

WiBro 휴대 인터넷 시스템을 위한 자원 할당 알고리즘 비교 분석

준회원 여혜진*, 양주영*, 종신회원 김정호*

Performance Analysis of Resource Allocation Scheme for WiBro Portable Internet System

Hye-jin Yeou*, Joo-young Yang* Associate Members, Jeong-ho Kim* A Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 OFDMA, TDD 전송방식을 채택한 WiBro 시스템 표준의 resource 할당 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 구현하였고, bandwidth efficiency를 보다 더 높이기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은, 변조지수를 최대로 하여 채널 이득이 큰 subchannel부터 작은 subchannel 순서로 비트를 할당한다. 이 때 subchannel의 수를 증가시킴으로 인해 전송되어야 할 power가 증가하는데, 이 power가 available power를 넘는 순간에 할당되는 subchannel의 변조지수를 조정하여 available power를 넘지 않게 하는 방법이다. 기존의 greedy algorithm이나 WiBro 시스템과 비교하였을 때, 제안하는 알고리즘을 적용할 경우 power가 제한되어 있는 것으로 인해 사용되는 subchannel의 수가 현저히 작아져서 bandwidth efficiency 측면에서는 좋은 성능을 나타내게 한다. 하지만 channel attenuation이 큰 환경에서는 최대 throughput이 떨어지는 문제점이 발생하는데, 타 시스템에서 지원되는 만큼의 throughput을 보장하는 문제 역시 중요하기 때문에, 이를 극복하기 위해 이 경우에는 available power를 추가 할당하여 사용되는 subchannel수를 증가시켰다. 이 경우, 기존 시스템과 비슷한 throughput을 보장 하면서 bandwidth 이득은 더 높게 얻을 수 있음을 확인하였다.

Key Words : WiBro, subchannel allocation, power allocation, throughput, bandwidth efficiency

ABSTRACT

In this paper, we implement resource allocation algorithm based on the WiBro system which including OFDMA, TDD, and we propose the algorithm in order to increase bandwidth efficiency. In this algorithm, data is allocated from the subchannel which has large channel gain to the subchannel which has small channel gain with maximum modulation order. The moment total power is more than available power, the modulation order of the latest subchannel is adjusted. The problem of decreasing of throughput in large channel attenuation environment is solved by allocating additional power. Still, this algorithm has large bandwidth efficiency.

I. 서론

휴대 인터넷은 무선랜과 이동통신 기반 무선 인터넷의 중간에 위치하면서 두 서비스의 장점을 고

루 갖춘 서비스로서, 휴대용 무선 단말기를 이용하여 언제, 어디서나 정지 및 중, 저속 이동상태에서 고속의 전송속도로 인터넷에 접속하여 다양한 정보와 콘텐츠를 얻거나 활용할 수 있는 서비스를 의미

* 이화여자대학교 정보통신학과 무선멀티미디어통신 연구실(jho@ewha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-03-116, 접수일자 : 2005년 4월 7일

* 이 논문은 정보통신부대학 ITRC 프로젝트의 지원에 의해서 연구되었음

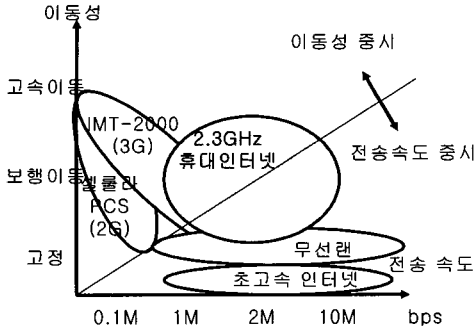


그림 1. 이동성 및 전송속도 측면에서의 무선랜, 이동통신 기반 무선인터넷 및 휴대인터넷의 관계

한다. 따라서 휴대 인터넷은 필수 요구사항으로 가입자 당 전송속도는 상향 전송속도를 최소128Kbps에서 최대 1Mbps로, 하향 전송속도를 최소 512Kbps에서 최대 3Mbps로 정의하였으며, 최대 이동속도는 60Km/h로 정하였다. 즉, 휴대인터넷은 이동통신 기반 무선 인터넷만큼의 고속이동성을 지원하지 못하지만 고속의 전송속도로 인터넷 서비스를 제공할 수 있으며, 무선랜보다는 전송속도가 느리지만 단말의 이동성을 보장할 수 있는 서비스이다[1, 2]. 그림 1은 이동성 및 전송속도 측면에서 무선랜과 이동통신 기반 무선인터넷 및 휴대인터넷의 관계를 도식적으로 나타낸 것이다[3].

무선통신시스템에서는 전체 시스템의 throughput을 증가시키는 것이 중요한 문제이다. Throughput 측면에서 특히 문제가 되는 것이 cell 경계 지역의 user에 대한 bandwidth 할당인데, 많은 bandwidth를 요구하는 cell 경계 지역의 user에게 요구량만큼의 bandwidth를 모두 할당해 줄 경우, cell 중심 지역의 bandwidth를 적게 요구하는 user들에게까지 할당해 줄 bandwidth가 부족하게 되어, 전체 시스템의 throughput 측면에서 효율성이 떨어지는 문제가 발생한다. WiBro 시스템에서는 multicell 개념을 도입할 예정이므로, 각 user들에게 할당할 수 있는 power의 양은 충분하다고 판단하여 이 문제를 해결하기 위한 방식으로 많은 bandwidth를 요구하는 cell 경계 지역의 user들에게는 임의로 할당 power량을 늘려서 최대 throughput은 유지하면서 bandwidth 낭비를 막는 해결안을 제안하려고 한다.

상향링크에서는 단말기의 배터리 수명을 고려하여, power efficiency를 중요하게 고려해야 하는 반면, 하향링크에서는 정해진 bandwidth를 효율적으로 scheduling하는 bandwidth efficiency가 중요한 고려사항이다. 따라서 WiBro 시스템의 하향링크에서는

기존에 연구되고 있는 resource allocation방식인, MA(Margin Adaptive) 방식[4]과 RA(rate adaptive) 방식[5] 중, RA방식을 고려하였다. 하지만, RA 방식은 power 제한에 걸리기 전까지는 subchannel의 수를 무한정 증가시켜서 사용하는 구조이므로 bandwidth를 효율적으로 쓰지 못하는 문제가 있다. 따라서 throughput 대비, 최소의 대역폭을 쓰게 하는 algorithm에 대한 연구가 필요하다[7-10].

본 논문에서는 일차적으로 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘을 구현하였다. 그리고 그것을 바탕으로 대역폭을 최소로 하기 위한 알고리즘을 제안한다. WiBro 방식은 제한된 power 범위 내에서, 사용하는 subchannel 개수와 그에 의존하는 변조방식에 따라 throughput을 최대로 얻는 방식이며, 제안한 방식은 WiBro 방식을 사용할 경우와 비슷한 throughput을 보장하면서 변조지수를 높이는 대신 대역폭을 보다 효율적으로 사용하는 기법이다.

논문의 II장에서는 WiBro 시스템에 대해 간략히 언급하고, WiBro 표준에서 채택한 resource 할당 알고리즘을 설명한 다음, III장에서는 기존의 WiBro와 비슷한 throughput을 내면서 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 resource 할당 방법을 제안한다. IV장에서는 간단한 시뮬레이션을 통해 시스템 성능을 검증 및 토의하고, V장에서는 결론을 맺는다.

II. WiBro 표준을 적용한 resource 할당 방법

2.1 WiBro 시스템

그림 2에서 나타난 바와 같이 프레임 길이는 5msec의 고정값을 가지며, TDD 시스템의 상향링크와 하향링크는 전송시간으로 구분되며 slot 구획은

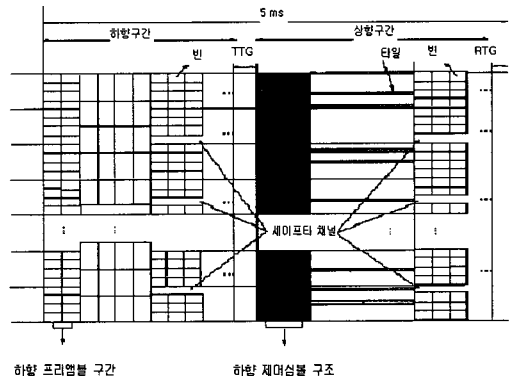


그림 2. Frame structure

유동적이다. 또한 이 상,하향 전송시간을 구분하기 위해 보호 시간인 TTG(121.2 5us) 및 RTG(40.4 us)이 프레임 중간과 마지막에서 하향링크 및 상향링크 사이에 삽입된다. 상, 하향링크에는 모두 다이버시티 subchannel과 AMCsubchannel 두 종류의 subchannel이 존재하고, AMC subchannel에는 기지국마다 특정 여분의 빈을 사용하지 않고 남겨두는 세이프티 채널이 존재한다. 하향링크의 맨 처음 두 심볼은 프리앰블이며, 상향링크의 맨 처음 세 개의 심볼은 레인징 채널, ACK 채널 및 CQI 채널의 제어신호 전송을 위해 사용된다[11].

하향링크의 AMC subchannel을 구성하는 기본단위는 빈으로 정의하며, 이는 동일 심볼에서 인접한 9개의 부반송파로 구성되고 이는 그림 3에 잘 나타나 있다[11].

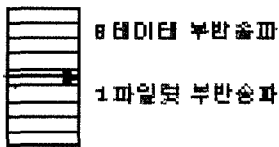


그림 3. 빈 구조

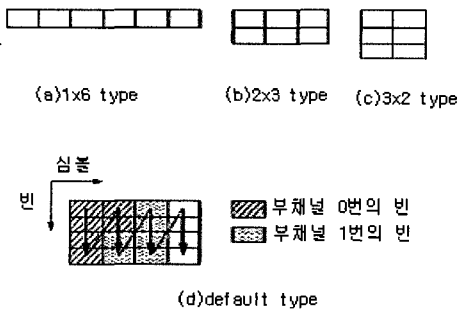


그림 4. AMC subchannel의 빈 구성방법

그림 4는 이러한 AMC subchannel의 빈 구성 방법을 간략하게 도시한 것이다. AMC subchannel의 type은 프레임 내에서는 모두 동일하며 상위 계층에 의해서 어떤 type이 현재의 프레임에서 사용되는지에 대한 정보가 알려진다. 각 type의 이름은 그림 4에서 언급한 대로 순서대로 1x6 type, 2x3 type, 3x2 type, 마지막으로 기본 type(default type)으로 불리어 진다[11].

2.2 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘 하향링크에 있어, 변조 지수(QPSK에 대해서는 2, 16-QAM에 대해서는 4, 64-QAM에 대해서는 6)는

모든 허용된 전송 형식에 대해 설정되고, 전송형식은 Nep (부호 패킷 크기)와 $Nsch$ (부호 패킷에 할당된 subchannel의 수)에 의해 결정된다. 부호 패킷 당 허용된 Nep 는 {144, 192, 288, 384, 480, 960, 1920, 2880, 3840, 4800}이다. 부호 패킷 당 할당할 수 있는 subchannel의 수 $Nsch$ 는 {1~480}이다 [12].

하향링크에서는 QPSK, 16QAM, 64QAM, 64QAM 등의 변조 방식이 지원되며, Nep 와 $Nsch$ 가 주어질 때, 변조 지수는 MPR(modulation order product code rate)의 값에 의해 결정된다. MPR은 한 개의 부반송파당 전송된 정보 비트의 수이며 식 (1)과 같이 정의된다[11].

$$MPR = \frac{Nep}{48Nsch} \tag{1}$$

변조지수는 다음의 규칙에 의해 결정된다.

- 1) $0 < MPR < 1.5$ 일 경우, QPSK(변조지수 2)를 사용한다.
- 2) $1.5 \leq MPR < 3.0$ 일 경우, 16QAM(변조지수 4)를 사용한다.
- 3) $3.0 \leq MPR < 5.4$ 일 경우, 64QAM(변조지수 6)를 사용한다.

신호 부호화율(effective code rate)은 MPR값을 변조지수(MOD)로 나눈 값과 동일하다. 즉, $code\ rate = MPR / MOD$ 로 결정된다. 하향링크에서는 bandwidth efficiency 측면에서 생각해야 하므로, 정해진 power로 bandwidth는 최소로 쓰면서 throughput을 최대 내는 개념인 RA방식을 고려할 수 있고, 상향링크에서는 단말의 입장에서 최소 전력을 이용하여 원하는(정해진) 데이터 전송속도를 보장하는 MA방식을 고려하는 것이 바람직하다.

본 절에서는 TDD방식을 채택한 WiBro 시스템의 frame의 time slot을 조정하여, user 1명에 대해 하향링크: 상향링크 = 1:1, 2:1, 5:1 각 경우에 대한 하향링크의 전력 및 throughput을 알아보려고 한다.

WiBro 시스템의 subchannel 수를 결정하는 알고리즘은 그림 5와 같다. 일정 크기의 packet(Nep)이 도착하면, 부호 패킷에 할당된 subchannel의 수 $Nsch$ 를 1개에서부터 점차 증가시킨다. 단, subchannel의 수를 증가시키기에 따라 총 power가 증가하는데, 기지국에서 user별로 미리 정해둔 available power를 넘지 않는 최대 power가 최종적으로 결정

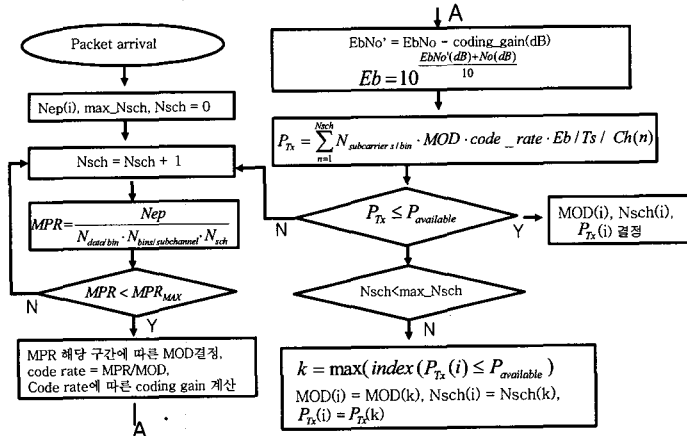


그림 5. WiBro system의 채널 할당 방법

되는 power이고, 그 때의 Nsch이 최종적으로 결정 되는 subchannel 수이다. 또한 그로 인해 정해지는 MPR값을 위의 조건식에 넣었을 때 결정되는 MOD 값과 code rate값이 전체 Nsch개의 subchannel에 공통적으로 적용되는 변조지수와 code rate값이 되는 것이다. 이 때 계산의 기준이 되는 채널별 power는 특정 coded BER을 만족시키기 위한 Eb/No값으로부터 정해지는 것이므로 coding gain을 고려한 것이며, 각 channel의 gain을 안다고 가정하여 channel gain도 고려한 값이다.

III. 제한하는 resource 할당 방법

3.1 제한한 resource 할당 알고리즘의 필요성

Greedy algorithm은 최소 power를 들어서 최대의 throughput을 얻고자 하기 때문에, 결과적으로 각 carrier당 적은 bit의 data를 실어 보내게 되어 대역폭을 많이 사용하게 된다. 또한 WiBro 시스템의 경우도 channel gain이 높은 subchannel부터 channel gain이 낮은 subchannel의 순으로 제한 power를 넘지 않는 한도 내에서 subchannel을 최대로 쓰고 있다. 두 시스템에 사용되는 대역폭과 throughput은 비슷하지만 WiBro 시스템의 구현 방법이 더 쉽고 계산량이 적다는 장점이 있다. 하지만 하향링크 상의 대역 효율성의 극대화는 여전히 문제로 남아있다.

Greedy algorithm과 WiBro 시스템 모두 전체 시스템의 throughput을 증가시키는 가장 적합한 방법으로 제시되고 있는 AMC(Adaptive Modulation and Coding)방식을 사용하여, 각 부반송파별로 다른 신호를 전송함으로써, 각 부반송파의 채널 상태에

맞추어 변조 및 코딩 기법을 변화시켜 최적의 전송을 하고 있다. 게다가 WiBro 시스템은 정해진 power로 bandwidth는 최소로 쓰면서 throughput을 최대로 내는 개념인 RA방식을 고려하여 bandwidth를 효율적으로 쓰는 것처럼 보인다. 하지만 두 시스템 모두 power 제한에 걸리기 전까지 subchannel의 수를 무한정 증가 시켜서 쓰는 구조를 가지므로, hot spot 상황에서 bandwidth가 부족현상이 발생하여, 적은 bandwidth를 요구하는 셀 중심에 위치한 user들에게 bandwidth를 할당할 수 없게 되어, 전체 시스템의 throughput의 관점에서 보았을 때 효율성이 떨어질 수 있다.

따라서 이 장에서는 greedy algorithm과 WiBro 시스템과 비슷한 throughput을 내되, 대역폭을 최소로 쓰게 하는 algorithm을 제안하였고, 제안하는 방식의 개념은 그림 6에 나타나 있다, 변조지수는 최대값(6)으로, code rate은 일정값으로 고정시키고 subchannel의 수를 늘려나가다가 power가 available power보다 커지는 순간에 할당되는 subchannel의 변조지수만 재조정(6->4->2)하여 available power보다 작아지는 변조지수를 얻는 방식이다. 이 때 할당되는 subchannel은 channel gain이 높은 subchannel 부터 channel gain이 낮은 subchannel의 순이기 때문에, available power보다 커지지 않는 범위 내에서는 변조지수를 모두 최대값으로 하여 할당하는 것이 최대throughput을 얻을 수 있는 방법이 되는 것이다.

3.2 제한한 resource 할당 알고리즘

그림 6는 제한한 채널 할당 알고리즘을 순서도로 나타내 본 것이다. MOD와 code rate이 일정값으로

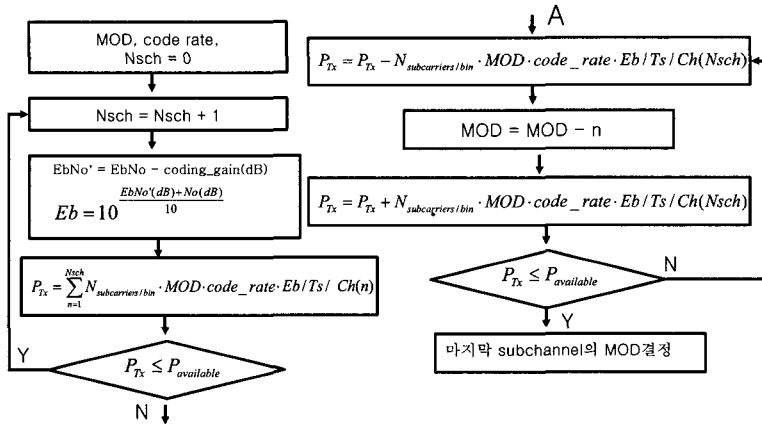


그림 6. 제안한 알고리즘의 채널 할당 방법

정해져 있고, 요구 BER을 만족시키는 bit energy가 계산되어 있다고 하면, subchannel의 수(Nsch)를 하나씩 증가시키면서, 해당 subchannel 수와 MOD, code rate, bit energy를 적용하였을 때의 전체 전송 power를 구한다. 이 power값이 기지국에서 정하는 available power값보다 적으면, subchannel의 수를 하나 더 증가시키고, 또 그 때의 전송 power를 구해 available power와 비교하는 것이다. 이런 방식으로 최대 변조지수를 가지고 subchannel의 수를 증가시켜 비교해가다가 available power를 넘는 순간에 할당하는 subchannel의 변조지수를 감소시켜가면서 available power를 넘지 않는 조정된 최대 변조지수를 마지막 subchannel에 적용한다. 위의 알고리즘에서 n은 변조지수 감소량을 나타내는 파라미터이다.

3.3 Greedy, WiBro, 제안 알고리즘의 비교

Greedy 알고리즘, WiBro 시스템의 알고리즘, 제안 알고리즘을 각각 비교하여 표 1에 나타내어 보았다. 세 알고리즘 모두 WiBro 시스템을 바탕으로 적용하였다, Available power는 기본적으로 2W로 제한하였고, 제안 알고리즘의 경우 Bandwidth efficiency를 위해 필요에 따라 8W까지 증가시켜 보았다. 할당방식은 Greedy 알고리즘은 MA방식인데 반해, 나머지 두 방식은 RA방식이다. 세 알고리즘 모두 bit 할당단위는 subchannel 단위로 동일하였으며, 할당순서는 Greedy 알고리즘은 알고리즘의 특성상 additional power가 작은 subchannel에 우선 순위를 높게 하였고, 반면, WiBro와 제안 알고리즘은 channel gain이 큰 subchannel부터 할당하였다. 변조지수는 Greedy 알고리즘은 각 subchannel에 할당

되는 bit수에 맞게 subchannel별로 다르며, WiBro 표준상에는 subchannel별로 같은 변조지수를 적용하고 있다. 또한 제안 알고리즘은 마지막에 정해지는 subchannel을 제외한 모든 subchannel의 변조지수는 최대 변조지수로 고정되어 있다. Code rate은 Greedy와 제안 알고리즘의 경우 최대의 code rate을 정하여 적용한 반면, WiBro 표준에서는 code rate이 입력 packet의 크기에 따라, 또는 사용되는 subchannel의 수에 따라 적응적으로 변한다.

표 1. Greedy, WiBro, 제안 알고리즘의 비교

	Greedy	WiBro 표준	제안
시스템	WiBro	WiBro	WiBro
Available power	2W	2W	2W, 8W
할당방식	RA	RA	RA
할당단위	subchannel	subchannel	subchannel
할당순서	Additional power가 작은 subchannel부터	channel gain이 큰 subchannel부터	channel gain이 큰 subchannel부터
변조방식	subchannel마다 다르다	subchannel마다 같다	subchannel마다 같다 (마지막 subchannel 제외)
code rate	최대의 code rate 적용	적용적으로 변함	최대의 code rate 적용

IV. Simulation 결과 및 토의

4.1 전력 및 throughput 계산

E_b/No 는 E_b/No dB, No 는 -169dBm/Hz, coding gain은 CG로 주어졌을 때 요구되는 E_b 를 계산은 다음과 같다[13].

$$E_b/No(req) = E_b/No - CG \quad (dB) \quad (2)$$

$$E_b(req) = E_b/No(req) + (-169) \quad (dB) \quad (3)$$

$$E_b = 10^{(Eb(req)/10)} \text{ (mw/Hz)} \quad (4)$$

한 user당 수신되어야 하는 평균 bit energy를 E_b' 라고 하면, k bit의 data를 coding을 하여 n bit으로 전송한다고 가정하였을 때의 E_b' 는 식(6)와 같이 나타낸다.

$$kE_b = nE_b' \quad (5)$$

$$E_b' = \frac{k}{n} E_b \quad (6)$$

또한, M 의 변조 지수로 변조할 때, carrier당 energy $E_{carrier}$ 는 식 (7)과 같다.

$$E_{carrier} = M \cdot E_b' = M \cdot \frac{k}{n} \cdot E_b \quad (7)$$

pilot을 포함하게 되면 하나의 subchannel에 54개의 carrier가 존재하는 것이 되므로 N_{sch} 개의 sub-channel을 사용하는 한 명의 user에 대한 user당 평균 energy(E_{user})는 식 (8)과 같이 나타내게 된다.

$$E_{user} = 54 \cdot N_{sch} \cdot E_{carrier} = 54 \cdot N_{sch} \cdot M \cdot \frac{k}{n} \cdot E_b \quad (8)$$

하나의 symbol구간을 $T_s = 115.2 \times 10^{-6}$ 다음과 같이 정의하고 있기 때문에, 최종적으로 user당 평균 received power(P_{Rx})와 transmit power(P_{Tx})는 식 (9), (10)과 같이 나타낸다[12].

$$P_{Rx} = E_{user} / T_s = (9 \cdot N_{sch} \cdot M \cdot \frac{k}{n} \cdot E_b) / T_s \quad (9)$$

$$P_{Tx} = P_{Rx} / \text{channel_attenuation} \quad (10)$$

또한, 위에서 정해지는 N_{sch} 값으로 낼 수 있는 최대 throughput의 값은 식 11으로 나타낼 수 있고 여기서 frame duration $T_{frame} = 5\text{ms}$ 이다.

$$\text{throughput} = (48 \cdot N_{sch} \cdot M \cdot \frac{k}{n}) / T_{frame} \quad (11)$$

4.2 WiBro 시스템

Computer simulation에 쓰인 parameter는 표 2와 같다.

그림 7에서 보듯이, channel attenuation 60dB인 환경에서는 residual power가 충분하므로 code rate과 변조지수는 입력 data값에 상관없이 가장 높은

표 2. 시스템 parameters

User수	1명
과일렀을 제외한 데이터 부반송과 개수	768개
심볼 시간	115.2 μ s
변조방식	4QAM, 16QAM, 64QAM
코딩	1/3 convolutional turbo code
AMC subchannel	주파수-시간 축상에서 1 x 6 블록
전송 Power 제한	2W
Bit 할당 단위	subchannel

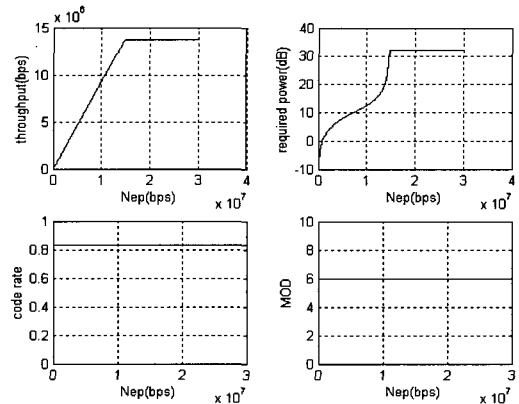


그림 7. Channel attenuation 60dB 환경에서의 throughput, required power, code rate, MOD값

값으로 고정되어 있다. 따라서, 식(11)에 따라, 최대 throughput에 도달되기 전까지는 throughput값이 할당되는 subchannel수에 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다. Power값도 역시 subchannel수에 비례하지만, 그래프에서 나타내는 required power는 channel gain까지 고려한 송신 power의 의미이다. 따라서 거의 모든 subchannel을 사용함으로써 인해 최대 throughput에 도달하는 지점에서는 품질이 떨어지는 subchannel을 쓰게 되므로 required power의 증가량이 급격하게 커짐을 확인할 수 있다.

그림 8에서 보듯이 channel attenuation 90dB인 환경에서는 residual power가 충분하지 않으므로 code rate과 변조지수가 입력 data값이 증가함에 따라 감소한다. 반면, code rate의 값이 감소하다가 다시 증가하는 부분이 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 MOD값이 같은 구간에서는 MPR이 감소함에 따라 code rate이 감소하지만, MOD값이 정해지는 구간이 변하는 경우에는 code rate이 항상 감소하지는 않기 때문이다. 예를 들어 MOD=6인 $3.0 \leq MPR < 5.4$ 의 구간에서는 N_{sch} 값이 증가함에 따

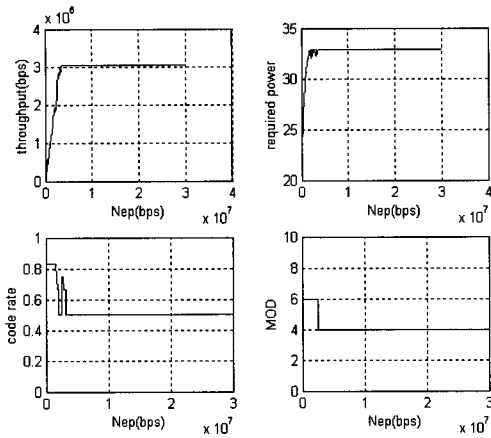


그림 8. Channel attenuation 90dB 환경에서의 throughput, required power, code rate, MOD 값

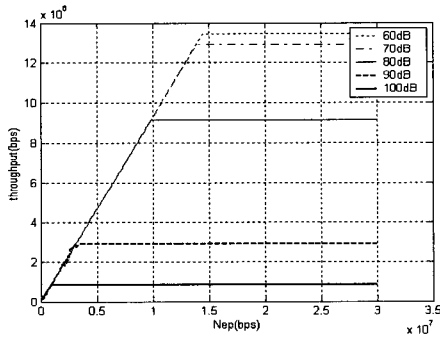


그림 9. Nep 증가량에 따른 throughput(DL:UL=1:1)

라 MPR 값이 감소하더라도 MOD 값이 일정하기 때문에 code rate(= MPR/MOD) 값은 감소하게 되어 최소 5/6에서 1/2까지 감소할 수 있다. 하지만 MPR이 계속 감소하다가 3.0보다 작아지는 순간에는 $1.5 \leq MPR < 3.0$ 구간에 해당하여 MOD 값이 4가 되게 때문에, 이 순간의 code rate 값은 3/4보다 큰 값으로 결정되게 된다.

그림 9는 입력 data 값이 증가함에 따른 throughput 값을 channel attenuation 값을 달리하여 각각 나타낸 것이다. channel attenuation 값이 클수록 residual power가 줄어들어, 입력 값이 크지 않아도 최대 throughput에 빨리 도달함을 확인할 수 있다. 또한 최대 throughput의 값도 점차 작아지게 된다.

실제로 100dB 환경 하에서, Nep 값이 1056000 bps 일 때 최대 throughput 값에 도달하였고, 그 때의 최대 throughput 값은 851200 bps 이다. 반면 60dB 환경 하에서는, Nep 값이 14784000 bps 일 때 최대 throughput 값에 도달하였고, 그 때의 최대 throughput 값은 13728000 bps 이다.

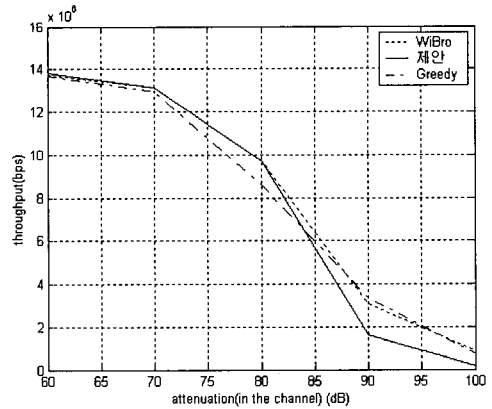


그림 10. maximum power가 2W로 고정된 경우 각 시스템의 최대 throughput

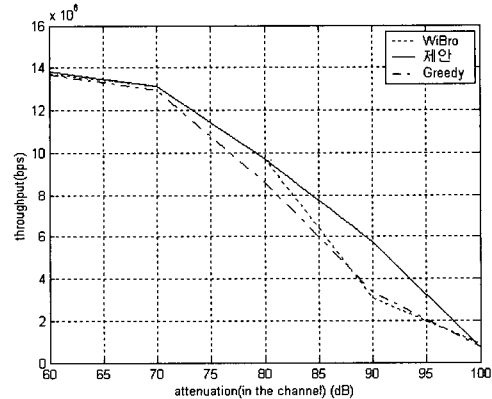


그림 11. 제안 방법의 maximum power만 8W로 수정한 경우 각 시스템의 최대 throughput

4.3 세가지 시스템의 비교

그림 10을 통해, 60dB~80dB 환경에서는 세 시스템의 최대 throughput이 비슷하였으나, 90dB, 100dB 환경, 즉, channel attenuation 값이 클수록 제안 시스템에서는 사용되는 N_{sch} 의 개수가 현저히 작음으로 인해 최대 throughput이 급격히 작아지는 문제가 발생함을 확인할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 90dB와 100dB 일 때 제안 방법의 maximum power를 8W까지 추가 할당한 결과를 그림 11를 통해 확인해보면, subchannel의 수를 적게 사용했음에도, throughput이 WiBro와 greedy algorithm의 것보다 크게 나와 성능 개선이 된 것을 확인할 수 있다.

그림 12에서 보듯이, 90dB와 100dB 환경에서, 사용되는 subchannel의 수가 다른 두 시스템에 비해 매우 작음을 확인할 수 있다. 이 결과로 인해 앞에서 확인한 바대로 최대 throughput이 차이가 난 것이다.

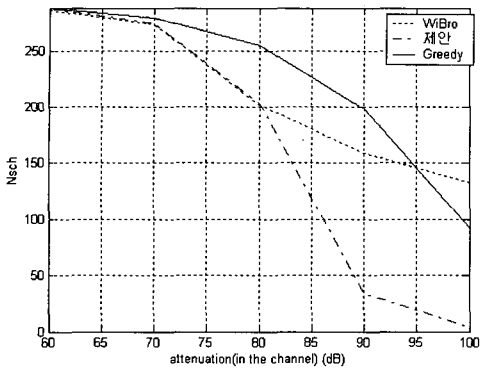


그림 12. maximum power가 2W로 고정된 경우 각 시스템에 사용된 subchannel의 수

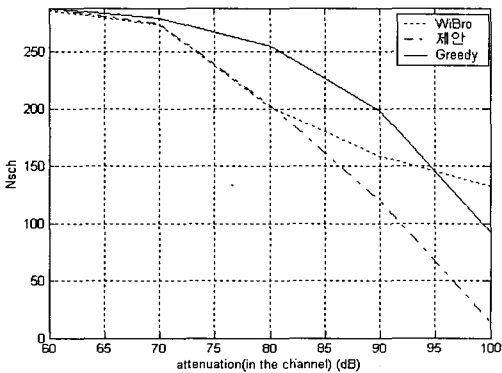


그림 13. 제안 방법의 maximum power만 8W로 수정한 경우 각 시스템에 사용된 subchannel수

60dB, 70dB, 80dB에서는 이미 모든 subchannel을 쓰고 있고, MOD를 최대로 쓰고 있으므로 maximum power를 증가시키더라도 throughput상의 효과는 적기 때문에, 그림 13에서는 90dB와 100dB 환경에서만 maximum power를 증가시켰다. 그 결과 제안 방식의 throughput이 다른 두 시스템의 것과 비슷한 값을 가지게 되었으나 여전히 사용되는 subchannel의 수는 다른 두 시스템의 경우보다 매우 작음을 확인할 수 있다. 이로 인해 제안 방법을 사용할 경우 다른 두 시스템에 비해 bandwidth efficiency가 좋음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 평가해 보았다. 그리고 이를 바탕으로 대역폭을 최소로 사용하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, 이 두 알고리즘을 through-

put, bandwidth 측면에서 기존의 greedy algorithm과 비교하였다.

WiBro 시스템에서는 품질이 좋은 subchannel부터 할당하게 되므로 최대 throughput에 도달할 때에는 품질이 좋지 않은 subchannel을 사용해야 하므로 power 요구량이 급격히 증가하는 양상을 보인다. 또한 셀 중심에서 셀 경계로 움직임에 따라 잔여 power가 감소하므로 변조지수는 작아지게 되고 동시에 최대 throughput값도 떨어짐을 확인하였다.

Greedy algorithm은 power를 최소한으로 사용하여 최대의 throughput을 얻고자 하는 알고리즘이기 때문에, 결과적으로 각 carrier당 적은 bit의 data를 실어 보내게 되어 대역폭을 많이 사용하게 된다. 그리고 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘은 channel gain이 높은 subchannel부터 channel gain이 낮은 subchannel의 순으로 제한 power를 넘지 않는 한도 내에서 subchannel을 최대로 쓰고 있다. 두 알고리즘에 사용되는 대역폭과 throughput은 비슷하지만 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘의 구현 방법이 더 쉽고 계산량이 적다는 장점이 있다. 하지만 이 알고리즘 역시 하향링크상의 대역 효율성을 극대화하지 못한다는 문제가 있다.

Greedy algorithm과 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘 모두 전체 시스템의 throughput을 증가시키는 가장 적합한 방법으로 제시되고 있는 AMC (Adaptive Modulation and Coding) 방식을 사용하고 있다. AMC는 반송파별로 다른 신호를 전송함으로써, 각 부반송파의 채널 상태에 맞추어 변조 및 코딩 기법을 변화시켜 최적의 전송을 하는 기술이다. 게다가 WiBro 시스템은 정해진 power로 bandwidth는 최소로 쓰면서 throughput을 최대로 내는 개념인 RA 방식을 고려하여 bandwidth를 효율적으로 쓰는 것처럼 보인다. 하지만 두 알고리즘 모두 power 제한에 걸리기 전까지 subchannel의 수를 무한정 증가시켜서 쓰는 구조라서 hot spot 환경에서 bandwidth 부족 현상이 발생할 경우, 셀 중심에 위치한 적은 bandwidth를 요구하는 user들에게 bandwidth를 할당할 수 없게 되어, 전체 시스템의 throughput의 관점에서 보았을 때 효율성이 떨어질 수 있다.

따라서 본 논문에서는 greedy algorithm과 WiBro 시스템의 resource 할당 알고리즘과 비슷한 throughput을 내되, 대역폭을 최소로 쓰게 하는 algorithm을 제안한다. 제안하는 방식은, 변조지수는 최대값(6)으로 code rate은 일정값으로 고정시키고 subchannel의 수를 늘려가다가 power가 available power보

다 커지는 순간에 할당되는 subchannel의 변조지수만 재조정(6->4->2)하여 available power보다 작아지는 변조지수를 얻는 방식이다. 이 때 할당되는 subchannel은 channel gain이 높은 subchannel부터 channel gain이 낮은 subchannel의 순서이기 때문에, available power 범위 내에서는 변조지수를 모두 최대값으로 하여 할당하는 것이 최대 throughput을 얻을 수 있는 방법이 된다. 이는 WiBro 시스템에서 multicell 구조를 도입할 경우 available power를 증가시킬 수 있으므로 가능한 것이다.

60dB~80dB 환경에서는 세 시스템의 최대 throughput이 비슷하였으나, 90dB, 100dB 환경, 즉, cell edge로 갈수록 제안 시스템에서는 사용되는 Nsch의 개수가 현저히 작으므로 최대 throughput이 급격히 작아지는 문제가 발생함을 확인할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 90dB와 100dB 일 때 제안 방법의 maximum power를 8W까지 올렸더니, subchannel의 수를 적게 사용했음에도, throughput이 WiBro와 greedy algorithm의 알고리즘보다 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 이 때, 60dB, 70dB, 80dB에서는 이미 모든 subchannel을 쓰고 있고, MOD가 6으로 한정되어 있어서 maximum power를 증가시켜도 throughput상의 효과는 적으므로, 90dB와 100dB 환경에서만 maximum power를 증가시켰다. 결과적으로 제안 방식의 throughput은 다른 두 알고리즘의 throughput과 비슷한 값을 가지게 되었으나 여전히 사용되는 subchannel의 수는 다른 두 시스템의 경우보다 작음으로 인해 제안 방법을 사용할 경우 다른 두 시스템에 비해 bandwidth efficiency가 높음을 확인할 수 있었다.

복잡도 측면에서는 Greedy algorithm이 가장 복잡도가 높고 WiBro와 제안하는 알고리즘의 복잡도는 유사하다.

참 고 문 헌

[1] Marc engels, *Wireless OFDM Systems*, Kluwer Acedemic Publisher, 2002.
 [2] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communication*, Artech House Publishers, 2003.
 [3] 홍인기, 김정근, "휴대인터넷 시스템 용량 분석 및 보호대역 설정에 관한 연구", *Telecommunication review*, 제14권 3호, 2004년 6월.
 [4] C.Y.Wong, R.S.Cheng et all, "Multiuser

OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit and Power Allocation", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol 17, pp.1747-1758, Oct. 1999.

[5] W.J.Rhee, J.M.Cioffi, "Increase in Capacity of Multiuser OFDM System Using Dynamic Subchannel Allocation", in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.(VTC2000)*, pp. 1085-1089, May 2000.
 [6] Rec. ITU-R M.1225.
 [7] Harri Holma, Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley&Sons, LTD, 2002.
 [8] M.Jankiraman, R.Prasad, "Performance evaluation of hybrid OFDM/CDMA/S로 approach for wireless multimedia", *Proc. IEEE-VTC Fall VTC 2000*, 52, Vol.2, pp.934-941, 2000.
 [9] J.P.M.G.Linnartz, "Performance analysis of synchronous MC-CDMA in mobile Rayleigh channel with both delay and Doppler spreads", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.50, pp.1375-1387, Nov. 2001.
 [10] S.Kondo, L.B.Milstein, "Performance of Multicarrier DS CDMA systems", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.44, pp.238-246, Feb. 1996.
 [11] Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service, TTA.
 [12] J.Jang, K.B.Lee, "Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.21, No.2, pp.171- 178, Feb. 2003.
 [13] John G. Prokis, *Digital communications*, McGraw-Hill higher Education, 2001.

여 혜 진 (Hye-jin Yeou)

준회원

2003년 2월 이화여자대학교 정보통신학과 졸업
 2005년 2월 이화여자대학교 정보통신학과(석사)
 2005년 3월~현재 (주)삼성전자 통신연구소 WiBro
 기술연구소
 <관심분야> 다중 접속 시스템, 휴대인터넷, 무선디
 지털 통신

양 주 영 (Joo-young Yang)

준회원

2004년 2월 이화여자대학교 정보통신학과 졸업
현재 이화여자대학교 정보통신학과 석사과정
<관심분야> 다중안테나 시스템, 다중 접속 시스템,
이동통신 네트워크

김 정 호 (Jeong-ho Kim)

종신회원



1991년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과(공학사)
1993년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과(공학석사)
1999년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과(공학박사)
1993년 1월~1995년 7월 LG전

자 멀티미디어 연구소

1999년 3월~2000년 2월 LG정보통신 중앙연구소 선
임연구원

2000년 3월~2001년 6월 Virginia Tech. MPRG
(Mobile Radio Research Group) Visiting Scholar

2001년 7월~2002년 8월 LG전자 UMTS시스템 연구
소 책임연구원

2002년 9월~현재 이화여자대학교 공과대학 정보통
신학과 조교수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 무선 디지털 통신,
확산 대역통신, 이동통신 네트워크, 휴대 인터넷