

다중 서비스 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 자원할당방식에 따른 임의접근 채널 성능 분석

Analysis of the performances of random access channels in multi-service multi-user OFDMA systems according to resource management schemes

구인수, 이영두
Insoo Koo and Youngdu Lee

Abstract - In the paper, we analyze the performances of random access channels in multi-service multi-user OFDMA systems. The resource of the random access channels in OFDMA systems is the number of available sub-channels and PN-codes. For given available sub-channels and PN-codes, we analyze the performances of the random access channels of OFDMA systems according to three resource allocation methods (resource full sharing, resource partial sharing, resource partition) in terms of the access success probability, the blocking probability, the access delay and the throughput of each service class. Further, we find the feasible region of the access probability of each service class in which the allowable minimum access success probability, the allowable maximum blocking probability and the allowable maximum access delay are satisfied. The results also can be utilized to find proper region of the access probabilities of each service class for differentiated quality of service(QoS)s, and for the system operations.

Key Words : OFDMA, multi-service and multi-user, random access

1. 장 서 론

3세대 이동통신 시스템의 개발 이후, 고속 이동 환경에서도 고속의 멀티미디어 서비스가 가능한 광대역 무선 접속 시스템에 대한 연구가 증가하고 있다. 3.5세대 및 4세대 광대역 무선 접속 방식으로 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 방식이 학계와 표준화 단체의 많은 관심을 끌고 있으며, IEEE802.16e, 3GPP LTE 그리고 3GPP2 AIE와 같은 차세대 무선통신시스템의 주요 후보군으로 선택되고 있다[1,2,3]. OFDMA 방식은 여러 사용자들에게 각기 다른 직교성을 가진 부반송파들을 할당해서 동시에 정보를 전송하는 무선 접속 방식이다. OFDMA 방식은 사용자들에게 각기 다른 부반송파를 할당함으로써 주파수 축상에서 사용자들을 분리할 수 있어서 한 셀내에서의 다중 접속 간섭의 영향을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

OFDMA 시스템의 상향 링크에서, 각 사용자들은 사용자 데이터를 기지국으로 전송하기 전에 자원요청명령을 기지국으로 반드시 전송하여 특정 시간·주파수 자원들을 기지국으로부터 할당받아야 한다. 특히 사용자들이 새로운 호 설정을 시작하는 경우, 자원 요청을 위한 사용자 전용채널이 제공되지 않기 때문에 일종의 경쟁기반 채널인 랜덤 액세스 채널(RACH : Random Access Channel)을 이용하여 기지국에 접근 시도를 하여야 한다[3]. 이러한 랜덤 액세스는

OFDMA 기반 시스템에서 상향링크 동기화 및 핸드오프 처리 동안 다른 기지국과의 동기화, 그리고 기지국으로부터의 대역폭 할당 요구 등의 목적으로 사용된다.

특히, OFDMA 기반 시스템에서의 랜덤 액세스 방식은 제한된 시스템 자원(부채널의 수, PN-코드의 수)하에서 운용됨으로 상향링크의 성능에 크게 영향을 미치며, 멀티미디어 서비스를 요구하는 단말들에게 차별화된 서비스 품질을 제공하는데 사용될 수 있다. 하지만, 차세대 이동통신 시스템에서 예상되는 단말들의 전송 트래픽 특성 및 OFDMA 임의 접근 채널 구조에 적합한 임의 접근 알고리즘에 대한 구체적인 언급 및 표준화 활동이 없이, 차세대 이동통신 시스템을 개발하고 있는 기관에 의해 독자적으로 연구되고 있는 실정이다. 현재는 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 기술이, 운영의 단순성에 비해 높은 성능을 제공할 수 있기 때문에 OFDMA를 위한 적절한 랜덤 액세스 기술로 고려되고 있다.

이에 본 논문에서는 OFDMA기반 차세대 이동통신 시스템에서 상향링크 임의 접근 채널에 할당된 자원이 주어질 경우, 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 기술이 사용되는 임의 접근 채널의 성능을 세 가지 자원할당 방식에 따라 각 서비스 클래스 접속 확률값의 함수로서, 접속 성공 확률, 블라킹 확률, 접속 지연 그리고 처리를 관점에서 분석한다. 이는 통해, 요구되는 각 서비스 클래스의 허용 가능한 최소 접속 성공 확률, 최대 접속 지연, 최대 블라킹 확률이 주어질 경우, 이를 만족할 수 있는 각 서비스 클래스의 접속 확률값을 구함으로써, 각 서비스 클래스 사용자들에게 차등한 서비스 품질을 제공하고 적절한 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 채널의 운용점을 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 고

저자 소개

- * 구인수 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
- * 이영두 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

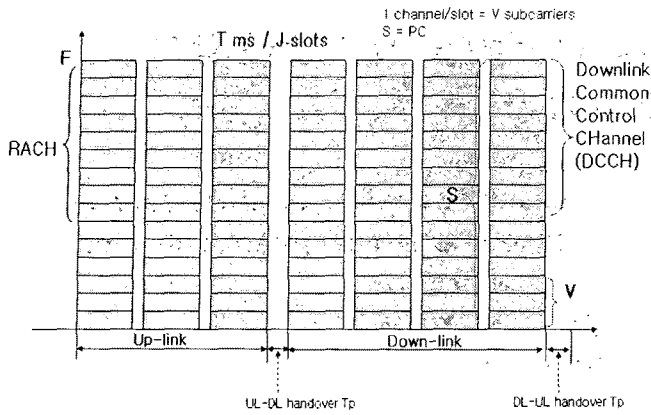


그림 1. 고려된 시스템의 MAC 프레임 구조

려된 OFDMA 시스템 모델과 RACH의 자원 할당 방식, 랜덤 액세스 채널의 성능 분석 후 유도된 임의 접근 채널의 성능 결과식을 고찰하고 3장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

2. 장 본문

2.1 절 시스템 모델

OFDMA/TDD 시스템에서, 반경 R인 단일 셀 환경을 고려한다. 셀내에 다수의 사용자(MT : mobile terminal)들이 존재하며 하나의 기지국이 위치해 있다. 전체 시스템은 OFDM 심벌 동기화되어 있다. 랜덤 액세스를 위해 주어진 시스템 자원의 양은 슬롯과 부반송파로 설명될 수 있다. TDD 수준에서의 한 프레임 내에는 J 슬롯들이 존재하며, 한 슬롯은 I개의 OFDM 심벌들로 구성된다[2]. 또한 한 OFDM 심벌 내에 S개의 부반송파가 존재하고, S개의 부반송파는 각각 V개의 부반송파들로 구성된 P개의 부채널들로 나뉜다. 따라서 $S=PC$ 이고 데이터 전송 페이로드(payload)의 기본 단위는 한 슬롯 내에 있는 한 부채널이다. 고려된 시스템의 MAC 프레임 구조는 그림 1과 같다

본 논문에서는 서로 다른 종류의 서비스 요구 조건을 요구하는 트래픽들을 고려하기 위해, 2개의 서비스 클래스를 사용한다고 가정하자. 먼저 ASC0(Access Service Class 0)은 실시간 트래픽과 같이 지연에 민감한 트래픽을 위한 접속 서비스 클래스, ASC1(Access Service Class 1)은 인터넷 접속과 같은 일반 비 실시간 트래픽 사용자들에게 할당되는 서비스 클래스로 정의한다. 랜덤 액세스 시도를 하고 있는 전체 사용자들의 $\phi\%$ 는 ASC0을 요청하는 실시간 트래픽 사용자들이며, $(1-\phi)\%$ 는 ASC1의 사용을 원하는 비 실시간 트래픽 사용자들이다.

2.2 절 OFDMA 시스템의 RACH의 자원 할당 방식에 따른 성능 분석

본 절에서는 서비스 클래스들을 위한 자원 할당 기법을 기반으로 다음 그림2와 같은 세 가지 자원 할당 방식에 따른 랜덤 액세스 채널의 성능을 분석한다.

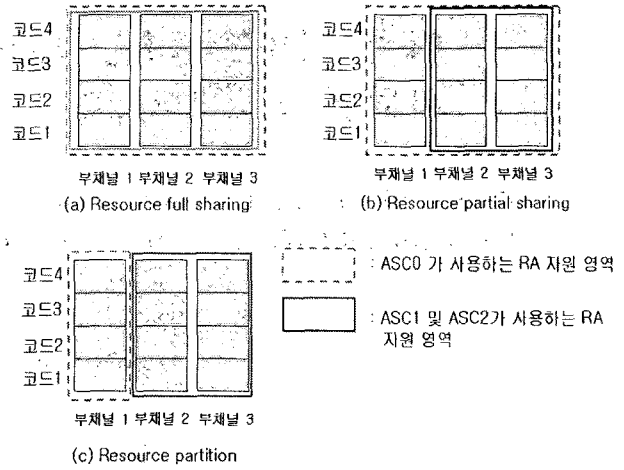


그림 2. 임의 접근 채널을 위한 세 가지 자원 할당 방식

2.2.1 절 평균 접속 성공 확률 및 처리율

1. Resource full sharing 방법 :

모든 접속 서비스 클래스 사용자들이 그림 2(a)와 같이 랜덤 액세스 자원인 부채널과 코드를 서로 공유하는 방식이다. 이때 각 서비스 평균 접속 성공 확률값은 다음과 같이 표현된다.

- 서비스 클래스 0의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{access,ASC0}} = r_0 \left[\sum_{k=1}^{J_{\text{ASC0}}-1} \sum_{k_1=1}^{J_{\text{ASC1}}} \binom{J_{\text{ASC0}}-1}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{\text{ASC0}}-1-k} \left(1 - \frac{1}{PQ}\right)^k \right. \\ \left. \binom{J_{\text{ASC1}}}{k_1} r_1^{k_1} (1-r_1)^{J_{\text{ASC1}}-k_1} \left(1 - \frac{1}{PQ}\right)^{k_1} \right]$$

- 서비스 클래스 1의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{access,ASC1}} = r_1 \left[\sum_{k=1}^{J_{\text{ASC0}}/J_{\text{ASC1}}-1} \binom{J_{\text{ASC0}}}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{\text{ASC0}}-k} \left(1 - \frac{1}{PQ}\right)^k \binom{J_{\text{ASC1}}-1}{k_1} \right. \\ \left. r_1^{k_1} (1-r_1)^{J_{\text{ASC1}}-1-k_1} \left(1 - \frac{1}{PQ}\right)^{k_1} \right]$$

2. Resource partial sharing 방법 :

접속 서비스 클래스0의 성능향상을 위하여, 그림 2(b)와 같이 랜덤 액세스 자원인 부채널과 코드 일부를 접속 서비스 클래스 1과 접속 서비스 클래스 2와 함께 공유하지만, 접속 서비스 클래스0 사용자들을 위해 일부 랜덤 액세스 자원을 전용으로 사용하는 방법이다. 이때 각 서비스 평균 접속 확률값은 다음과 같이 표현된다.

- 서비스 클래스 0의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{access,ASC0}} = r_0 \frac{R}{P} \left[\sum_{k=1}^{J_{\text{ASC0}}-1} \binom{J_{\text{ASC0}}-1}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{\text{ASC0}}-1-k} \left(\sum_{j=0}^k \binom{k}{j} \left(\frac{R}{P}\right)^j \left(1 - \frac{R}{P}\right)^{k-j} \left(1 - \frac{1}{RQ}\right)^j \right) \right. \\ \left. + r_0 \frac{(P-R)}{P} \sum_{k=0}^{J_{\text{ASC0}}-1} \sum_{k_1=0}^{J_{\text{ASC1}}} \binom{J_{\text{ASC0}}-1}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{\text{ASC0}}-1-k} \binom{J_{\text{ASC1}}}{k_1} r_1^{k_1} (1-r_1)^{J_{\text{ASC1}}-k_1} \right. \\ \left. \left(\sum_{j=0}^k \binom{k}{j} \left(\frac{P-R}{P}\right)^j \left(\frac{R}{P}\right)^{k-j} \left(1 - \frac{1}{(P-R)Q}\right)^j \right) \left(1 - \frac{1}{(P-R)Q}\right)^k \right]$$

- 서비스 클래스 1의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{success}, ASC1} = r_1 \sum_{k=0}^{J_{ASC0}-1} \sum_{k_1=0}^{J_{ASC1}-1} \binom{J_{ASC0}-1}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{ASC0}-k} \binom{J_{ASC1}-1}{k_1} r_1^{k_1} (1-r_1)^{J_{ASC1}-1-k_1} \left\{ \sum_{j=0}^k \binom{k}{j} \left(\frac{P-R}{P} \right)^j \left(\frac{R}{P} \right)^{k-j} \left(1 - \frac{1}{(P-R)Q} \right)^j \right\} \left(1 - \frac{1}{(P-R)Q} \right)^{k_1}$$

3. Resource partition 방법 :

접속 서비스 클래스0은 그림 2(c)와 같이 접속 서비스 클래스1 및 접속 서비스 클래스 2와 무선접속자원을 완전히 독립적으로 사용하는 방법이다. 이때 각 서비스 평균 접속 확률값은 다음과 같이 표현된다.

- 서비스 클래스 0의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{success}, ASC0} = r_0 \left[\sum_{k=1}^{J_{ASC0}-1} \binom{J_{ASC0}-1}{k} r_0^k (1-r_0)^{J_{ASC0}-1-k} \left(1 - \frac{1}{RQ} \right)^k \right]$$

- 서비스 클래스 1의 사용자들의 평균 접속 성공 확률값

$$P_{\text{success}, ASC1} = r_1 \left[\sum_{k=1}^{J_{ASC1}-1} \binom{J_{ASC1}-1}{k} r_1^k (1-r_1)^{J_{ASC1}-1-k} \left(1 - \frac{1}{(P-R)Q} \right)^k \right]$$

세 가지 자원 할당 방식에 따른 각 서비스 클래스 사용자의 랜덤 액세스 채널의 처리율 ρ 은 할당된 랜덤 액세스 채널의 자원 대비 성공한 평균 랜덤 액세스 사용자 수로 정의될 수 있으므로 다음과 같은 수식을 통해 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{1}{P \times Q} (P_{\text{success}, ASC0} \cdot J_{ASC0} + P_{\text{success}, ASC1} \cdot J_{ASC1})$$

2.2.2 절 블로킹 확률 및 접속지연

각 랜덤 액세스 burst들이 r_{max} 번의 임의 접근 시도 후 성공하지 못하는 경우, 전송을 포기하게 되며 그러한 현상을 블로킹(Blocking)이라 정의되면, 블로킹 확률값은 다음과 같이 수식을 통하여 구할 수 있다.

$$P_{B,i} = P\{R_i > r_{\text{max}}\} = 1 - \sum_{r=0}^{r_{\text{max}}} P\{R_i = r\}, \quad i=1,2$$

$P\{R_i = r\}$ 여기서 r 은 ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst가 r 번째까지의 이전 전송들은 모두 실패하고, r 번째 전송에서 성공하는 확률을 의미하며 앞 절에서 구한 평균 접속 성공 확률값 $P_{\text{success}, ASCi}$ 을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P\{R_i = r\} = (1 - P_{\text{success}, ASCi})^r P_{\text{success}, ASCi} \quad \text{for } i=1,2$$

ASC_i 에 속하는 임의 접근 시도 q 가 랜덤 액세스 시도할 때 부터 서비스를 받을 때까지 겪는 평균 접속 지연은 $T_q = T_{wq} + T_{tq} + T_{rq}$ 이며, 평균 접속 지연, $E[T_q]$ 은 $E[T_q] = E[T_{wq}] + E[T_{tq}] + E[T_{rq}]$ 이다. 여기서 $E[T_{wq}]$

는 평균 잔여 지연시간으로 $\frac{1}{2} T_{ms}$ 이고 $E[T_{tq}]$ 는 평균 초기 접속 시간으로 T_{ms} 로 주어진다. 또한 $E[T_{rq}]$ 는 재전송이 시작된 후부터 AP로부터 긍정 응답을 받을 때까지 걸리는 재전송에 따른 ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst가 겪는 평균 지연시간으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[T_{rq}] = \sum_{r=1}^{r_{\text{max}}} \left\lfloor \frac{E[K|r]}{PQ} \right\rfloor \cdot P\{R_i = r\} \cdot T_{ms} \\ = \sum_{r=1}^{r_{\text{max}}} \left\lfloor \frac{2^{(r-1)W} + 1}{2 \cdot PQ} \right\rfloor \cdot P\{R_i = r\} \cdot T_{ms}$$

여기서 $E[K|r]$ 는 재전송 시도 횟수가 r 일 때 경쟁 윈도우 구간 $[1, 2^{(r-1)W}]$ 에서 취할 수 있는 랜덤 정수 K 의 평균값으로 $[1, 2^{(r-1)W}]$ 의 사이에서 균등하게 분포됨으로, $E[K|r]$ 의 평균값은 $E[K|r] = \frac{2^{(r-1)W} + 1}{2}$ 가 된다. 또한 $P\{R_i = r\}$ 은 ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst의 재전송 횟수가 r 일 확률을 의미하며, T_{ms} 는 한 프레임 길이이다.

3. 장 결론

본 논문에서는 OFDMA 시스템의 임의 접근 채널의 주 자원인 부채널의 수와 PN-코드의 수가 주어진 경우, 임의 접근 채널의 성능을 임의 접근 채널의 자원할당 방식에 각 서비스 클래스 접속 확률의 함수로, 서비스 클래스의 접속 성공 확률, 블로킹 확률, 접속 지연 그리고 처리율 관점에서 분석하였다. 그 결과 특정 서비스 클래스의 성능을 향상시키기 위해서는 그 서비스 클래스의 접속 확률값을 높이고 타 서비스 클래스의 접속 확률값을 낮춤으로써 요구되는 서비스 품질을 만족시킬 수 있음을 보였다. 특히, 각 클래스가 요구하는 최소 허용 접속 성공 확률, 최대 접속 지연, 최대 블로킹 확률이 주어진 경우 이를 만족할 수 있는 각 서비스 클래스의 접속 확률 영역을 발견하였고, 그 영역 내에서 랜덤 액세스 채널의 처리율의 최대화 시킬 수 있는 각 서비스 클래스의 접속 확률값을 할당함으로써 랜덤 액세스 채널의 자원을 최대로 활용할 수 시스템 운용점을 제공할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김기남, 김진호, 조성준, "OFDMA 시스템 상향 링크의 레인징 부호 검출 성능 향상 기법," 한국통신학회논문지, Vol.31, No.6A, 2006.
- [2] G. Xuelin et. al., "A new random access system for TD-OFDMA systems," Proceedings of ISCTI, pp.689-692, 2005.
- [3] I. Stavrakakis and D. Kazakos, "A multiuser random access communication system for users with different priorities," IEEE Trans. Communications, pp. 1538-1541, 1991.