

논문 2006-43TC-10-9

이동통신 채널에서 적응터보부호화 변조방식의 성능분석

(Performance analysis of adaptive turbo coded modulation over mobile communication channel)

김 연 수*, 이 상 훈*, 주 언 경**

(Yeon Su Kim, Sang Hoon Lee, and Eon Kyeong Joo)

요 약

채널환경에 따라 변조방식이 가변되는 적응변조에 의해 높은 대역효율을 얻을 수 있다. 그러므로 시간에 따라 채널이 바뀌는 이동통신 채널에는 특히 적응변조가 적합하다. 이동체의 속도에 따라 적절하게 변조방법을 바꾸기 위해서는 신호대 잡음비의 최적 문턱값을 결정하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 특정 이동체의 속도에 대하여 터보부호를 사용할 경우 요구 비트오율 10^{-6} 을 얻을 수 있는 최적 문턱값을 결정한다. 이를 바탕으로 보간법에 의해서 이동체의 연속적인 속도에 대한 최적 문턱값을 제안한다. 그리고 다양한 이동체의 속도와 채널환경에 대해 그 오류성능 및 대역효율을 분석한다.

Abstract

High spectral efficiency can be obtained by adaptive modulation in which the modulation scheme is changed according to the channel environment. Thus it is especially suitable to mobile channel which is a typical example of time-varying channel. It is required to determine the optimum thresholds of signal-to-noise ratio(SNR) to change the modulation scheme effectively according to mobile speeds. Thus the optimum thresholds for specific mobile speeds to get the required bit error rate(BER) of 10^{-6} are obtained with the powerful turbo code in this paper. In addition, the optimum thresholds for the continuous mobile speed are proposed by interpolation of the obtained results. And the error performance and average spectral efficiency are investigated at various mobile speeds and channel environments.

Keywords : Adaptive modulation, turbo code, mobile channel

I. 서 론

시간에 따라 특성이 변하는 채널에서 변조방식을 고정할 경우 채널 환경이 양호하면 전송 효율을 높이지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 채널의 특성 변화에 따라 가장 적당한 변조방식을 선택함으로써 비트오율을 요구치 이하로 유지하면서도 대역 효율을 높일 수 있는 적응 변조방식이 요구된다. 적응 변조방식은 1972년에 Cavers에 의해 처음으로 제안되

었고^[1], 1990년대에 실용적인 적응 변조 기법이 본격적으로 연구되기 시작하였다^[2,3]. 이 적응 변조방식은 특히 페이딩 환경에서 높은 대역효율을 얻을 수 있기 때문에 이동통신 시스템에 적합한 기술로 최근 많은 연구가 진행 중이다^[4-12].

적응변조는 변조방식을 결정하는 기준인 신호대 잡음비의 문턱값에 의해서 성능이 달라지기 때문에 최적의 문턱값을 결정하는 방법에 대해 지금까지 많은 연구가 행해졌다. Webb과 Steel은 다양한 전송요구를 만족하면서도 최적의 문턱값을 결정하는 방법을 AWGN(additive white Gaussian noise)환경에서 구하였다^[3]. 이러한 방법은 그 후로 많은 저자들에 의해서 널리 사용되었다^[4-12]. 하지만 이동통신 환경에서는 속도에 따라 적응변조의 성능이 달라지기 때문에 최적 문턱값을 구하기 위

* 학생회원, ** 평생회원 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science Kyungpook National University)

※ 이 논문은 2002년도 경북대학교특성화사업팀 (KNURT) 연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2006년7월21일, 수정완료일: 2006년9월27일

해서는 이동체의 속도를 고려하여야 한다. 그러나 이동체 속도를 고려하여 신호대 잡음비의 문턱값을 결정하는 방안에 대해서는 아직까지 연구가 이뤄지지 않았다.

한편 1993년에 Berrou등에 의해 제안된 터보부호는 AWGN이나 레일리 페이딩 환경에서 매우 우수한 오류 정정 능력을 가지는 것으로 알려져 있다^[13]. 그러므로 이를 적응 변조방식에 적용한 적응 터보부호변조는 채널을 효율적으로 이용하면서도 우수한 오류 정정 능력을 얻을 수 있다^[6,12].

따라서 본 논문에서는 터보부호를 사용하면서 이동체의 연속적인 속도 변화에 따라 변조방식을 가변시키면서 10^{-6} 의 목표 비트오율을 얻을 수 있는 신호대 잡음비의 최적 문턱값을 결정하는 방법을 제시하고, 그 오류성능과 대역효율을 다양한 이동속도와 채널환경에서 분석한다.

II. 적응 터보부호 변조 시스템

적응 변조방식은 채널의 환경 변화에 따라 변조방식을 선택함으로써 비트오율을 일정하게 유지하면서도 대역효율을 높일 수 있다. 일반적인 적응 터보부호 변조 시스템의 구조는 그림 1과 같다^[6,12].

그림 1에서 정보비트는 터보부호기를 거쳐서 부호화된다. 여기서 터보부호는 오류정정능력을 높여서, 차세대 이동통신에서 요구되는 고속의 멀티미디어 서비스를 가능하게 한다. 부호화된 비트는 m 진(m -ary) 변조된다. m 진 변조는 적응변조로서 채널 상황에 따라 변조방식을 바꾸어 요구 비트오율을 유지하면서도 전송효율을 높이는 역할을 한다. 즉, 채널 상황이 열악한 경우에는 심볼들간의 거리가 먼 낮은 차수의 변조방식을 사용하여 비트오율을 요구치 이하로 유지시켜주고, 채널 상황이 좋은 경우에는 전송효율을 높이기 위하여 높은 차수의 변조방식을 사용한다.

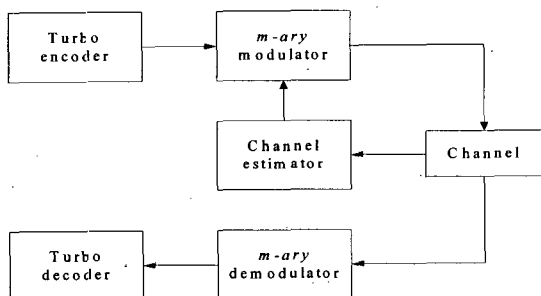


그림 1. 적응 터보부호화 변조 시스템 모델
Fig. 1. Adaptive turbo coded modulation system model.

적응변조를 위해서는 일반적으로 수신측에서 추정된 채널 신호대잡음비(channel signal-to-noise-ratio; CSNR)^[4-6]가 필요하다. 송신측에서는 이 채널 신호대잡음비를 받아서 문턱값과 비교하여 변조 방식을 결정한다. 이동통신 환경에서는 채널 신호대잡음비 뿐만 아니라 이동체의 속도에 따라서도 적응변조시스템의 성능이 달라진다^[3]. 그러므로 요구 오류성능을 만족 시켜주기 위해서는 이동체의 속도에 따라서도 문턱값을 결정하여야 한다. 이를 위해 송신측에서는 이동체의 속도계에 의해 측정된 속도도 수신하여 그 속도에 대한 문턱값을 결정하고, 이를 채널 신호대잡음비와 비교하여 최적의 변조방식을 선택한다. 이렇게 변조된 신호들은 채널을 거쳐 수신단에서 복조된 다음 터보부호의 복호기에서 복호된다.

III. 모의실험 결과 및 분석

적응 터보부호화 변조기법에서의 최적 문턱값을 결정하기 위하여 속도를 가변시켜 가면서 Jakes모델^[14]을 기반으로 한 페이딩 환경에서 모의실험을 하였다. 이때 반송주파수(carrier frequency)는 2GHz, 데이터율(data rate)은 144kbps로 하였다. 또한 프레임 길이는 1024비트로 하였다. 부호율 1/3, 생성 다항식 (7,5)8인 터보부호를 사용하였으며, 복잡도를 고려해서 반복복호 횟수는 3회로 제한하였다. 변조방식은 BPSK, QPSK, 16QAM로 선택하였고, 한 프레임 단위로 변조방식을 가변하였다.

첫 번째 모의실험에서는 저속, 중속 그리고 고속의 특정 이동체 속도에서 실험적으로 문턱값을 결정하였다. 두 번째 모의실험에서는 연속적인 모든 이동체의 속도에서의 문턱값을 결정하기 위하여, 첫 번째 모의실험에서 결정된 문턱값을 표본으로 하여 이들에 보간법에 적용하여 문턱값을 결정하였다. 그리고 이렇게 결정된 문턱값으로 요구 비트오율이 나오는지 조사하였다. 두 모의실험의 경우 채널 추정기는 완벽하게 채널을 추정하며, 송신단으로 채널 신호대잡음비를 전송하는 과정에서의 전송 오류와 지연 그리고 속도계의 오차도 없다고 가정하였다.

그러나 실제 채널 신호대잡음비가 송신단으로 전송되는 과정에서 전송지연 혹은 속도계의 오차로 인하여 실제 이동체의 속도와 측정된 속도가 다른 경우가 있을 수 있다. 따라서 세 번째 모의실험에서는 이동체의 속도가 어느 정도의 오차 범위일때 요구 비트오율이 만족되는가를 조사하였다. 또한 채널 추정시, 채널추정기의

추정오차에 의해 요구 성능을 만족시켜 주지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 마지막 모의실험에서는 요구 비트오율을 만족시켜 주는 채널 신호대잡음비의 오차범위에 대하여 알아보았다.

1. 모의실험에 의한 문턱값 결정

모든 연속적인 속도에 대한 문턱값을 실험적으로 구하는 것은 불가능하다. 그래서 먼저 저속, 중속, 고속을 나타내는 이동체의 속도 20, 60, 100km/h에 대해 모의실험을 통하여 문턱값을 결정하였다. 그림 2는 그 중 하나의 예로서 이동체의 속도 100km/h에서 각 변조방식의 비트오율을 보여준다. 가로축에 놓인 점선은 요구 비트오율을 의미하는 것으로 고품질의 멀티미디어 통신

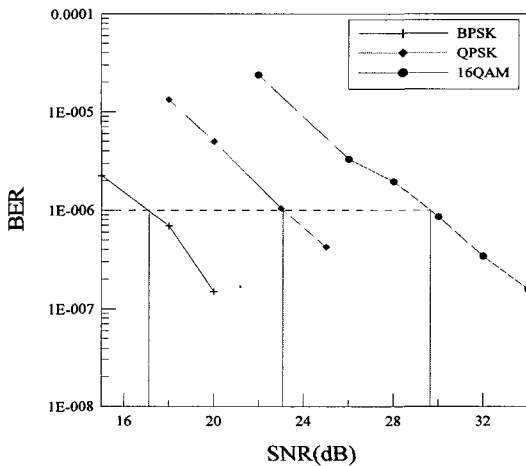


그림 2. 100km/h에서의 모의실험에 의한 문턱값
Fig. 2. Threshold levels by computer simulation at the mobile speed of 100km/h.

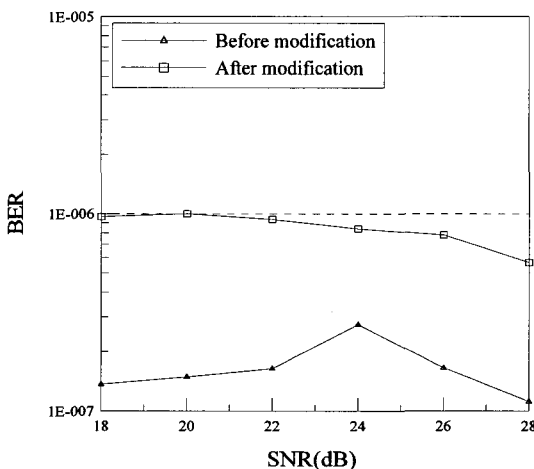


그림 3. 100km/h에서 수정전과 후의 문턱값에 의한 BER
Fig. 3. BER performance before and after modification of threshold levels at the mobile speed of 100km/h.

을 위하여 본 논문에서는 10^{-6} 을 선택하였다.

우선 그림 2의 비트오율 곡선에서 요구 비트오율을 만족시키는 신호대 잡음비 17.2, 23.1, 29.8dB를 문턱값으로 정하고 이를 각각 τ_1 , τ_2 , τ_3 로 하였다. 채널 신호대잡음비가 문턱값 τ_1 보다 작으면 전송을 하지 않고, τ_1 보다 크고 τ_2 보다 작으면 BPSK를, τ_2 보다 크고 τ_3 보다 작으면 QPSK를, 마지막으로 τ_3 보다 크면 16QAM을 사용하였다. 이 값을 그대로 이용하여 모의실험 한 결과 요구 오류성능인 10^{-6} 보다 훨씬 낮은 비트오율을 얻었다. 이는 문턱값을 수정하여 실제 비트오율을 요구 비트오율에 근접시키면 대역효율을 더 향상시킬 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 요구 비트오율을 만족시켜 주면서도 높은 대역효율을 얻기 위하여 이 문턱값을 조금씩 낮추어 가며 반복적인 모의실험을 하였다. 그 결과 요구 비트오율을 만족시켜 주면서도 그 성능을 요구 비트오율에 가장 근접하게 유지시킬 수 있는 수정된 신호대 잡음비 문턱값 τ_1 , τ_2 , τ_3 를 얻었고

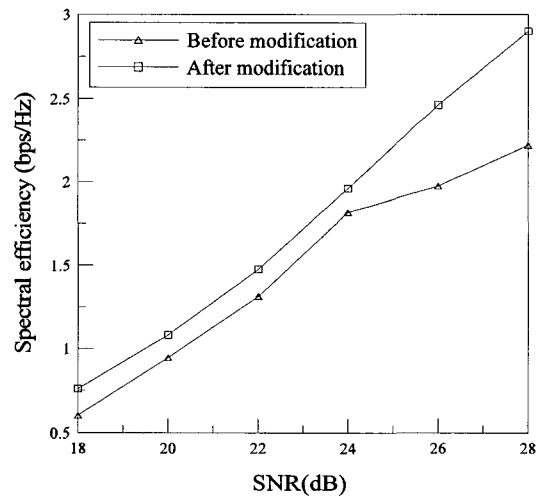


그림 4. 100km/h에서 수정전과 후의 문턱값에 의한 평균 대역효율
Fig. 4. Average spectral efficiency before and after modification of threshold levels at the mobile speed of 100km/h.

표 1. 20, 60 그리고 100km/h에서의 문턱값
Table 1. Threshold levels at 20, 60, and 100km/h.

Speed \ Thresholds	τ_1	τ_2	τ_3
20km/h	19.3	23.4	26.0
60km/h	18.4	24.0	26.0
100km/h	15.5	20.5	26.0

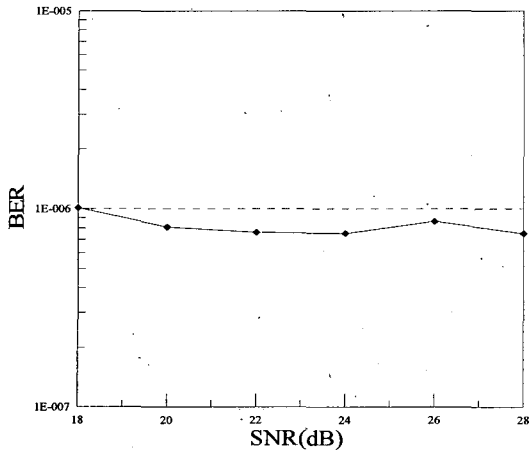


그림 5. 이동체의 속도 20km/h에서의 BER 성능
Fig. 5. BER performance at the mobile speed of 20km/h.

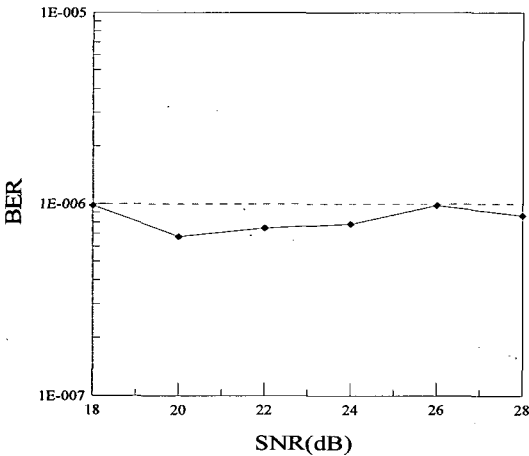


그림 6. 이동체의 속도 60km/h에서의 BER 성능
Fig. 6. BER performance at the mobile speed of 60km/h.

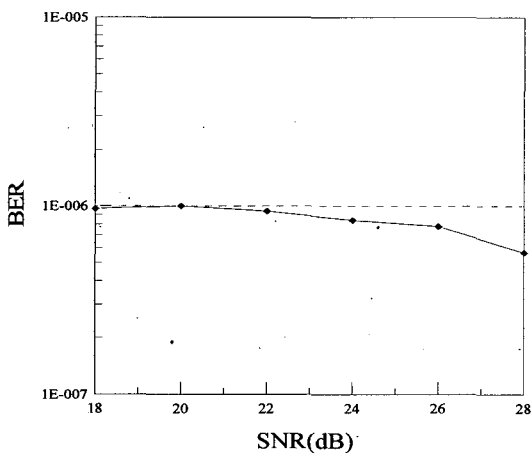


그림 7. 이동체의 속도 100km/h에서의 BER 성능
Fig. 7. BER performance at the mobile speed of 100km/h.

그 값은 각각 15.5, 20.5, 26dB였다.

100km/h에서 수정전과 후의 문턱값에 의한 비트오율과 평균 대역효율을 그림 3과 4에 나타내었다. 그림에서 보면 수정후의 비트오율이 요구 비트오율에 더 근접되었다는 사실을 확인 할 수 있다. 그리고 평균 대역효율도 수정전의 경우에 비하여 많이 향상되었다. 따라서 수정된 문턱값이 요구 비트오율을 만족시켜 주면서 대역효율을 더욱 높일 수 있는 적절한 값이라고 판단된다. 이와 같은 방법으로 저속, 중속인 20, 60km/h에 대한 문턱값도 구하였고 그 결과를 표 1에 나타내었다.

그림 5, 6, 7에 이동체 속도 20, 60, 100km/h에서 표1에서 구한 문턱값을 적용한 경우의 비트오율을 나타내었다. 각 그림에서 보면 비교적 넓은 신호대 잡음비 영역에서 비트오율이 10⁻⁶이하로 유지되는 것을 확인 할 수 있다.

2. 연속적인 이동체 속도에서의 문턱값

첫 번째 모의실험에서는 특정 이동체 속도에서 요구 비트오율을 얻을 수 있는 문턱값을 결정하였다. 이동체의 속도는 연속적으로 변하기 때문에 위 모의실험의 결과를 바탕으로 두 번째 모의실험에서는 연속적인 이동체의 속도에서도 요구 비트오율을 얻을 수 있는 문턱값을 결정하기 위하여 보간법을 사용하였다. 여기에서는 여러 가지 보간법 중에서 라그랑제 보간법(Lagrange interpolation)을 선택하였다^[15]. 라그랑제 보간법은 표본의 개수가 2개일 경우 선형 보간법, 3개 이상일 경우 비선형 보간법의 형태가 된다. 따라서 여러 개의 표본 값을 곡선으로 연결함으로써 높은 차수의 방정식을 얻을 수 있어, 비선형 보간법으로도 사용할 수 있는 특징이 있다.

본 모의실험에서는 앞 실험에서 사용한 20, 60, 100km/h 속도를 표본으로 하였다. 식 (1)은 τ_1 , 식 (2)는 τ_2 의 연속적인 속도에 신호대 잡음비 문턱값(dB)을 의미한다. 여기서 x 는 속도(km/h)이다. 앞의 실험에서 τ_3 는 세 경우 모두 26.0dB로 일정하여, 모든 연속적인 속도에서 26.0dB로 고정하였다.

$$\tau_1(x) = 19.0 + 0.0275x - 0.00062x^2 \quad (1)$$

$$\tau_2(x) = 21.75 + 0.1125x - 0.00125x^2 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용하면 모든 이동체의 연속적인 속도에서의 문턱값을 결정할 수 있다. 예를 들어 40km/h 경

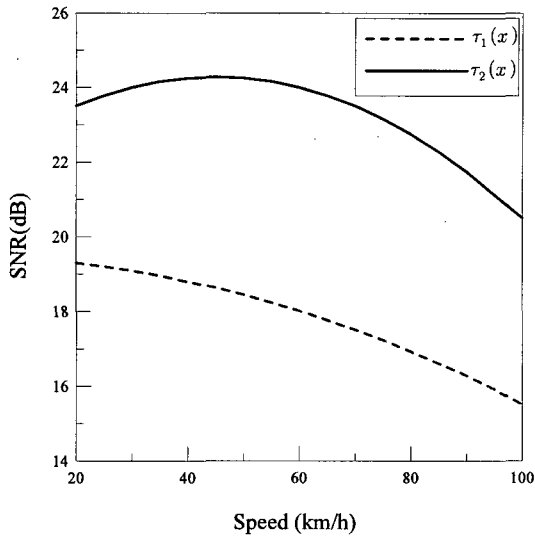


그림 8. 연속적인 속도에 대한 문턱값
Fig. 8. Threshold levels at the continuous speed.

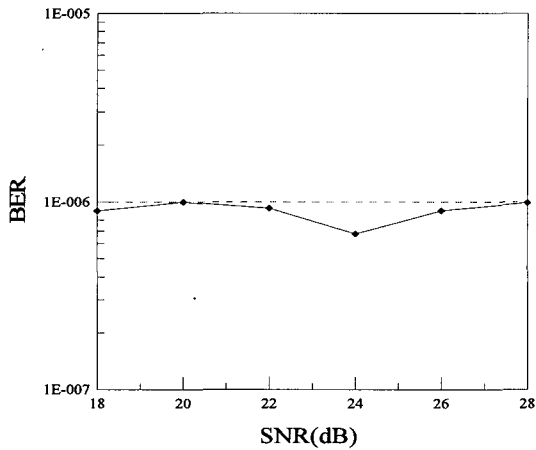


그림 9. 이동체의 속도 40km/h에서의 BER 성능
Fig. 9. BER performance at the mobile speed of 40km/h.

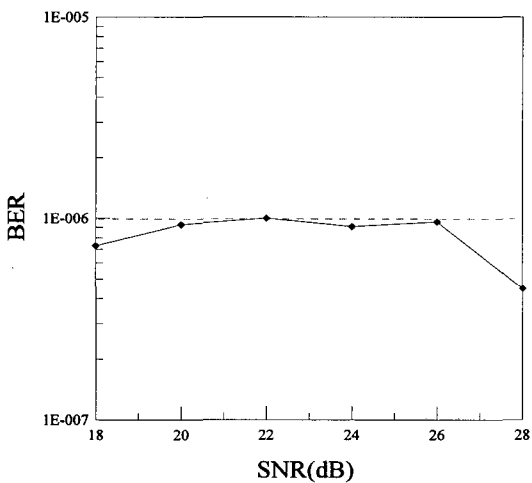


그림 10. 이동체의 속도 80km/h에서의 BER 성능
Fig. 10. BER performance at the mobile speed of 80km/h.

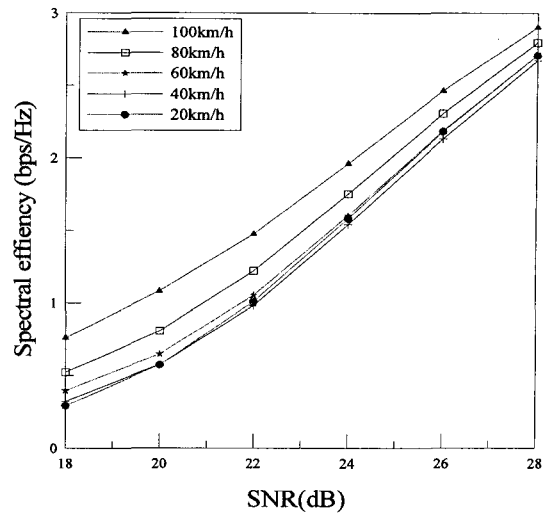


그림 11. 평균 대역효율
Fig. 11. Average spectral efficiency.

표 2. 이동체 속도에서의 변조분포도
(a) 20km/h (b) 60km/h (c) 100km/h
Table 2. Modulation distribution at the mobile speed.
(a) 20km/h (b) 60km/h (c) 100km/h

(a)

SNR[dB]	18	20	22	24	26	28
No transmission	72.95	55.28	39.50	27.07	17.86	11.70
BPSK	25.03	34.32	35.20	29.97	23.11	16.47
QPSK	2.02	9.29	17.76	21.82	20.59	16.56
16QAM	0.00	1.11	7.54	21.14	38.44	55.27

(b)

SNR[dB]	18	20	22	24	26	28
No transmission	61.45	44.29	30.94	20.67	13.56	8.77
BPSK	37.46	47.19	47.89	40.80	31.21	22.17
QPSK	1.08	6.40	13.60	17.37	16.70	13.83
16QAM	0.01	2.12	7.57	21.16	38.53	55.23

(c)

SNR[dB]	18	20	22	24	26	28
No transmission	41.15	28.23	18.59	12.15	7.82	4.95
BPSK	41.67	37.55	30.15	22.00	15.20	10.15
QPSK	17.17	33.11	43.74	44.64	38.37	29.81
16QAM	0.01	1.11	7.52	21.21	38.61	55.09

우 τ_1 은 18.8dB, τ_2 는 24.25dB이며, 80km/h 경우 τ_1 은 16.9dB, τ_2 는 22.75dB가 된다. 그림 8은 보간법을 적용해서 나온 식 (1)과 식 (2)를 그림으로 나타낸 것이다. 그리고 그림 9와 그림 10은 보간법에 의해 구한 문턱값을 사용한 경우 40km/h와 80km/h에서 오류성능이다. 예상한대로 모두 요구 BER이하로 원하는 성능을

얻을 수 있었다.

그림 11은 이동체의 속도에 따른 평균 대역효율을 나타낸 것이다. 이동체의 속도가 100km/h에서 평균 대역효율이 가장 좋았으며, 속도가 감소함에 따라 평균 대역효율은 감소하였다. 그리고 신호대 잡음비가 증가함에 따라 평균 대역효율도 증가한다는 사실을 확인할 수 있다.

표 2는 이동체의 속도 20, 60, 100km/h에 대해 신호대 잡음비에 따른 변조 분포도를 백분율로 나타낸 것이다. 표에서 보면 이동체의 속도가 60km/h인 경우 신호대 잡음비 20dB에서 BPSK의 분포는 47.19%를 그리고 16QAM의 분포는 2.12%를 보인다. 하지만 28dB에서는 BPSK의 분포는 22.17%로 줄어든 반면에 16QAM의 분포는 55.23%로 증가한다. 이는 신호대 잡음비가 증가함에 따라 높은 차수의 변조방식이 더 많이 사용된다는 것을 말한다. 이러한 현상은 다른 속도에서도 동일하게 발생하였다. 이로 인해 신호대 잡음비의 증가에 따라 평균 대역효율도 증가한다는 것을 확인할 수 있다.

3. 속도의 허용 오차

송신단으로 채널 신호대잡음비가 전송되는 과정에서 전송지연 혹은 속도계의 오차로 인하여 실제 이동체의 속도가 측정된 값과 다를 수 있다. 그러면 특정속도에서 결정된 문턱값이 최적값이 되지 못해, 요구 비트오율을 만족시켜주지 못하는 경우가 발생한다. 따라서 특정속도의 문턱값이 어느 정도의 속도 오차범위까지 요구 비트오율을 만족시켜 주는가를 조사할 필요가 있다. 이를 위해서는 특정 속도의 문턱값을 다른 속도에도 적용하여 어느 속도까지 요구 성능이 나타나는지 조사하여야 한다.

그림 12와 13은 표 1에 있는 20km/h에서의 문턱값을 그대로 두고, 이동체의 속도를 15km/h에서 25km/h까지로 변화시키면서 비트오율을 구한 것이다. 이동체의 속도가 17km/h이상에서는 모두 요구 비트오율을 만족시켜 주었다. 그러나 16km/h이하에서는 요구 비트오율을 만족시켜 주지 못하였다. 마찬가지로 이동체의 속도를 55km/h에서 65km/h까지로 변화시키면서 60km/h의 문턱값을 적용한 경우 비트오율은 그림 14와 15에 나타내었다. 이동체의 속도가 증가함에 따라 비트오율은 향상되었다. 그리고 이동체의 속도가 57km/h이상이어야 요구 비트오율을 모두 만족시켜 주었다. 마지막으로 100km/h에서의 문턱값을, 이동체의 속도 95km/h에서 105km/h까지 적용한 결과는 그림 16과 17이다. 이 경우

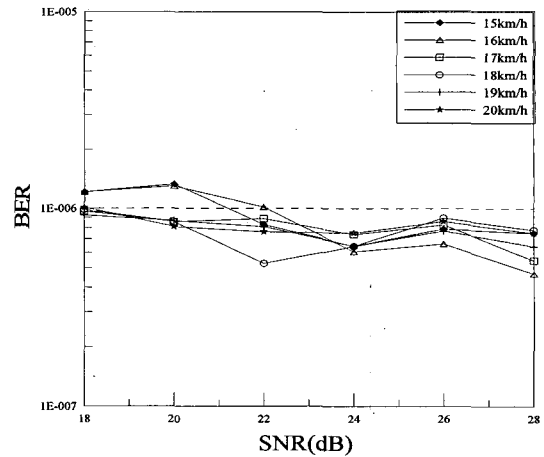


그림 12. 이동체의 속도 15-20km/h에서의 비트오율
Fig. 12. BER performance at the mobile speeds of 15-20km/h.

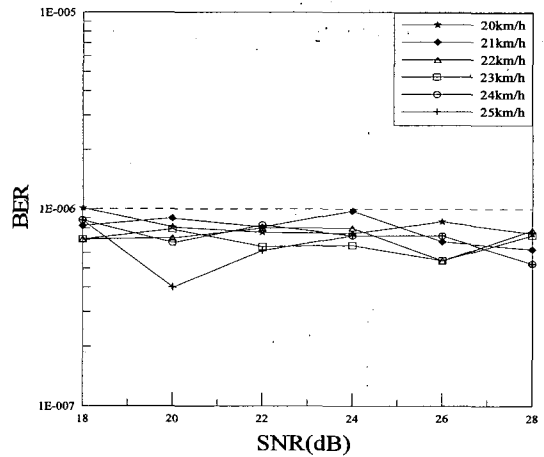


그림 13. 이동체의 속도 20-25km/h에서의 비트오율
Fig. 13. BER performance at the mobile speeds of 20-25km/h.

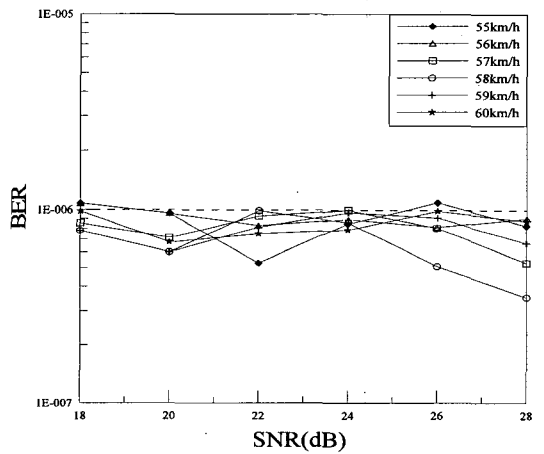


그림 14. 이동체의 속도 55-60km/h에서의 비트오율
Fig. 14. BER performance at the mobile speeds of 55-60km/h

에도 98km/h이상에서만 요구 비트오율 이하로 유지되는 사실을 확인할 수 있다.

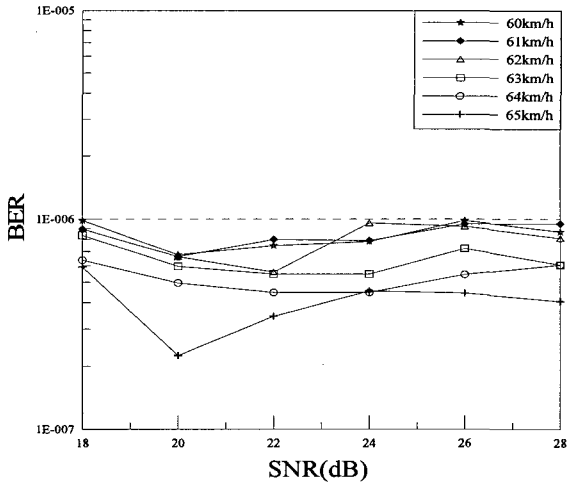


그림 15. 이동체의 속도 60-65km/h에서의 비트오율
Fig. 15. BER performance at the mobile speeds of 60-65km/h.

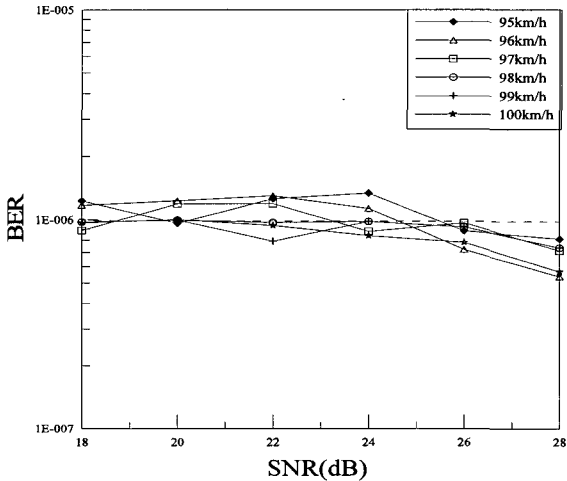


그림 16. 이동체의 속도 95-100km/h에서의 비트오율
Fig. 16. BER performance at the mobile speeds of 95-100km/h.

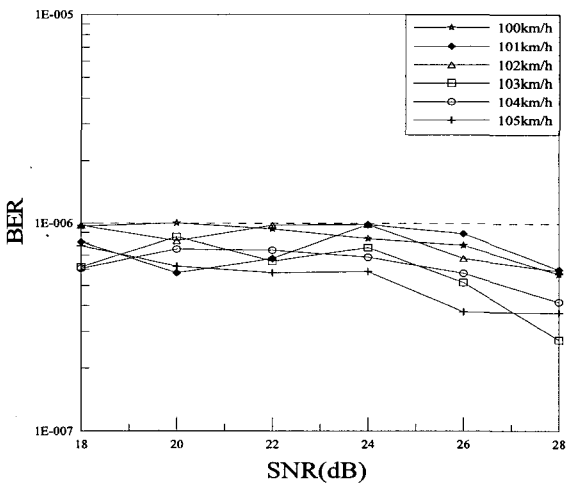


그림 17. 이동체의 속도 100-105km/h에서의 비트오율
Fig. 17. BER performance at the mobile speeds of 100-105km/h.

따라서 속도계에서 측정된 속도가 실제 속도보다 낮게 측정될 경우에는 요구 비트오율을 모두 만족시켜 주나, 만약 실제 속도보다 높게 측정될 경우에는 속도계의 오차가 적어도 2km/h에서 3km/h이내에 있어야 요구 비트오율을 만족시켜 줄 수 있을 것으로 판단된다.

4. 채널 신호대잡음비의 허용 오차

앞에서 모든 모의실험에서는 채널추정이 완벽하다고 가정하고 실험을 하였다. 그러나 실제 채널 추정시, 채널 신호대잡음비의 추정오차에 의해서 요구 성능을 만족시켜 주지 못하는 경우가 발생 할 수 있다. 따라서 첫 번째 모의실험에서 구한 문턱값을 이용하여, 각 이동체 속도에서 추정된 채널 신호대잡음비의 허용 오차를 모의실험을 통하여 조사하였다. 본 논문에서 사용하고 있는 채널 신호대잡음비의 추정오차는 아래 식 (3)과 같이 정의한다.

$$\epsilon = \hat{\lambda} - \lambda \quad (3)$$

ϵ , $\hat{\lambda}$, λ 는 채널 신호대잡음비의 추정오차, 추정된 채널 신호대잡음비, 실제 채널 신호대잡음비를 의미한다.

그림 18, 19, 20은 이동체의 속도가 20, 60, 100km/h인 경우에 대해 채널 신호대잡음비의 추정오차에 따른 비트오율을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 ϵ 이 -1.0dB 부터 +0.3dB까지는 요구 비트오율을 만족시켜 주었으나, +0.3dB를 초과할 경우는 만족 시켜주지 못하였다.

추정된 채널 신호대잡음비가 실제보다 낮은 경우에는 채널을 실제보다 열악하다고 보기 때문에 낮은 차수

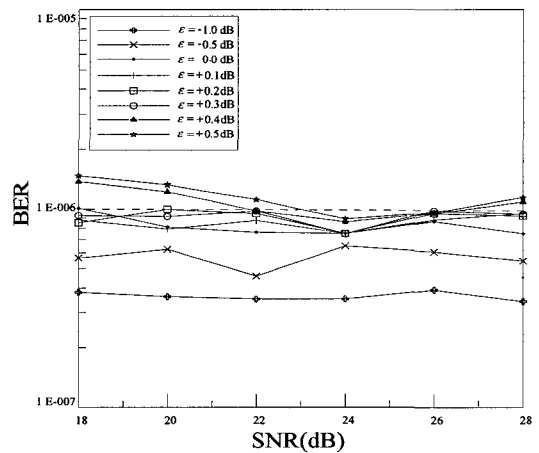


그림 18. 이동체 속도 20km/h에서 채널 추정오차에 따른 비트오율

Fig. 18. BER performance with channel SNR estimation error at the mobile speed of 20km/h.

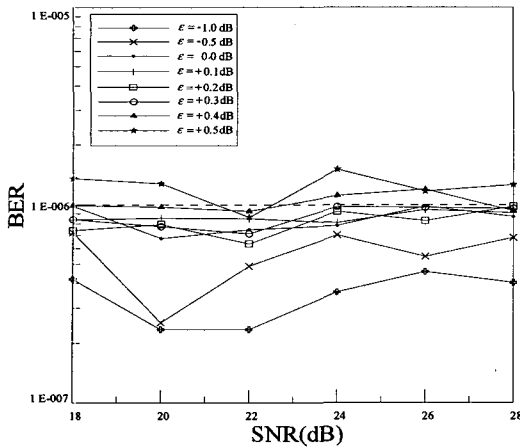


그림 19. 이동체 속도 60km/h에서 채널 추정오차에 따른 비트오율

Fig. 19. BER performance with channel SNR estimation error at the mobile speed of 60km/h.

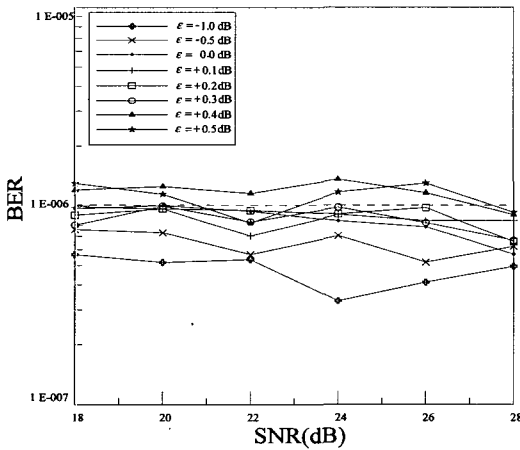


그림 20. 이동체 속도 100km/h에서 채널 추정오차에 따른 비트오율

Fig. 20. BER performance with channel SNR estimation error at the mobile speed of 100km/h.

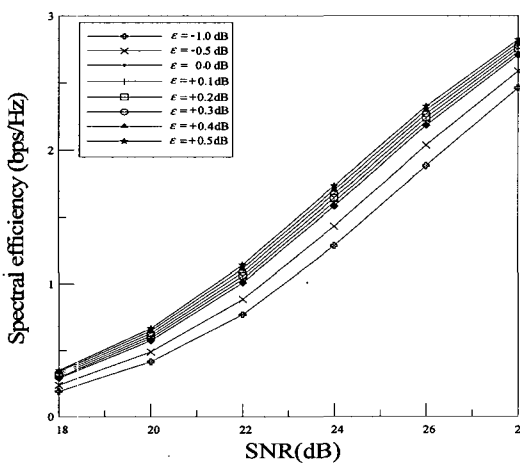


그림 21. 이동체 속도 20km/h에서의 채널 신호대잡음비 추정오차에 따른 평균 대역효율

Fig. 21. Average spectral efficiency with channel SNR estimation error at the mobile speed of 20km/h.

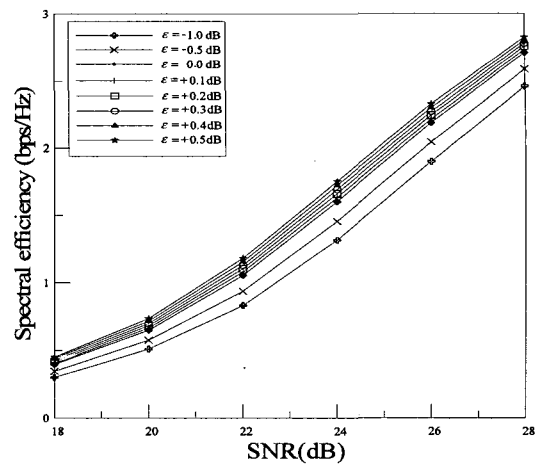


그림 22. 이동체 속도 60km/h에서의 채널 신호대잡음비 추정오차에 따른 평균 대역효율

Fig. 22. Average spectral efficiency with channel SNR estimation error at the mobile speed of 60km/h.

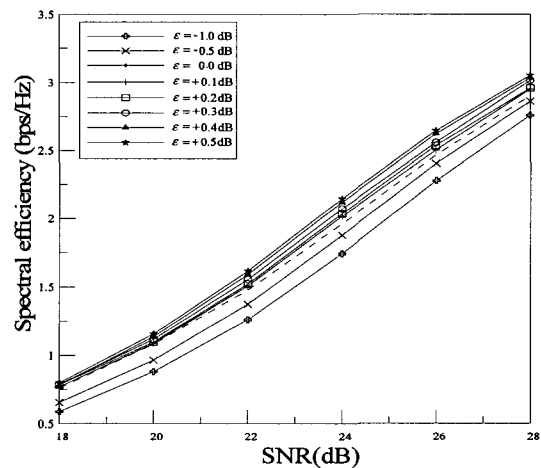


그림 23. 이동체 속도 100km/h에서의 채널 신호대잡음비 추정오차에 따른 평균 대역효율

Fig. 23. Average spectral efficiency with channel SNR estimation error at the mobile speed of 100km/h.

의 변조가 많이 사용되어 요구 비트오율이하의 성능을 보인다. 그러나 추정된 채널 신호대잡음비가 실제보다 높은 경우에는 요구 비트오율을 만족시키기 위해서 그 오차가 +0.3dB 이내로 유지되어야 함을 알 수 있다.

그림 21, 22, 23은 이동체의 속도 20, 60, 100km/h에서의 채널 신호대잡음비의 추정오차에 따른 평균 대역효율을 나타낸 것이다. 추정된 채널 신호대잡음비가 실제보다 낮은 경우에는 낮은 차수의 변조 방식이 많이 사용되어 평균 대역효율도 낮게 나왔으며 추정된 채널 신호대잡음비가 실제보다 높을 경우에는 높은 차수의 변조방식이 많이 사용되어 평균 대역효율이 높게 나왔다.

IV. 결 론

적용변조는 변조방식을 결정하는 기준인 신호대 잡음비의 문턱값에 의해서 성능이 달라지고 그 문턱값은 이동체의 속도에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이동통신 환경에서 적용 변조방식을 적용하여 요구 성능을 얻기 위해서는 이동체의 속도에 따른 최적의 문턱값을 결정할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 적용 터보 부호화 변조방식에서 연속적인 이동체의 속도에 따라 특정 비트오율을 얻기 위한 신호대 잡음비의 문턱값을 결정하였다.

먼저 저속, 중속, 고속의 세 가지 속도에 대해 요구 비트오율을 만족시키는 최적 문턱값을 결정하였다. 이러한 결과를 바탕으로 보간법을 이용하여 연속적인 모든 이동체의 속도에서 문턱값을 결정하였다. 모의실험을 통해 분석한 결과 이렇게 얻어진 문턱값들이 요구 오류성능을 만족시켜 준다는 사실을 확인할 수 있었다.

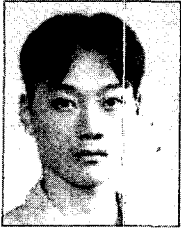
그리고 송신단으로 전송되는 채널 신호대잡음비와 이동체의 속도의 허용오차를 조사해본 결과 속도오차는 2km/h에서 3km/h이내에 있어야 하며 채널 신호대잡음비의 추정오차는 0.3dB이내로 유지되어야 요구 비트오율을 만족시켜 준다는 것을 알 수 있었다.

따라서 적용 터보부호화 변조방식에서 연속적인 이동체 속도에 대한 최적문턱값을 본 논문에서와 같이 보간법으로 구하여 사용한다면, 넓은 신호대 잡음비 영역에서 특정 오류성능을 만족하면서도 높은 대역효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. K. Cavers, "Variable-rate transmission for Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 20, pp. 15-22, Feb. 1972.
- [2] S. M. Alamouti, and S. Kallel, "Adaptive trellis-coded multiple phase shift keying for Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 2305-2314, June 1994.
- [3] W. T. Webb and R. Steele, "Variable rate QAM for mobile radio," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, pp. 2223-2230, July 1995.
- [4] A. J. Goldsmith and S. G. Chua, "Variable-rate variable-power MQAM for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 1218-1230, Oct. 1997.
- [5] A. J. Goldsmith and S. G. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 592-602, May 1998.
- [6] S. Vishwanath and A. Goldsmith, "Exploring adaptive turbo coded modulation for flat fading channels," *Proc. IEEE VTC 2000.*, Boston, MA, vol. 4, pp. 1778-1783, Sep. 2000.
- [7] J. Tang and J. Wang, "Adaptive modulation for fading channels," *IEEE APCCAS 2000*, Tianjin, China, vol. 1, pp. 58-61, Dec. 2000.
- [8] V. K. N. Lau and M. D. Macleod, "Variable-rate adaptive trellis coded QAM for flat-fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, pp. 1550-1560, Sep. 2001.
- [9] P. Ormeci, L. Xueting, D. L. Goeckel, and R. D. Wesel, "Adaptive bit interleaved coded modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, pp. 1572-1581, Sep. 2001.
- [10] T. S. Yang and A. D. Hallen, "Adaptive modulation using outdated samples of another fading channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 1-26, Aug. 2002.
- [11] J. Yang, N. Tin, and A. K. Khandani, "Adaptive modulation and coding in 3G wireless systems," *Proc. IEEE VTC 2002.*, Vancouver, Canada, vol. 1, pp. 544-548, Sep. 2002.
- [12] S. Vishwanath and A. Goldsmith, "Adaptive turbo coded modulation for flat fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 964-972, Jun. 2003.
- [13] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes," *IEEE ICC'93*, Geneva, Switzerland, vol. 20, pp. 1064-1070, May 1993.
- [14] P. Dent, G. E. Bottomley, and T. Croft, "Jakes fading model revisited," *IEE Electron. Lett.*, vol. 29, no. 13, pp. 1162-1163, Jun. 1993.
- [15] R. L. Burden and J. D. Faires, *Numerical analysis*, PWS Publishing Co., Pacific Grove, Australia, 2001.

 저 자 소 개



김 연 수(학생회원)

2001년 경북대학교 전자전기
공학과 학사 졸업.

2004년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.

2004년~현재 경북대학교
전자공학과 박사과정.

<주관심분야: CDMA, Turbo code, LDPC code>

이 상 훈(학생회원)

제39권 TC편 제11호 참조

주 언 경(평생회원)

제39권 TC편 제11호 참조