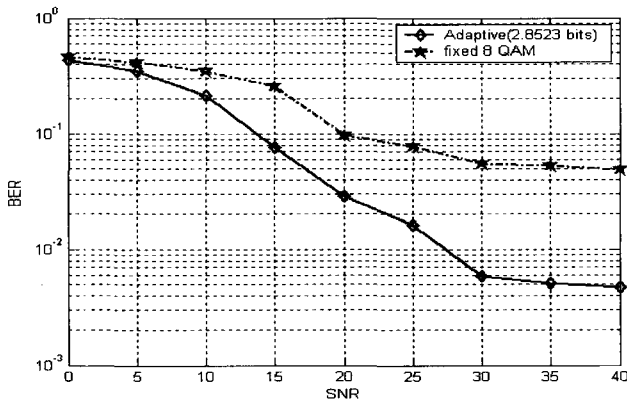


그림 13. 채널 모델 2에 대한 TuAQAM의 BER 성능
Figure 13. BER performance of TuAQAM for CH2

V. 결론

본 논문에서는 고속 멀티미디어 통신을 위한 차세대 부호화 기술로 고려되고 있는 터보 부호 기술을 적용 QAM시스템에 적용한 터보 부호화 적응 QAM 시스템을 제안하였다. 시뮬레이션 결과에서 터보 적용 QAM 시스템이 고정 변조시스템보다 성능이 더 양호함을 확인할 수 있었으며 수율 또한 개선됨을 알 수 있었다. 그러나 지연 확산이 높고 페이딩율이 높은 열악한 채널 환경에서는 성능과 수율의 동시 개선이 어려움을 알 수 있었으며 우수한 에러 정정 기술의 적용을 통해 보완할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] C.Berrou, A.Glavieux, and P.Thitimajshima, "Near Shannon limit error correcting coding and decoding: Turbo codes(1)" Proc IEEE Int. Conf. on Comm., pp 1064-1070, Geneva, Switzerland, May 1993.
- [2] B.Classon, K.Blankenship, V.Desai, "Channel coding for 4G systems with adaptive modulation and coding," IEEE Wireless Comm., pp8 - 13, April 2002.
- [3] V.D.Trajkovic, P.B.Rapajic, "Turbo equalization using non-systematic and recursive systematic convolutional codes" IEEE Vehicular Technology Conference, 2003, Volume 3, pp 2125 - 2129, April 22-25, 2003.
- [4] N.Prasad and A.Prasad, WLAN System and Wireless IP for Next Generation Communication, Artech House, 2002.
- [5] L.Hanzo, T.H.Liew, B.L.Yeap, Turbo coding, turbo Equalisation and Space-Time coding, IEEE Press, July 2002.
- [6] L.Hanzo, C.H.Wong, M.S.Yee, Adaptive Wireless Transceivers, WILEY, 2002.
- [7] W.T.Webb, "Variable rate QAM for mobile radio," IEEE Trans on Comm, Volume 43, Issue 7, pp2223 - 2230, July 1995.
- [8] Proakis, J.G., Digital Communications, 2nd Ed. McGraw-Hill, 1989
- [9] <http://www.coware.com>



백흥현(Heoung-Hyun Baek)
2003년 2월 : 부경대학교 정보통신공학과 졸업
2003년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 정보통신공학과 석사과정
관심분야 : 적응 변조 및 부호화 기술



정연호(Yeon-Ho Chung)
1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1992년 2월 : The Imperial College, The University of London, U.K(공학석사)
1996년 2월 : Liverpool University, U.K 전기 및 전자공학과(공학박사)

1994년 ~ 1996년 : Liverpool University 연구/강의 조교
1994년 ~ 1995년 : 영국Freshfield Communications Ltd. 기술 자문역 (이동통신 시스템 설계 및 H/W, S/W 개발)
1996년 ~ 2001년 : 경북대학교/동의대학교 전임강사
2001년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 조교수
관심분야 : 적응 변조 및 부호화 기술, 반송파 간섭 신호 부호, OFDM 시스템, 채널부호화
