
차세대이동통신 시스템을 위한 적응변조방식의 성능 분석에 관한 연구

강희조* · 성길영**

A Study on the Performance Analysis of Adaptive Modulation for Next Generation Mobile Communication System

Heau-Jo Kang* · Kil-Young Sung**

요 약

멀티미디어 통신의 실현 및 주파수의 유효이용을 위해 불가결한 다중마이크로 셀 환경에서의 효율적인 시스템 구성을 위해서는 정보의 종류 및 트래픽의 시간적인 변동에 대해서 유연한 접속 제어가 필요하다. 본 논문에서는 높은 시스템 용량을 실현하기 위해, 송신 단말의 평균 SNR에 대응하여 변조 파라미터를 동적으로 설정하는 저속적응변조 방식과 트래픽 상황에 대응하여 TDMA 데이터 슬롯 수를 가변으로 하는 다중슬롯 할당 방식을 조합시켰다. 적응 다중슬롯 할당 방식을 제안하고, 제안방식의 평균 메시지 지연 특성을 시뮬레이션에 의해 평가한다.

ABSTRACT

This paper proposes an adaptive multislot allocation algorithm in order to achieve larger system capacity and higher throughput data transmissions. The proposed system is the combination of the slow adaptive modulation system, in which the base station dynamically assigns optimum modulation parameters measuring the SNR of each transmission terminal, and the multislot allocation scheme, in which the base station flexibly allocates an appropriate number of TDMA data slots according to the instantaneous load conditions. Computer simulations confirm that the proposed system can tremendously improve average message delay characteristics in comparison with the conventional fixed slot allocation method.

키워드

Adaptive multislot allocation algorithm, Slow adaptive modulation, Next Generation Mobile communication

I. 서 론

최근에 고도정보 사회의 진전에 따라, 일본, 미국, 유럽의 각국을 선두로 하는 주요 선진국을 중심으로 정보 통신을 차세대에 있어서 가장 중요한 한 사회생활 기반으로서 위치 지워지는 움직임이 확산되고 있

다. 또, 디지털 육상 이동통신의 분야에 있어서는 휴대 전화나 디지털 무선 전화의 실용화에 대표되는 바와 같이, 무선 통신의 퍼스널화가 진행되고 있다. 이와 같은 배경으로부터, 디지털 육상 이동 통신에 대한 수요가 급속하게 확대되고 있고, 앞으로 가입자의 비약적인 증가에 의한 주파수 자원의 고갈에 대처하고, 유효

* 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

** 경상대학교 정보통신공학과 교수

한 주파수 이용을 도모하기 위해 더욱이 높은 용량을 갖는 시스템의 제작이 중요한 과제가 되고 있다.

종래의 전송에서는, 통신로 환경이 열악한 경우에서도 소요 품질을 보장하기 위해, 비교적 낮은 변조 다치 수 및 심볼율로 고정된 변조방식으로 전송을 행하고 있다. 이 때문에, 통신로 환경이 양호한 경우에서도 그 전력 이득을 유효하게 이용하는 것이 불가능하고, 효율이 좋지 않은 시스템이 되고 있다. 이것을 개선하기 위해, 통신로 환경의 순시 변동에 대응하여 변조방식, 심볼율을 동적으로 설정하는 적응변조방식 [1] 이 제안되고, 그 유효성이 다수 발표되고 있다. 한편, 주파수의 공간적 이용율의 향상을 도모하기 위해, 셀 반경을 작게하는 마이크로 셀화가 진행되고 있다. 그러나, 마이크로 셀화를 하면, 트래픽이 시간적, 장소적으로 동적으로 변동하기 때문에, 트래픽의 예상치를 근거로 채널 계획을 세우는 것은 곤란하리라 예상된다. 이 때문에, 마이크로 셀 환경 하에서의 효율적인 시스템의 제작을 고려하는 경우, 보다 효과적인 트래픽 제어 시스템의 실현이 요구되어진다.

더욱이, 종래의 무선 통신에 있어서는, 음성 전송이 주류를 이루었지만, 앞으로는 멀티미디어 무선 통신에 있어서 종래의 음성계열의 미디어에 한정되지 않고, 퍼스널 컴퓨터 통신, FAX 등 텍스트 데이터, 화상과 데이터 등의 여러 가지 정보가 혼합하는 통신 형태로 될 것이 예상된다. 이러한 배경으로부터, 정보의 종류 및 트래픽의 변동에 대해 유연한 접속 제어가 필요하게 된다.

본 논문에서는, 이러한 과제를 해결하는 방법의 하나로서, 시분할다중접속 방식을 전제로 트래픽 상황에 대응하여 전송 데이터 슬롯 수를 가변으로 하는 멀티슬롯 할당 방식에, 송신단말의 평균 SNR에 대응하여 변조 다치 수, 심볼율이라고 하는 변조 파라미터를 동적으로 설정하는 저속적응 변조방식 [2]를 조합시킨 적응 멀티 슬롯 할당 방식을 제안하고, 제안시스템의 특성을 평가한다.

II. 저속적응 변조방식

저속적응 변조방식은, 다치 QAM 방식을 기본으로 하여, 거리 감쇠나 웨도잉 등의 비교적 원활한 통신로

상황의 변동에 추정하여 변조 방식을 가변으로 하는 것이다 [2].

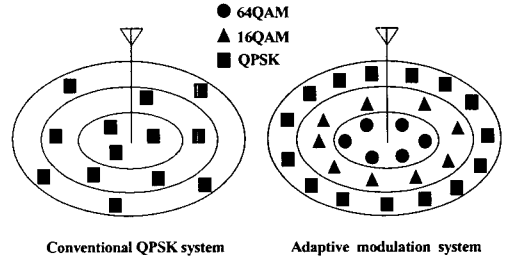


그림 1. 저속적응 변조방식
Fig. 1 Slow adaptive modulation

그림 1에 저속적응 변조방식을 나타냈다. 종래의 시스템에 있어서는, 통신로 상황의 변동을 상정하여, 최악의 환경의 경우에 있어서도 최저한의 품질을 유지하도록 설계되어 있다. 그 때문에, 통신로 상황이 어떠한 경우에서도, 항상 최악인 상황의 경우와 같은 조건으로 전송을 하게 되는데, 효율이 대단히 좋지 않게 된다. 이것에 대해, 저속적응 변조방식을 이용하면, 평균 SNR에 대응하여 변조방식을 가변으로 하는 것으로 효율이 좋은 전송 시스템을 실현하게 된다. 즉, 기지국에 가까운 셀 중심부에서는 평균 SNR이 높는데, 64QAM과 16QAM 등이라고 하는 단위 주파수 당의 정보 전송 능력이 높은 변조방식을 이용하여 고속 전송을 행하고, 역으로 기지국에서 먼 셀 주변에서는 평균SNR이 낮기 때문에, QPSK나 1/2-QPSK 등 단위 주파수 당의 정보 전송 능력은 낮지만 에러에는 강한 변조방식을 이용해 품질 열화의 저감을 도모하는 것에 의해, 전체적으로 고속·고품질의 전송을 실현하는 것이다.

III. 제안방식

그림 2에 시스템 모델을 나타냈다. 제안방식에서는 간단히 하기 위해 단일 기지국에 다수의 송신 단말이 존재하는 단일 셀 모델로 한정하여 고찰한다. 또, 시분할다중접속 프레임은 M개의 시분할다중접속 슬롯으로 구성되어 있는 것으로 한다.

데이터 송신에 있어서, 셀 내의 송신 단말은 임의의

시각에 각각 독립적으로 기지국에 대해 발호 요구를 행한다. 그 경우, 그 단말은 데이터 송신에 필요한 메시지 길이를 상 회선의 공통 제어 채널 (Common Control Channel : CCCH)를 이용해 기지국에 통보한다. 기지국은 단말에서의 발호 요구를 받으면, 즉시 그 발호요구를 기지국 내의 행렬에 더한다. 시분할다중접속 프레임의 종료 시점에 있어서, 빈 슬롯 수와 가지고 있는 행렬 내 발호요구 수와의 관계부터 정해진 슬롯 할당 알고리즘에 따라서 다중슬롯 할당을 행한다. 하 회선의 공통 제어 채널을 이용해 각 단말에 송신허가의 지정을 행한다. 송신을 허가한 단말은 다음 프레임에서 할당되는 슬롯을 이용하여 즉시 데이터 송신을 행하고, 송신이 완료될 때까지의 사이, 할당을 받은 슬롯 시간만큼 회선을 점유한다. 또, 슬롯 할당의 경우 기지국은 그 단말의 평균 SNR을 계산하고, 저속 적응 변조방식에 기초한 최적의 변조 파라미터를 할당한다.

본 논문에서는 트래픽 모델로서 다음과 같이 가정한다.

- 트래픽의 종류는 데이터만으로 한다.
- 발호요구의 생성은 각 송신단말에 대해서 독립으로, 각각 프레임 당 도착률 λ 의 푸아송 과정에 따른다.

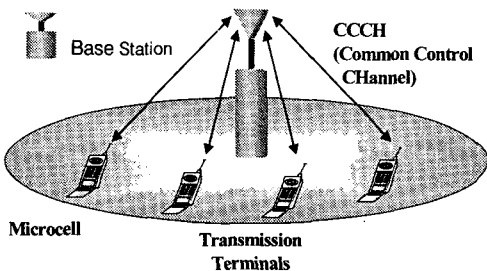


그림 2. 시스템 모델
Fig. 2 System model

3.1 다중슬롯 할당방식

제안방식에 있어서 이용한 다중슬롯 할당 알고리즘에서는, 사용 가능한 빈 시분할다중접속 슬롯을 기지국 내 행렬에 들어 있는 발호요구에서 균일하게 분할한다. 그 경우, 할당 최소 슬롯 수 S 를 설정하고, S 를 단위로서 그 배수 nS (n 은 정수)를 각 발호요구의 할당 슬롯 수로 한다. 또한, 프레임의 시간 이용율을 최

대로 하기 위해, 송신 중에는 빈 슬롯이 생기지 않도록 한다. 즉, 빈 슬롯 수를 행렬 내 발호수로 나눈 값 이상으로, S 의 배수가 되는 최소의 슬롯 수가, 각 발호요구의 할당 슬롯 수가된다. 혹, 슬롯을 더하는 것이 불가능한 발호요구가 발생한 경우는 행렬 선두의 발호요구로부터 순서대로 할당을 하고, 할당되지 않은 남은 발호요구에 대해서는 빈 슬롯이 생길 때까지 행렬 내에 남아 있는 것으로 한다.

이하에 할당 하한 슬롯 수 $S=6.1$ 프레임 내 슬롯 수 $M=96$ 의 경우의 예를 나타낸다. 이 경우, 빈 슬롯 수는 항상 6의 배수가 된다.

3.2 변조 파라미터의 할당

적응변조 방식으로 사용하는 변조 방식 QPSK에 나카가미 페이딩을 적용한 오율식은 다음과 같이 나타내진다[3].

$$P_{\text{QPSK}} = \int_0^{\infty} P_{e,\text{QPSK}} \cdot p(R) dR \quad (1)$$

여기서, $P_{e,\text{QPSK}} = \text{erfc}(\sqrt{R})$,

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

단, $\Omega = \overline{R^2}$.

또한, 적응변조 방식으로 사용하는 변조 방식인 M진 QAM에 나카가미 페이딩을 적용한 오율은 식 (2)이고, 여기서 사용하는 변조방식은 16QAM, 64QAM, 256QAM을 고려하므로 $M=16, 64, 256$ 인 경우에 대해 해석한다[4].

$$P_{\text{MQAM}} = \int_0^{\infty} P_{e,\text{MQAM}} \cdot p(R) dR \quad (2)$$

여기서,

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

단, M : M-ary 수

이것을 이용하는 것에 의해, 각 변조방식의 평균 SNR에 대한 BER 특성을 구하는 것이 가능하다. 역으로 말하면, 기준 BER이 주어지면, 그것에 따라서 변조방식의 평균 SNR 기준치가 결정된다.

제안방식에 있어서는 슬롯 할당에 있어서 기지국이 그 발호요구를 보낸 단말의 평균 SNR을 측정하고, 기준 BER을 만족하는 동시에 최고의 전송 속도를 갖는 변조 파라미터를 그 발호요구에 할당한다. 혹시 어떠한 변조방식을 이용하여도 기준 BER을 만족하는 것이 불가능한 경우에는 설정 가능한 최저의 변조방식 및 심볼율로 전송을 한다. 이것에 의해, 평균 SNR이 높은 때는, QPSK 방식보다도 높은 변조 다치 수를 이용하는 변조방식으로 전송이 가능하게 되고, 고속 데이터 전송이 가능하게 된다. 역으로, 평균 SNR이 낮은 때에는, 심볼율을 낮춤으로서 품질의 열화를 최소화함으로써 억제하는 전송이 가능하게 된다.

IV. 다중슬롯 할당방식의 성능 평가

제안방식의 성능을 평가하기 위해, 시뮬레이션에 의한 해석을 한다.

시뮬레이션에 있어서 다음과 같이 가정을 한다.

1 프레임 당 데이터 슬롯 수 M 은, 96으로 하고 셀 내 단말 수 N 은 시간과 함께 변동하지 않고, 셀 내의 각 단말은, 각 프레임의 종료 시점에 있어서, 확률 λ 로 발호요구를 한다. 동시에 송신 메시지 길이를 기지국에 통보한다. 메시지 송신에 필요한 데이터 슬롯 수는 변조방식이 QPSK 방식의 경우에 대해 평균 메시지 길이 L 의 기하분포로 주어지고, 지국 내의 행렬에 들어올 수 있는 발호요구 수는 무한으로 한다.

통신로 환경으로서는, 거리의 α 승에 반비례하여 감쇠 하는 거리감쇠와 대수정규분포에 따른 쉐도잉 고려한다. 한편, 평균 SNR에 대한 BER 특성은 나카가미 페이딩 채널환경의 특성으로 한다.

4.1 변조방식 고정멀티슬롯 할당방식의 특성

제안 방식의 특성 평가에 앞서서, 다중슬롯 할당방식의 유효성을 나타내기 위해, 변조방식을 QPSK 방식에 고정된 다중슬롯 할당방식의 특성에 대해서 종래의 QPSK 고정의 고정슬롯 할당방식과 비교하여 평가한다. 여기서, 고정슬롯 할당방식의 발호요구당의 할당 슬롯 수는 다중슬롯 방식에 있어서 할당 하한 슬롯 수 S 와 같게 하고, 6채널 다중을 가정하고, $S = 6$ 을 했다.

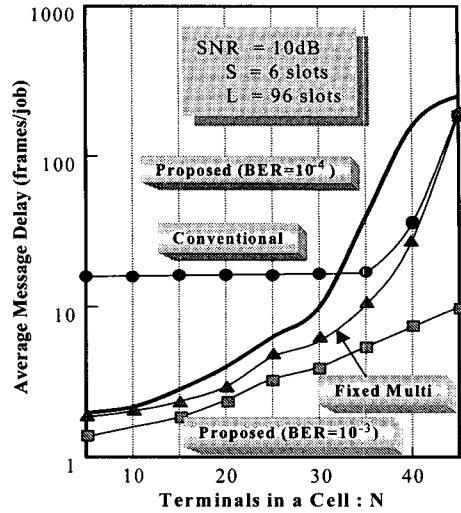


그림. 3 평균 메시지 지연
Fig. 3 Average message delay

그림 3에 변조방식 고정 멀티 슬롯 할당방식에 있어서 셀 내 단말 수 N 에 대한 평균 메시지 지연 특성을 나타냈다. 여기서 평균 메시지 지연이란, 어떤 발호요구가 발생하므로 그 발호요구가 송신 완료될 때까지에 필요한 시간을 프레임 수로 나타내는 것으로서 표현한다.

그림 3에서 고정 슬롯 할당방식의 경우, 셀 내의 단말이 적은 곳에서는, 발호요구가 필요한 때에 일어나지 않고, 지연 특성은 $L/S = 96/6 = 16$ 프레임을 나타내고 있는데, 셀 내의 단말이 증가함에 따라, 적절한 시간에 발호요구가 발생하고, 지연 특성이 증가한다. 이것에 대해, 다중슬롯 할당 방식에서는, 셀 내의 단말이 적은 곳에서는 각 발호요구 할당 슬롯 수가 많으므로 단시간에 송신을 끝내는 것이 가능하고, 지연 특성이 개선되고 있는 것을 알 수 있다.

4.2 제안방식의 특성

다중슬롯 할당방식에 지속적인 변조방식을 조합시켜 변조 파라미터를 가변으로 하는 제안방식의 특성을 평가한다. 그림 3에 제안방식의 평균 메시지 지연 특성을 나타낸다. 또, 고정 슬롯 할당 방식, 변조방식 고정 멀티슬롯 할당 방식의 평균 메시지 지연 특성을 함께 나타낸다.

그림 3에서 기준 $BER = 10^{-3}$ 으로 한 때의 제안방식의 특성은, 고정슬롯 할당방식, 변조방식 고정 멀티슬롯 할당방식의 그것에 비해 크게 개선되고 있다. 이것은, 제안방식에 있어서, 64QAM 방식과 16QAM 방식 등의 높은 변조 다차 수의 변조방식을 이용해 고속으로 전송시키는 경우가 많기 때문이다. 기준 $BER = 10^{-3}$ 으로 하는 경우, 제안방식의 평균 메시지 지연은, 고정슬롯 할당방식에 비해, 셀 내 단말 수 $N=45$ 에 있어서 약 20배, $N=5$ 에 있어서 약 10배 개선되고 있다. 그런데, 기준 $BER = 10^{-4}$ 으로 하는 경우, 셀 내 단말 수가 크게 되면, 제안방식의 지연 특성이 고정 슬롯 할당 방식보다도 열화하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은, 소요 품질이 엄격하게 되면, 각 변조방식의 평균 SNR 스톱홀드가 커지므로, 기준 $BER = 10^{-3}$ 으로 하는 경우와 같은 평균 수신 SNR 이라도, QPSK 방식과 1/2-QPSK 방식이 선택된 경우가 높게 되고, 전체적인 송신 메시지 슬롯 수가 증가하기 때문이다.

그렇지만, 기준 $BER = 10^{-3}$ 으로 하는 경우에 있어서도, 오류 정정 부호를 적용하는 것에 의해, 각각에러 없는 고품질 전송을 실현하는 것이 가능한 것이 보고되어 있다[5]. 또한, 고정 슬롯 할당 방식에 있어서는, 변조방식으로서 QPSK 방식밖에 이용할 수 없기 때문에, 발호 단말의 평균 수신 SNR이 QPSK 방식의 평균 SNR 스톱홀드를 밑돌지 않는 한 소요 품질을 만족하는 것이 가능하게 된다. 따라서, 적응 다중슬롯 할당방식은, 고정슬롯 할당방식에 비해 고품질의 전송을 실현할 수 있는 것을 알 수 있다.

V. 결론

시뮬레이션에 의해, 다중슬롯 할당방식을 이용한 저속적용 변조방식의 평균 메시지 지연 특성의 평가를 하였다. 이것에 의해, 다음의 결과가 얻어진다.

첫째로 변조방식 고정 다중슬롯 할당방식은, 셀 내 단말수가 작은 경우, 종래의 고정 슬롯할당 방식에 비해 평균 메시지 지연 특성이 양호하다.

두 번째로 제안방식인 적응 다중슬롯 할당방식은 종래의 고정슬롯 할당 방식에 비해 특성이 대단히 양호하고, 기준 BER 이 10^{-3} , 셀 경계에서의 평균 SNR이 10 dB의 경우, 평균 메시지 지연특성은, 셀 내 단말 수 45의 경우에는 일반적으로 20배, 5의 경우에는 일반적으로 10배 개선된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- [1] N. Morinaga, M. Yokoyama and S. Sampei, "Intelligent radio communication techniques for advanced wireless communication system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. 70-B, no.3, March, 1996.
- [2] S. Sampei, S. Komaki and N. Morinaga, "Adaptive modulation/TDMA scheme for large capacity personal multimedia communication system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E77-B, no.9, September, 1994.
- [3] A. Goldsmith, "Digital Wireless Communication", *CAMBRIDGE*, 2004.
- [4] T. Namekawa, s. Okui, *Communication System*, Morikita publishing Co., 1990.
- [5] H. Matsuoka, S. Sampei and N. Morinaga, "Adaptive modulation system with punctured convolutional code for high quality personal communication system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, no. 3, March, 1996.

저자약력



강희조(Heau-Jo Kang)

1994년 한국항공대학교 대학원 항
공전자공학과 (공학박사)

1996년 8월~1997년 8월 오사카대
학교 공학부 통신공학과
객원교수

1990년 3월~2003년 2월 : 동신대학교 전자정보통신
공학부 교수

2003년 3월~현재 : 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공
학부 조교수

※ 관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱
스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신,
환경전자공학, 무선광통신, 디지털콘텐츠, RFID 등

성길영(Kil-Young Sung)

1996년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양
산업연구소 연구원
제9권 1호 참고