

## 채널예측에 의한 적응변조방식을 이용한 모바일 시스템 분석

이명수<sup>1</sup>, 조대제<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>안동대학교 멀티미디어공학과

### Analysis of Mobile System using Adaptive Modulation Method by Channel Forecast

Myung-Soo Lee<sup>1</sup> and Dae-Jea Cho<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Multimedia Engineering, Andong University

**요약** 기존의 이동 통신시스템에서 사용하는 변조방식의 단점을 개선하기 위하여, 본 논문에서는 채널의 환경이 변함에 따라 적응적으로 변조방식을 변화시킴으로써 채널의 처리율을 향상시킬 수 있는 적응변조방식을 사용한 채널 예측 방법을 제안한다. 제안된 방식은 요구되는 채널의 비트 에러율에 따라 부호율을 결정하기 위해 채널 특성을 실시간으로 측정하여 채널의 비트 에러율이 증가하면 부호율을 감소시켜 최대 처리율을 유지하도록 하는 방법을 사용하며, Matlab을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 성능을 분석하였다.

**Abstract** To improve drawback of existing modulation method, in this paper, we propose the channel forecast method using adaptive modulation which can improve throughput of channel. This method adaptively changes modulation method to the change of channel environments. In proposed method, channel's characteristics are measured in realtime to determine code rate to the changes of demanded channel's bit error rate. If bit error rate is increased, this method reduce code rate to maintain maximum throughput. We analysis performance of proposed method by Matlab.

**Key Words** : QPSK, Auto repeat request, Forward error correction

#### 1. 서론

통신망과의 직접 접속에서 벗어나고자 하는 욕구에 따라 무선이동통신은 비약적으로 발전하였다. 무선이동통신은 신호화, 변조, 복조의 과정을 필수적으로 거치게 되며, 이러한 과정이 디지털 시스템의 기본 처리 과정이라 할 수 있다.

하지만 기존의 이동통신시스템에서는 QPSK라는 변조방식을 주로 사용하다 보니 전파 환경이 열악한 환경에서는 에러율이 높아지는 현상이 많이 발생하게 된다. 또한 전파 환경이 나쁜 환경에서 처리율을 높이기 위해서 전력을 높여서 전송하다보니 전력 낭비가 심하다.

본 논문에서는 채널의 환경이 변함에 따라 적응적으로 변조방식을 변화시킴으로써 채널의 처리율을 향상시킬

수 있는 적응변조 방식을 사용한 채널 예측 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방식은 요구되는 채널의 비트 에러율(BER)에 따라 부호율을 결정하기 위해 채널 특성을 실시간으로 측정하여 채널의 비트 에러율이 증가하면 부호율을 감소시켜 최대 처리율을 유지하도록 하고, 수신 감도를 높이기 위해 에러정정부호(FEC: Forward Error Correction)방식[1]을 사용하는 하이브리드 ARQ(Auto Repeat Request) 방식[2]을 이용한다.

본 연구는 다음의 순서대로 작성되었다. 우선 2장에서 적응 변조 방식의 필요성에 대하여 설명하고, 3장에서는 본 연구에서 제안한 적응 변조 방식을 사용한 채널 예측 방법에 대한 성능을 분석하였고, 4장에서 결론을 맺는다.

이 논문은 2010년도 안동대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

\*교신저자 : 조대제(djcho@andong.ac.kr)

접수일 10년 12월 07일

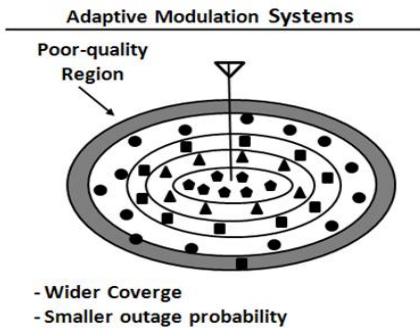
수정일 (1차 11년 01월 17일, 2차 11년 01월 28일)

게재확정일 11년 02월 10일

## 2. 적응변조방식의 필요성

기존의 변조방식은 시스템에 요구된 전송품질을 만족하도록 구성되어 어느 정도의 여유를 가지도록 설계된다. 이는 환경의 악화에 따른 급속한 시스템 다운을 막기 위한 것이지만, 현실적으로는 극히 악조건이 아닌 경우에는 제한선 부분까지 내려가는 경우는 거의 없다. 따라서 정상적인 조건에서 시스템이 가지는 여유를 이용할 경우 추가적인 트래픽 성능의 향상을 얻을 수 있다. 적응변조는 이러한 여유를 이용하여 전송전력과 대역폭의 증가 없이도 전송율을 증가하는 방식으로, 차세대 이동통신에 필요한 조건을 만족할 수 있는 한 가지 방법으로 떠오르고 있다. 이처럼 적응변조방식은 같은 시스템을 이용하여 시스템의 성능을 사용 환경에 적절하게 변경함으로써 최대한의 처리율을 확보하기 위한 방식이므로 시스템 설계의 부담을 줄일 수 있다.

그림 1은 단말기가 분포되어 있는 이동통신 환경에서 적응변조 방식을 사용하는 경우의 구성도를 나타낸 것이다[3].



[그림 1] 적응변조방식을 도입하는 경우

현재의 시스템은 대부분 QPSK를 변조방식으로 채택하고 있으며, 거리에 관계없이 동일한 방식을 사용함으로써, 동일한 전송율을 얻는다. 반면에 적응 변조방식에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 가까운 거리에서는 16 QAM을 사용하고, 거리가 먼 곳으로 갈수록 1/4 rate QPSK를 사용하여 전력이 남는 곳에서는 효율적인 전송이 이루어지도록 하고 있다. 이와 같이 적응 변조방식을 이용하면 채널의 환경이 좋을수록 단위 시간당 송신하는 비트가 높은 방식의 변조방식을 사용할 수 있으므로 동일 채널 조건에서 단위 시간당 처리율을 증가시킬 수 있다.

## 3. 채널예측방법 및 시스템 성능분석

본 연구에서는 데이터의 고속 전송에 대한 방식을 고려하고 있으므로 ARQ 방식[4] 중에서 최상의 처리율을 나타내고 있는 SR ARQ 방식을 사용하도록 한다. 에러정정부호는 디지털 통신 시스템에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 길쌈부호를 사용하는 방식을 사용한다.

본 논문에서 채널의 처리율을 증진시키는 방법으로 에러가 없는 경우, 블록 크기를 늘리는 방법을 사용한다. 즉, 채널의 상태가 좋은 경우는 재전송이 매우 적으므로, 채널의 블록 크기를 늘려 보냄으로써, 같은 시간대에 전송되는 양을 늘릴 수 있다. 반면에 채널의 상태가 나빠지는 경우에는 재전송이 많아짐으로, 블록 크기를 줄여서 전송하여 데이터의 손실을 줄이는 방법을 사용한다. 이것은 기존의 시스템은 고정된 블록 길이를 사용함으로써 적응구조를 갖지 못하므로, 이를 개선할 수 있는 방법이다.

### 3.1 블록사이즈에 따른 적응방식

ARQ 시스템의 특징으로 사용될 수 있는 블록사이즈의 변경을 통한 시스템 처리율의 증진 방법을 찾기 위해 현재의 채널 BER을 측정하여, BER의 값에 따라 블록 길이를 가변적으로 조정함으로써 처리율을 최적의 값으로 만들어야 한다. 본 연구에서는 SR ARQ 방식을 사용하고 자 하며, SR ARQ의 처리율은 식(1)과 같다.

$$n = m(1 - P_b) \tag{1}$$

$$P_b = 1 - (1 - P_e)^n \text{ and } m = (n - h)/n$$

$P_b$  : 블록 에러확률

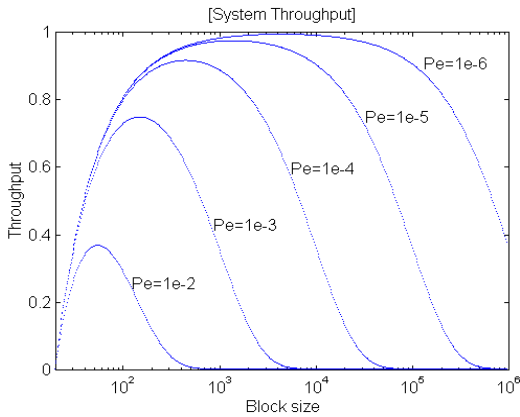
$P_e$  : BER

$n$  : 블록에 포함된 비트의 수

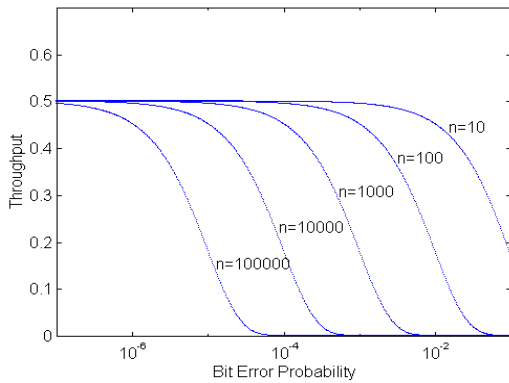
$h$  : 블록내의 비트 중 overhead 비트의 수

따라서, 블록사이즈의 최적값을 구하기 위해 채널의 상태가 서서히 변하는 일반적인 경우를 고려하여, 일정한 채널성능에 대해 블록사이즈가 변경되는 경우의 처리율을 식에 따라 구할 수 있다. 식 (1)에 대해 일정한 채널성능으로 시뮬레이션 한 결과는 그림 2와 같다.

그림 2는 가변 블록 사이즈에 대해 각 블록에서의 오버헤드가 일정하다고 가정하여, 블록사이즈가 증가하면  $m$ 이 증가되며, 채널의 BER이 고정된 경우의 처리율에 대해 나타낸 것으로, 채널의 특성이 열악할수록 전송되는 블록 사이즈가 작아야 됨을 알 수 있다.



[그림 2] 블록 사이즈에 따른 처리율 특성



[그림 3] 비트 에러율에 따른 처리율 특성

본 연구에서는 FEC의 부호율에 따른 변경을 어떻게 하느냐가 관건이므로 부호율을 1/2로 고정하고, 블록사이즈가 변경되는 경우의 처리율과 BER 사이의 관련성을 알아보기 위해 시뮬레이션 한 결과를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 블록사이즈(n)가 큰 경우에는 BER이 증가함에 따라 처리율이 급격하게 감소함을 알 수 있으며, 블록사이즈가 작은 경우에는 서서히 감소함을 알 수 있다. 즉 채널의 상태가 좋은 경우에는 큰 블록을, 악화되는 경우에는 작은 블록을 보내는 것이 유리함을 알 수 있다.

채널의 BER 측정을 고려하기 위한 블록 에러율  $P_e$ 는 전체 전송된 블록 수에 대한 에러블록 수의 비율로 정의할 수 있어 식 (2)와 같다.

$$P_e = TBE / (TB * n) \tag{2}$$

TBE : Total number of blocks in error  
TB : Total number of blocks

### 3.2 길쌈부호의 부호율 변경에 따른 성능분석

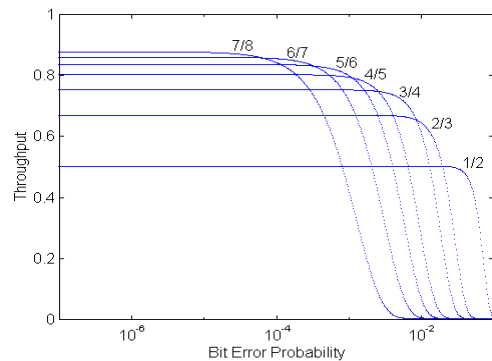
두 부호  $C_1$  과  $C_2$ 를 사용하는 타입 1 하이브리드 ARQ 시스템을 고려하고,  $C_1$ 은  $(n, k)$  블록 코드로 에러 감지를 위해 사용하며, 부호  $C_2$ 는 부호율  $R=(b-1)/b$ ,  $b>1$  인 길쌈부호로 구속장 길이가  $m$ 으로 에러정정을 위해 사용되며, 비터비(viterbi) 복호기[5]를 사용한다고 가정한다. 길쌈부호에서는 일반적으로 부호율이 1/2인 경우가 가장 최선의 결과를 얻을 수 있다. 처음에  $C_1$ 부호에 따라  $n$ 비트 코드워드로 되며,  $C_2$ 에 따라 인코딩된다.  $P_c$ 와  $P_u$  가 에러프리 확률, 감지할 수 없는 에러의 확률을 나타낸다고 하면, 수신된 패킷이 수신기에 의해 받아들여서 가입자에게 전송될 확률은 식 (3)과 같다.

$$P = P_c + P_u \tag{3}$$

부호  $C_1$ 을 적절하게 선정하면,  $P_u$ 는 무시되어지고  $P \approx P_c$ 이고,  $P_c$ 는 식 (4)와 같다.

$$P_c \geq (1 - P[E])^n \tag{4}$$

Punctured 코딩[6]은 비트제거를 통해 처리율을 높이기 위해 사용되므로, 단위 시간에 보낼 수 있는 데이터의 양이 코드율의 증가에 따라 증가함을 알 수 있다. 다만, 채널의 성능에 따라 BER이 높은 경우에는 코드율이 낮아야 한다. 본 연구에서는 코드율이 1/2의 코드를 기본으로 하고  $k=7$ 인 일반적인 길쌈부호를 사용한다고 가정한다. Punctured 코딩의 코드율에 따른 에러발생 확률은 자유거리에 상당한 영향을 받는데 코드율이 높아짐에 따라 자유거리는 작아지게 되므로, 성능의 저하를 가져올 수 밖에 없다. 이에 따라 각 코드율에 따른 채널 성능과 처리율 사이의 관련성을 시뮬레이션 한 결과는 그림 4와 같다.



[그림 4] 부호율의 변화에 따른 BER 특성

그림 4를 보면 부호율이 증가함에 따라 채널의 처리율이 증가하는 것을 알 수 있지만, 채널의 BER이 증가하면, 처리율이 급속하게 감소하게 된다. 따라서, 채널의 BER을 예측하는 방법을 사용하면, BER의 증가에 따라, 적절한 지점에서 부호율을 변경하여 전체적인 처리율의 향상이 가능하다.

따라서 각 수신패킷의 디코딩에 따른 시스템의 채널 BER을 예측하고, 이러한 예측치를 바탕으로 부호율을 적응적으로 결정한다면, 채널의 처리율을 증진시킬 수 있다. 부호율의 변경을 위해서는 변경을 하기 위한 적절한 조건이 성립되어야 한다.

본 연구에서는 변경 지점을 미리 지정해 두는 테이블 검색방식을 사용한다. 테이블 검색방식을 사용하기 위해 그림 4를 참조하여 부호율에 따른 교차점을 찾아보면 표 1과 같다.

[표 1] 부호율에 따른 교차점

엔트리	crossover points	부호율
1	$2 \times 10^{-2}$	1/2
2	$9 \times 10^{-3}$	2/3
3	$3 \times 10^{-3}$	3/4
4	$1 \times 10^{-3}$	4/5
5	$2.5 \times 10^{-4}$	5/6
6	$9 \times 10^{-5}$	6/7
7	$> 9 \times 10^{-5}$	7/8

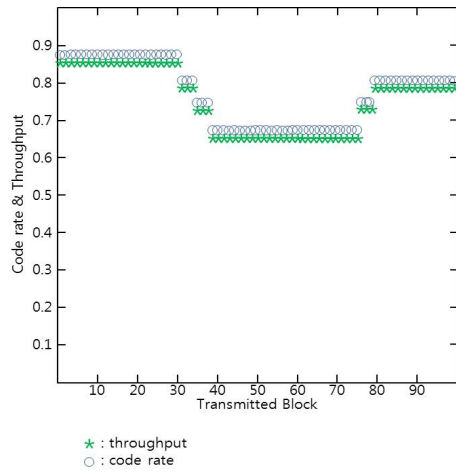
### 3.3 제안된 성능 예측 방법

일반적으로 채널의 상태는 정상적인 상태를 유지하면서 잡음에 의하여 서서히 변화하며, 이에 따라 송신블록에 대한 수신블록의 비를 측정하면, 채널의 상태를 예측할 수 있다. 따라서 식 (2)를 이용하면, ARQ 알고리즘을 사용하는 경우의 채널 상태의 예측이 가능하다.

시스템 설계 시 최악의 경우를 고려하므로 채널의 상태가 정상적인 경우에는 전송전력의 여유분이 생기게 되며, 이에 따라 기 선정된 부호율 보다 높은 부호율로 고효율의 전송이 가능해 진다. 하지만 채널의 상태가 악화됨에 따라 NAK(Negative ACK)의 발생빈도는 높아지게 되며, 이에 따라 발생하는 NAK를 이용하여 채널의 BER을 계산할 수 있다. 계산된 BER은 표 1에 의해 설정된 교차점을 이용하여 부호율을 변경하게 된다. 이 경우의 시뮬레이션한 결과를 그림 5에 나타내었다.

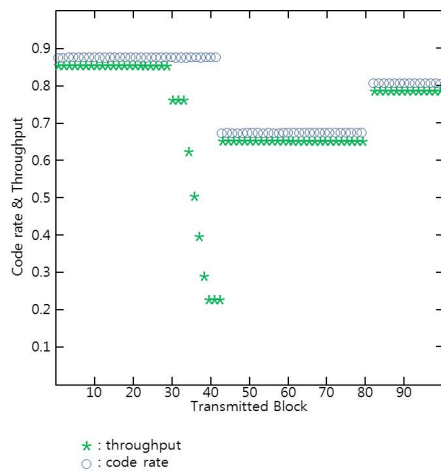
일반적인 경우에 전송 블록에 따라 채널의 상태가 변경되면, 안정된 상태가 되기까지는 각 블록마다 채널의 예측된 BER이 변화하게 되어 이에 대한 부호율은 매 블

록마다 바뀌어야 하므로, 송수신기의 동기에 상당한 애로점이 발생된다. 만일 양단의 부호율 변경이 이 변경 속도를 따라가지 못하는 경우에는 데이터 손실이 발생된다. 따라서, 부호율의 변경은 시스템 설계자에 의해 결정되는 임의의 블록 수 만큼 같은 예러상태가 감지되는 경우에 대해 수행하도록 알고리즘을 개선하였다.



[그림 5] 일반적인 채널에 대한 부호율 및 처리율의 변경

만일 임의의 블록 수가 두 블록이라고 가정하면, 그림 5와 동일한 채널상태에서의 수정된 알고리즘에 따른 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다.

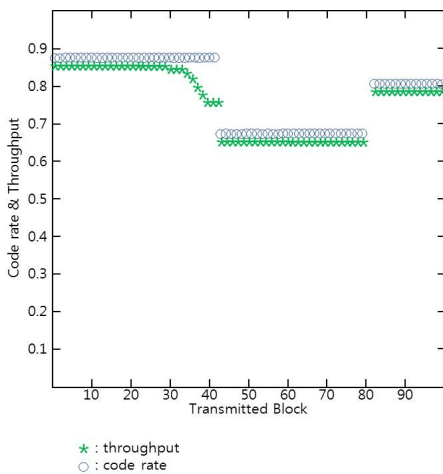


[그림 6] 수정된 부호율 및 처리율의 변경

그림 6과 같이 채널의 상태가 악화되었음에도 불구하고

고, 부호율이 높게 유지된다면, 처리율은 급속하게 감소하게 된다. 그런데, 채널의 처리율은 블록 사이즈에 따라 변화하게 되므로, 만일 블록 사이즈를 줄여서 보낸다면 이 문제가 해결 될 수 있음을 알 수 있다.

따라서 이러한 경우를 방지하기 위해 채널의 상태가 변경되었으나, 수정된 알고리즘에 따라 부호율이 변경되지 않는 상태에서는 블록사이즈를 1/10로 감소시킴으로써, 처리율이 급격하게 떨어지는 것을 방지해 줄 필요가 있어 이를 적용하였다. 이와 같이 수정된 최종 알고리즘에 따라 수행된 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다.



[그림 7] 최종 수정된 부호율 및 처리율의 변경

결론적으로 채널의 처리율을 증진시키기 위해 FEC 부호율을 변경함으로써, 채널 성능의 향상이 가능함을 알 수 있었고, 이러한 변경에 필수적으로 사용되는 채널 BER의 측정은 ARQ 알고리즘에 따른 송수신 블록에 따라 측정되었다. 또한 채널 상태의 변경에 따른 송수신의 급격한 변화를 막기 위해 일정한 기간 동안 부호율을 고정함으로써 순간적인 변화를 줄이고, 이 순간의 처리율이 급격하게 떨어지지 않고 유지되도록 하였다.

#### 4. 결론

디지털 통신 시스템을 구성하는 경우에 채널 특성에 따른 규격을 제정하여 이를 바탕으로 시스템의 설계가 이루어진다. 시스템 규격은 사용되는 채널의 환경 및 조건에 따라 일정한 기준 이상의 조건에서 동작하도록 설계되고, 대부분의 경우에 설계된 전력의 일부는 동작 여유분으로 남는다. 이러한 여유분의 이득을 이용하여 채널

의 특성 변화에 대한 변수를 조정하므로써 사용되는 방안이 최근의 디지털 통신 시스템에서 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 같은 구속장을 갖는 길쌈부호에 대해 부호율을 채널의 특성에 맞게 변화하므로써, 디지털 통신의 처리율을 증가시키기 위한 방안을 제시하였다.

채널의 처리율을 증가시키기 위해 punctured 코딩을 이용하여 FEC 부호율을 변경함으로써, 전송용량의 향상이 가능함을 알 수 있었고, 이러한 변경에 필수적으로 사용되는 채널 BER의 측정은 ARQ 알고리즘에 따른 송수신 블록에 수에 따라 측정되었다. 또한 채널 상태의 변경에 따른 송수신의 급격한 변화를 막기 위해 일정한 기간 동안 부호율을 고정함으로써 순간적인 시스템의 변화를 줄이고, 이 순간의 처리율이 급격하게 떨어지지 않고 유지되도록 하기 위해 전송 블록사이즈를 줄이는 방안을 제시하였다. 또한 제시한 방법을 적용한 결과, 시스템의 어려움에 따른 부호율의 변경과 처리율의 향상이 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

#### 참고문헌

- [1] Liu, "Experimental Study on 42.7-Gb/s Forward Error Correction Performance Under Burst Errors", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 20, pp. 927-929, 2008.
- [2] Lott, Milenkovic, Soljanin, "Hybrid ARQ: Theory, State of the Art and Future Directions", IEEE Information Theory Workshop on Information Theory for Wireless Networks, pp. 1-5, 2007.
- [3] Matsuoka, "Adaptive Modulation System with Punctured Convolution Code for High Quality Personal Communication Systems", IEICE transactions on communications, vol 79. No.3, pp. 328-334, 1996.
- [4] Kai Xie, Wenbo Wang, "An Adaptive ARQ Technology for Fast Fading Channel", Proceedings on 2006 6th International Conference on ITS Telecommunications, pp. 561-564, 2006.
- [5] Ming Li, Tao Wen, "Hardware /software Co-design for Viterbi Decoder", Proceedings on ICEPT-HDP 2008, pp. 1-4, 2008.
- [6] David Haccoun, "High Rate Punctured Convolution Codes for Viterbi and Sequential Decoding", IEEE transactions on communications, vol.37, No. 11, pp. 1113-1125, Nov. 1989.

**이 명 수(Myung-Soo Lee)**

[정회원]



- 1999년 3월 ~ 현재 : (주)인소팩 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 멀티미디어공학과 대학원

<관심분야>

정보통신, 모바일 통신

---

**조 대 제(Dae-Jea Cho)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 국립안동대학교 멀티미디어공학과 교수

<관심분야>

멀티미디어 콘텐츠 보안, 멀티미디어 응용