

다중 서비스 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 임의접근 채널 성능 분석

Performance Analysis of random access channels in multi-service multi-user OFDMA systems

구인수* 팜티홍츄**
Insoo Koo Thi Hong Chau Pham

요약

본 논문에서는 다중 서비스 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 임의 접근채널의 성능 분석을 수행하였다. OFDMA 시스템의 임의 접근 채널 자원은 가용한 부채널의 수와 PN-코드의 수이다. 이러한 임의 접근 채널의 자원이 주어진 경우, 임의 접근 채널의 성능을 각 서비스 클래스의 접속 성공 확률, 블로킹 확률, 접속 지연 그리고 처리율 관점에서 분석하였다. 또한 요구되는 각 서비스 클래스의 허용 가능한 최소 접속 성공 확률, 최대 접속 지연, 최대 블로킹 확률이 주어진 경우, 이를 만족할 수 있는 각 서비스 클래스의 접속 확률값을 구하였다. 이 결과들은 각 서비스 클래스 사용자들에게 차등한 서비스 품질을 제공하고 적절한 시스템 운용점을 찾는 데 유용하게 사용될 수 있다.

Abstract

In the paper, we analyze the performance of random access channels in multi-service multi-user OFDMA systems. The resource of the random access channels in OFDMA systems are available sub-channels and PN-codes. For given available sub-channels and PN-codes, we analyze the performance of the random access channels of OFDMA systems in terms of the access success probability, the blocking probability, the access delay and the throughput per 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 used to find proper region of the access probabilities of each service class for differentiated quality of service(QoS), and for the system operations in multi-service multi-user OFDMA systems.

☞ keywords : OFDMA(orthogonal frequency division multiple access), random access channels, multi-user and multi-service

1. 서론

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[1,2,3,4]. 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[2].

OFDMA 시스템의 상향 링크에서, 각 사용자들

* 정 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수
iskoo@ulsan.ac.kr

** 준 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정
hongchau.pham@gmail.com

[2008/02/04 투고 - 2008/02/20 심사 - 2008/04/25 심사완료]

은 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. 이러한 랜덤 액세스는 OFDMA 기반 시스템에서 상향링크 동기화 및 핸드오프 처리동안 다른 기지국과의 동기화, 그리고 기지국으로부터의 대역폭 할당 요구 등의 목적으로 사용된다[6,7,8].

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[3,5,9].

이에 본 논문에서는 OFDMA기반 차세대 이동통신 시스템에서 상향링크 임의 접근 채널에 할당된 자원이 주어진 경우, 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 기술이 사용되는 임의 접근 채널의 성능을 각 서비스 클래스 접속 확률값의 함수로서, 접속 성공 확률, 블록킹 확률, 접속 지연 그리고 처리율 관점에서 분석한다. 이는 통해, 요구되는 각 서비스 클래스의 허용 가능한 최소 접속 성공 확률, 최대 접속 지연, 최대 블록킹 확률이 주어진 경우, 이를 만족할 수 있는 각 서비스 클래스의 접속 확률값을 구함으로써, 각 서비스 클래스 사용자들에

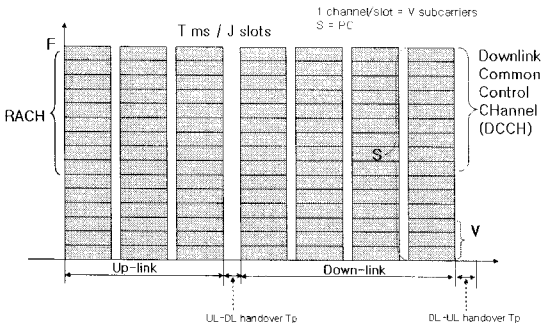
게 차등한 서비스 품질을 제공하고 적절한 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 채널의 운용점을 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려된 OFDMA 시스템 모델을 기술한다. 3장에서는 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 채널의 성능을 각 서비스 클래스의 트래픽 량 및 임의 접근 채널에 할당된 자원이 주어진 경우, 슬롯-ALOHA기반 랜덤 액세스 기술이 사용되는 임의 접근 채널의 성능을 각 서비스 클래스 접속 확률값의 함수로서, 접속 성공 확률, 블록킹 확률, 접속 지연 그리고 처리율 관점에서 분석한다. 4장에서는 3장에서 유도된 임의 접근 채널의 성능 결과 식들이 갖는 의미를 고찰하기 위해, 수치적 예를 살펴보고 5장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

OFDMA/TDD 시스템에서, 반경 R 인 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 I 개의 OFDM 심벌들로 구성된다. 또한 한 OFDM 심벌 내에 S 개의 부반송파가 존재하고, S 개의 부반송파는 각각 V 개의 부반송파들로 구성된 P 개의 부채널들로 나뉜다. 따라서 $S = P \cdot V$ 이고 데이터 전송 페이로드(payload)의 기본 단위는 한 슬롯 내에 있는 한 부채널이다. 고려된 시스템의 MAC 프레임 구조는 그림 1과 같다[3].

OFDMA 시스템의 랜덤 액세스 과정을 살펴보면, 시스템에 접속한 사용자는 하향링크 공동 제어 채널(Downlink common control channel : DCCH)을 통하여 상향링크 전송 파라미터(상향링크 전송



(그림 1) 고려된 시스템의 MAC 프레임 구조

시간, 기지국 랜덤 액세스를 위한 부호 집합 및 부채널 정보를 획득한다. 사용자는 랜덤 액세스를 위한 부호 집합에서 임의의 한 부호를 선택하고 변조하여 심볼을 생성한다. 생성된 랜덤 액세스 심볼은 임의로 선택된 부채널을 통해 전송된다. 이때, 사용자들은 임의로 선택된 부채널 및 부호를 사용하기 때문에 상호 충돌이 가능하다. 기지국은 랜덤 액세스 부채널을 통해 수신된 사용자들의 랜덤 액세스 심볼들을 복조하여 전송된 랜덤 액세스 부호들을 검출한다. 기지국 수신기는 검출된 레인징 부호를 전송한 사용자들을 위한 대역폭을 할당하고 다음 프레임의 하향링크 공동 제어 정보 채널에 검출된 임의접근 부호, 시간 오차 정보, 전력 제어 정보 그리고 할당된 대역폭 정보를 전송한다. 사용자는 하향링크 공동 제어 채널을 통하여 자신이 전송한 랜덤 액세스 부호에 대한 정보를 획득하여 시간 동기 및 전력 제어를 수행하여 자신에게 할당된 상향 무선 링크의 대역폭을 이용하여 기지국과 협상과정을 진행한다.

또한 본 논문에서는 서로 다른 종류의 서비스 요구 조건을 요구하는 트래픽들을 고려하기 위해, 2개의 서비스 클래스를 사용한다고 가정하자. 먼저 ASC0(Assess Service Class 0)은 실시간 트래픽과 같이 지연에 민감한 트래픽을 위한 접속 서비스 클래스, ASC1(Assess 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 비실시간 트래픽 사용자들이다. 또한 ASC0은 지연에 민감한 트래픽을 위한 서비스 클래스에 해당하기 때문에 ASC0 값이 임의 접근에 성공할 확률이 어느 값 이상이 되도록 유지하도록 해야 할 것이다.

3. 랜덤 액세스 채널의 성능 분석

본 절에서는 OFDMA 시스템에서 랜덤 액세스 자원, 즉 코드와 부채널이 주어진 경우, 각각의 접속 서비스 클래스에 따른 랜덤 액세스 채널의 성능을 분석한다.

3.1 각 서비스 클래스 별 평균 접속 성공 확률 및 처리율

OFDMA 시스템에서 랜덤 액세스 자원은 부채널들과 코드들로 구성된다. 주어진 부채널의 수가 P , 코드들의 수가 Q 로 주어진다면, 전체 가용한 임의 접근 자원 수는 $Q \times P$ 로 주어진다. 전체 랜덤 액세스를 시도하고 있는 사용자들의 수를 J 라고 놓을 때, 임의로 주어진 한명의 랜덤 액세스 사용자의 burst가 나머지 다른 랜덤 액세스 사용자들의 burst들과 충돌을 일으키지 않을 확률은 수식 (1)과 같이 주어진다.

$$\left(\frac{Q \times P - 1}{Q \times P} \right)^{J-1} \quad (1)$$

또한, 접속 시도를 하고 있는 J 명중 최소한 j 명은 성공할 확률은 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$P_{succ.s}(j|J) = \left(\frac{Q \times P - 1}{Q \times P} \right)^{J-1} \left(\frac{Q \times P - 2}{Q \times P - 1} \right)^{J-2} \dots \left(\frac{Q \times P - j}{Q \times P - j + 1} \right)^{J-j}$$

$$= \begin{cases} \frac{(Q \times P - j)^{J-j} \prod_{k=1}^{j-1} (Q \times P - k)}{(Q \times P)^{J-1}}, & j > 1 \\ \left(\frac{Q \times P - 1}{Q \times P} \right)^{J-1}, & j = 1 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $P_{success}(J-1|J) = 0$ 이다.

다음으로, 접속 시도를 하고 있는 전체 J 명 중에서 단지 j 명만이 성공하고, 나머지 $k = J - j$ 명이 접속에 실패할 확률을 구해보자. 먼저 특정 주어진 자원, 즉 i 번째 자원에서 (여기서 $1 \leq i \leq QP$), a_i 명의 사용자들이 충돌을 일으키고 있다는 가정 하에, k 명이 주어진 자원에서 전부 충돌을 일으키는 경우의 사건들은 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\overline{a_{n,k}} = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \quad (3)$$

또한 모든 i 에 대해서 $a_i \geq 2$ 이고,

$\sum_{i=1}^n a_i = k$ 을 만족하며, n 값은 $1 \leq n \leq L_n$ 으로 주어질 수 있다. 여기서 $L_n = \min(\lfloor k/2 \rfloor, Q \times P - j)$ 로 정의되며, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 최대 정수를 의미한다.

주어진 $\overline{a_{n,k}}$ 의 패턴을 가지고, 전체 J 명중 j 명만이 기지국에 임의 접근을 성공했다는 가정 하에, 나머지 $k = J - j$ 명이 모두 실패, 즉 충돌을 일으킬 확률은 다음과 같다.

$$P_{collision}(k|\overline{a_{n,k}}, j, J) = \binom{Q \times P - j}{n} \binom{k}{a_1} \binom{k - a_1}{a_2} \dots \binom{k - a_1 - \dots - a_{n-1}}{a_n} \frac{1}{(Q \times P - j)^k} \\ = \binom{Q \times P - j}{n} \times \frac{k!}{a_1! a_2! \dots a_n!} \times \frac{1}{(Q \times P - j)^k} \quad (4)$$

따라서 전체 J 명 중 j 명만이 성공하였다는 가정 하에 나머지 $k = J - j$ 명이 충돌을 일으킬 평균 확률은 $\overline{a_{n,k}}$ 가 갖는 모든 패턴을 고려함으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{collision}(k|j, J) = \sum_{n=1}^{L_n} \sum_{a_1, a_2, \dots, a_n \geq 2}^{a_1 + a_2 + \dots + a_n = k} P_{collision}(k|\overline{a_{n,k}}, j, J) \quad (5)$$

최종적으로 전체 J 명의 사용자 중 j 명이 성공하고 나머지 $k = J - j$ 명이 충돌을 일으킬 확률은 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$P_{j,k=J-j} = \binom{J}{j} P_{success}(j|J) P_{collision}(k|j, J) \\ = \binom{QP}{j} \times \frac{J}{QP^J} \times \sum_{n=1}^{L_n} \binom{QP-j}{n}^{a_1 + a_2 + \dots + a_n = k} \sum_{a_1, a_2, \dots, a_n \geq 2} \frac{1}{\prod_{i=1}^n a_i!} \quad (6)$$

다음으로, 위에서 구한 수식들을 바탕으로 각각의 접속 서비스 클래스에 대응하는 접속 성공 확률값을 유도한다. 먼저 각각의 서비스 클래스들의 접근 확률들을 다음과 같이 정의하자.

r_0 = Access probability of ASC0

r_1 = Access probability of ASC1

여기서 $0 \leq r_0, r_1 \leq 1$ 을 만족한다. 모든 서비스 클래스들의 사용자가 즉, 총 J 명의 사용자가 접속을 시도하고 있을 때, 각 서비스 클래스의 평균 사용자 수는 다음과 같이 주어진다.

$$J_{ASC0} = \lfloor \phi \times J \rfloor$$

$$J_{ASC1} = J - J_{ASC0}$$

이때 각각의 서비스 클래스들의 사용자들 중 접속 시도를 성공한 사용자들의 개수들을 다음과 같이 벡터로 표현하면, (J_0, J_1) , $0 \leq J_0 \leq J_{ASC0}$, $0 \leq J_1 \leq J_{ASC1}$, 이때 (J_0, J_1) 이 발생할 확률은 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$P(J_0, J_1) = \binom{J_{ASC0}}{J_0} \binom{J_{ASC1}}{J_1} r_0^{J_0} (1 - r_0)^{J_{ASC0} - J_0} \cdot r_1^{J_1} (1 - r_1)^{J_{ASC1} - J_1} \quad (7)$$

서비스 클래스 ASC0의 전체 J_{ASC0} 의 사용자들 중 J_0 명이 임의 접근을 시도하고 그 중 j 명의

burst들만이 나머지 $(J_0 - j)$ 의 burst들과 충돌을 일으키지 않으면서, 또한 다른 사용자들의 burst들과 충돌 없이 성공할 평균 확률은 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$P_{s, ASC0}(j|J_0) = \sum_{\substack{\text{all } J_1 \\ 0 \leq J_1 \leq J_{ASC1}}} P_{s, ASC0}(j|J_0 + J_1)P(J_0, J_1) \quad (8)$$

또한 각각의 서비스 클래스들의 사용자들 중 접속 시도를 성공한 사용자들의 개수들의 벡터가 (J_0, J_1) 로 주어지고 $J_T = J_0 + J_1$ 로 놓을 때, $J_T = J_0 + J_1$ 은 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$P_{s, ASC0}(j|J_0 + J_1) = \sum_{k=0}^{J_T} [f_0(j|k) \times P_{k, v=J_T-k}] \quad (9)$$

여기서 $P_{k, v=J_T-k}$ 는 J_T 명 중 k 명이 성공하고, $J_T - k$ 명이 실패할 확률을 나타내며, 수식 (6)과 같이 주어진다. 또한, $f_0(j|k)$ 는 k 명이 임의 접근에 성공했을 때 그 중에서 ASC0에 속하는 사용자가 j 명일 확률을 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$f_0(j|k) = \frac{\binom{J_0}{j} \binom{J_T - J_0}{k - j}}{\binom{J_T}{k}} \quad (10)$$

결과적으로 접속 서비스 클래스 ASC0의 burst들이 충돌 없이 기지국에 평균적으로 접속 성공될 확률은 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$\begin{aligned} & P_{success, ASC0} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{J_{ASC0}} j \sum_{J_0=1}^{J_{ASC0}} P_{s, ASC0}(j|J_0)}{J_{ASC0}} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{J_{ASC0}} j \left(\sum_{J_0=1}^{J_{ASC0}} \sum_{J_1=0}^{J_{ASC1}} \sum_{k=1}^{J_T} f_0(j|k) P_{k, (J_T-k)} P(J_0, J_1) \right)}{J_{ASC0}} \end{aligned} \quad (11)$$

ASC1 서비스 클래스들의 평균 성공확률값도 ASC0의 경우와 비슷한 수식 전개를 통하여 다음 수식과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & P_{success, ASC1} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{J_{ASC1}} j \sum_{J_1=1}^{J_{ASC1}} P_{s, ASC1}(j|J_1)}{J_{ASC1}} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{J_{ASC1}} j \left(\sum_{J_1=1}^{J_{ASC1}} \sum_{J_0=0}^{J_T} \sum_{k=1}^{J_T} f_1(j|k) P_{k, (J_T-k)} P(J_0, J_1) \right)}{J_{ASC1}} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $f_1(j|k)$ 는 k 명이 임의 접근에 성공했을 때 그 중에서 ASC1에 속하는 사용자가 j 명일 확률을 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$f_1(j|k) = \frac{\binom{J_1}{j} \binom{J_T - J_1}{k - j}}{\binom{J_T}{k}}$$

최종적으로, OFDMA 시스템의 랜덤 액세스 채널의 처리율, ρ 은 할당된 랜덤 액세스 채널의 자원 대비 성공한 평균 랜덤 액세스 사용자 수로 정의될 수 있으므로 다음과 같은 수식으로 표현된다.

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

여기서 ρ 의 값이 클수록 랜덤 액세스 채널 자원이 더 효율적으로 사용됨을 의미한다.

3.2 블록킹 확률 및 접속지연

랜덤 액세스 단계에서 각 단말들에서 유지되는 경쟁 윈도우 구간(Contention window interval) 즉, $[1 CW]$ 내에서 임의의 정수 값 N 을 선택하고 랜덤 액세스 예약 채널의 피드백을 확인하기 위해 공통 제어 채널을 수신하고 이를 통해 다음 프레임 내에서 예약되지 않은 랜덤 액세스 채널들의 수를 계산하고 첫 번째 예약되지 않은 랜덤 액세스 채널부터 시작하여 N 개를 카운트한 다음 N

번째 예약되지 않은 랜덤 액세스 채널을 통하여 자원 요청 메시지를 전송한다. 만약 다음 프레임 내의 예약되지 않은 랜덤 액세스 채널의 수가 선택된 수 N 보다 작다면 단말은 다음 프레임에서 랜덤 액세스하지 않고 다음다음 프레임에서 카운트가 N 보다 클 때 예약되지 않은 랜덤 액세스 채널을 통하여 자원 요청 메시지를 전송할 것이다. 만약 단말이 하향링크 공동 제어 채널 (Downlink common control channel : DCCH)을 통해 자원 요청 메시지에 대한 ACK 응답을 받는 경우, 랜덤 액세스 과정은 종료된다. 그러나 단말이 ACK 응답을 받지 못한 경우 경쟁 윈도우 (CW) 값을 재전송 횟수가 증가할 때마다 두 배씩 증가하고, 랜덤 액세스가 성공할 때까지 또는 블록킹 될 때까지 랜덤 액세스 과정을 계속 반복하게 된다. 본 논문에서는 각 랜덤 액세스 burst 들이 r_{\max} 번의 임의접근 시도 후 성공하지 못하는 경우, 전송을 포기하게 되며 그러한 현상을 블록킹(Blocking)이라 정의한다.

3.2.1 블록킹 확률

블록킹 확률을 계산하기 위해, ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst의 재전송의 수를 랜덤 변수 R_i 로 표기하자 ($i = 1, 2$). 각 burst 들이 r_{\max} 번의 임의접근 시도 후 성공하지 못하는 경우, 전송을 포기하게 됨으로 블록킹 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{B,i} = P\{R_i > r_{\max}\} = 1 - \sum_{r=0}^{r_{\max}} P\{R_i = r\}, \quad i = 1, 2 \quad (13)$$

여기서 $P\{R_i = r\}$ 은 ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst가 r 번째까지의 이전 전송들은 모두 실패하고, r 번째 전송에서 성공하는 확률을 의미하며 평균 성공확률값 $P_{success, ASC_i}$ 을 이용하여 다음

과 같이 구할 수 있다.

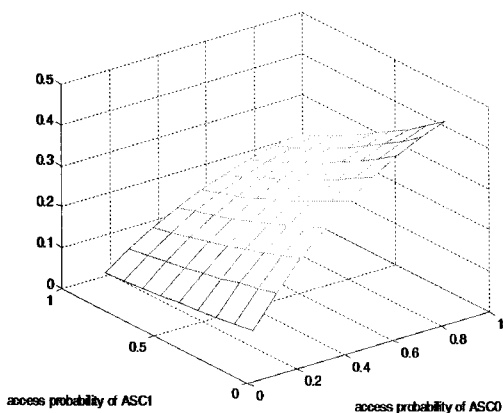
$$P\{R_i = r\} = (1 - P_{success, ASC_i})^r P_{success, ASC_i} \quad (14)$$

또한 성공적으로 전송된 ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst가 갖는 재전송 횟수 분포 R'_i 는 $R_i \leq r_{\max}$ 인 조건하에서 R_i 이 갖는 분포임으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P\{R'_i = r\} = P\{R_i = r | R_i \leq r_{\max}\} = \frac{P\{R_i = r\}}{\sum_{i=0}^{r_{\max}} P\{R_i = i\}}, \quad r = 0, 1, 2, \dots, r_{\max} \quad (15)$$

3.2.2 평균 접속 지연

ASC_i 에 속하는 임의 접근 시도가 겪는 평균 접속 지연을 구하기 위해, ASC_i 에 속하는 임의 접근 burst q 을 고려하자. 랜덤 액세스 burst q 는 도착 후 다음 프레임 때까지 T_{wq} 의 잔여 시간동안을 대기후, 랜덤 액세스 burst q 가 선택한 랜덤 정수에 해당하는 임의 접근 채널을 이용하여 기지국에 랜덤 액세스한다. 여기서, 무선 채널을 통한 전파 지연은 프레임의 길이에 비해 매우 작기 때문에 전파지연을 무시할 수 있다. 단말들은 초기 랜덤 액세스 후 기지국으로부터 하향링크 공동 제어 채널을 통해 긍정 응답(positive ack)을 받을 때까지 지연 시간은 $T_{iq} + T_{rq}$ 로 나타낼 수 있다. 여기서, T_{iq} 와 T_{rq} 는 초기 접속 시간 및 재전송 시간을 각각 나타낸다. 고려된 시스템 모델의 경우, T_{iq} 는 한 프레임 길이, T_{ms} 이며 T_{rq} 는 한 프레임 길이의 정수배가 될 것이다. 따라서 랜덤 액세스 시도 q 가 겪는 전체 접속 지연 시간 T_q 은 $T_q = T_{wq} + T_{iq} + T_{rq}$ 이며, 평균 접속 지연, $E[T_q]$ 은 $E[T_q] = E[T_{wq}] + E[T_{iq}] + E[T_{rq}]$ 이다. 여기서 $E[T_{wq}]$ 는 평균 잔여 지연시간으로

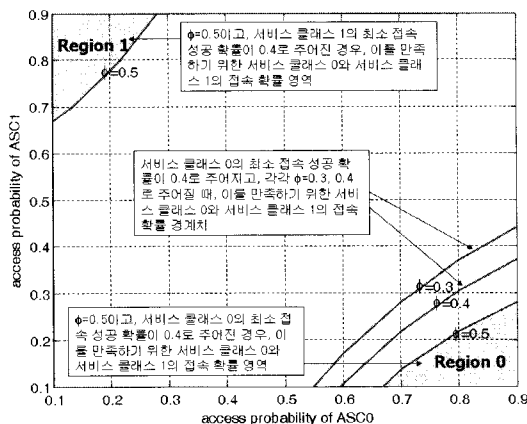


(그림 2.) 각 서비스 클래스의 접속 확률에 따른 접속 서비스 클래스 0의 접속 성공 확률 값

$\frac{1}{2} T_{ms}$ 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.

$$\begin{aligned}
 E[T_{rq}] &= \sum_{r=1}^{r_{\max}} \left\lfloor \frac{E[K|r]}{PQ} \right\rfloor \cdot P\{R'_i = r\} \cdot T_{ms} \\
 &= \sum_{r=1}^{r_{\max}} \left\lfloor \frac{2^{(r-1)}W+1}{2 \cdot PQ} \right\rfloor \cdot P\{R'_i = r\} \cdot T_{ms}
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

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

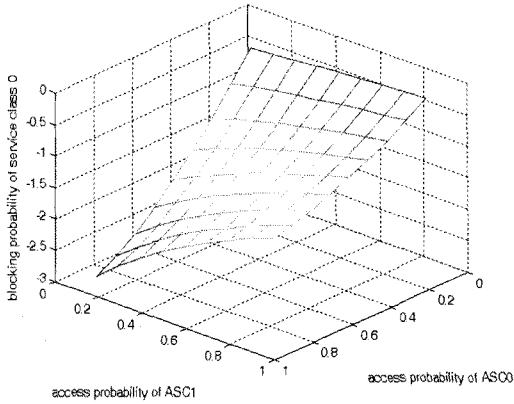


(그림 3) 각 서비스 클래스에 대한 최소 접속 요구 성공 확률값을 만족하기 위한 각 서비스 클래스의 접속 확률값들

4. 수치적 예

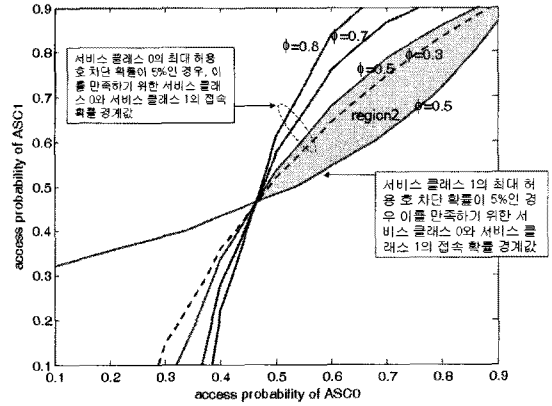
본 절에서는 지금까지 유도된 임의 접근 채널의 성능 결과식들이 갖는 의미를 고찰하기 위해, 다음과 같은 OFDMA 시스템을 고려한다. 랜덤 액세스를 위한 부채널 수, P 는 2로 고정되었고, 랜덤 액세스를 위한 PN-코드 수, Q 는 4로 주어졌다. 전체 랜덤 액세스를 시도하고 있는 사용자들의 수 J 는 12명으로, 한 프레임의 길이는 4ms, 한 OFDM 심볼 당 부반송파 수는 1024, 시스템 대역폭은 20Mhz로 주어졌다[2]. 각 서비스 클래스 접속 확률값에 따른 임의접근 채널 성능 분석을 분석하였다.

그림 2는 전체 사용자들 중 50%가 서비스 클래스 0 사용자들이고 50%가 서비스 클래스 1 사용자들인 경우(즉, $\phi = 0.5$), 각 서비스 클래스의 접속 확률에 따른 접속 서비스 클래스 0의 접속 성공 확률값, $P_{success, ASC0}$ 을 보여주고 있다. 서비스 클래스 0의 접속 확률, r_0 이 증가함에 따라 그리고 서비스 클래스 1의 접속 확률값, r_1 이 감소함에 따라 서비스 클래스 0의 접속 성공 확률값, $P_{success, ASC0}$ 이 증가함을 알 수 있다. 따라서 특



(그림 4) 각 서비스 클래스 접속 확률에 따른 서비스 클래스 0의 호 차단 확률

정 서비스 클래스의 접속 성공 확률값을 향상시키기 위해서는 그 서비스 클래스의 접속확률 값을 증가하고 다른 서비스 클래스의 접속 확률값을 감소시켜야 함을 알 수 있다. 그림 3의 경우는 서비스 클래스들이 요구하는 최소 접속 성공 확률값을 만족하기 위한 접속 확률값을 보여주고 있다. Region 1의 서비스 클래스 1의 최소 접속 성공 확률이 0.4로 주어진 경우, 이를 만족하기 위한 서비스 클래스 0과 서비스 클래스 1의 접속 확률값의 영역을 나타내며, Region 0의 경우는 서비스 클래스 0의 최소 접속 성공 확률이 0.4로 주어진 경우, 이를 만족하기 위한 서비스 클래스 0과 서비스 클래스 1의 접속 확률값의 영역을 나타내고 있다. 만약 시스템이 서비스 클래스 0과 1에 대해 최소 요구 접속 성공 확률이 0.4이상을 동시에 만족해야 하는 제한 요소가 있는 경우, 그림 3을 통해 이를 만족하는 각 서비스 클래스의 접속 확률값들이 존재하지 않음을 알 수 있다. 하지만 각 서비스 클래스 별로 차등 서비스 품질을 제공하고, 서비스 클래스 1의 사용자들의 접속 성공 확률값에 관계없이, 서비스 클래스 0의 실시간 트래픽 사용자들이 요구하는 최소 접속 성공 확률값을 0.4이상으로 유지해야 하는 경우는 시스템을 region 0에서

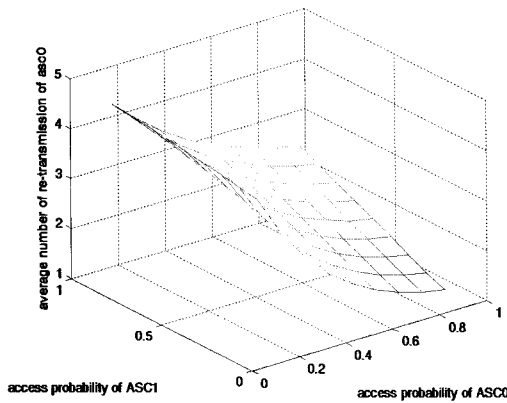


(그림 5) 각 서비스 클래스에서 요구하는 최대 허용 가능한 호 차단 확률이 5%로 주어진 경우, 이를 만족할 수 있는 각 서비스 클래스 접속 확률 범위

운용해야만 할 것이다. 또한 그림 3은 전체 사용자들 중 서비스 클래스 0 사용자가 점유하는 비율의 변화(ϕ)에 따른 서비스 클래스 0 사용자가 요구하는 최소 접속 성공 확률값 0.4를 만족하는 각 서비스 클래스 접속 확률 영역을 보여준다. ϕ 값이 작아짐에 따라, 즉 전체 랜덤 액세스 사용자 중 서비스 클래스 0에 속하는 사용자의 수가 작아짐에 따라 서비스 클래스 0의 최소 접속 성공 확률값 0.4를 만족하는 각 서비스 클래스 접속 확률값 영역이 증감됨을 알 수 있다.

그림 4는 전체 사용자들 중 50%가 서비스 클래스 0 사용자들이고 50%가 서비스 클래스 1 사용자들인 경우($\phi = 0.5$), 각 서비스 클래스 접속 확률에 따른 서비스 클래스 0의 호 차단 확률, $P_{B,0}$ 을 보여 준다. 접속 성공 확률값과 유사하게, 서비스 클래스 0의 접속 확률, r_0 이 증가하고, 서비스 클래스 1의 접속 확률값, r_1 이 감소함에 따라 서비스 클래스 0의 호 차단 확률, $P_{B,0}$ 이 개선됨을 알 수 있다. 그림 5는 각 서비스 클래스에서 요구하는 최대 허용 가능한 호 차단 확률값이 5%로 주어진 경우, 허용 될 수 있는 각 서비스 클래스의 호 접속 확률값을 보여 준다. 특히 $\phi = 0.5$ 일

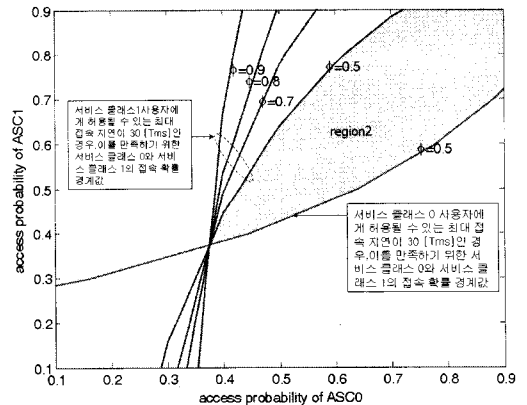
때 Region 2 영역에서 시스템이 운용될 경우, 각 서비스 클래스 사용자들이 겪는 호 차단 확률값이 5%이하를 만족하게 될 것이다. 또한 그림 5는 전체 사용자들 중 서비스 클래스 0 사용자가 점유하는 비율의 변화(ϕ)에 따른 서비스 클래스 0 사용자가 요구하는 5%의 호 차단 확률을 만족시킬 수 있는 각 서비스 클래스들의 접속 확률 영역 변화를 보여준다. ϕ 이 증가함에 따라 서비스 클래스 1의 접속 확률값에 관계없이 서비스 클래스 0 사용자가 겪는 호 차단 확률값을 5%이하로 유지하기 위해서는 서비스 클래스 0의 접속 확률값을 증가시켜야 함을 알 수 있다.



(그림 6) 각 서비스 클래스 접속 확률에 따른 서비스 클래스 0의 평균 접속 지연 시간

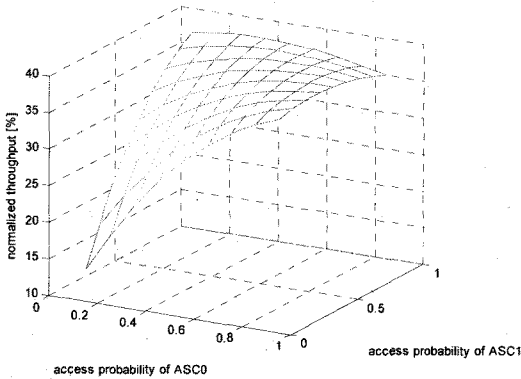
그림 6은 전체 사용자들 중 50%가 서비스 클래스 0 사용자이고 50%가 서비스 클래스 1 사용자인 경우($\phi = 0.5$), 각 서비스 클래스 접속 확률에 따른 서비스 클래스 0의 평균 접속 지연 시간, T_q 을 보여 준다. 서비스 클래스 0의 접속 확률, r_0 이 증가하고, 서비스 클래스 1의 접속 확률값, r_1 이 감소함에 따라 서비스 클래스 0의 접속 지연이 개선됨을 알 수 있다. 그림 7은 서비스 클래스 1 사용자에게 허용될 수 있는 최대 접속 지

연이 30 T_{ms} 인 경우, 이를 만족하기 위한 서비스 클래스 0과 서비스 클래스 1의 접속 확률 영역을 보여 주고 있다. $\phi = 0.5$ 일 때 Region 2 영역에서 시스템이 운용될 경우, 각 서비스 클래스 사용자들이 겪는 평균 호 접속 지연이 30 T_{ms} 이하를 만족하게 된다. 또한 그림 7은 전체 사용자들 중 서비스 클래스 0 사용자가 점유하는 비율의 변화(ϕ)에 따른 서비스 클래스 0 사용자가 요구하는 30 T_{ms} 의 평균접속시간을 만족시킬 수 있는 각 서비스 클래스들의 접속 확률 영역 변화를 보여준다. ϕ 이 증가함에 따라 서비스 클래스 1의 접속 확률값에 관계없이 서비스 클래스 0 사용자가 겪는 평균접속시간을 30 T_{ms} 로 유지하기 위해서는 서비스 클래스 0의 접속 확률값을 증가시켜야 함을 알 수 있다.



(그림 7) 최대 접속 지연이 30 T_{ms} 인 경우, 이를 만족하기 위한 서비스 클래스 0과 서비스 클래스 1의 접속 확률 영역

마지막으로 그림 8은 각 서비스 클래스의 접속 확률에 따른 랜덤 액세스 채널의 처리율을 보여준다. 각 서비스 클래스의 접속 확률값이 증가함에 따라, 랜덤 액세스 채널의 처리율이 증가하고 일정 값 이상의 클래스의 접속 확률값이 증가하면 임의 접근 채널의 처리율이 감소함을 알 수 있다. 처리율 값이 클수록 랜덤 액세스 자원이 더 효율



(그림 8) 각 서비스 클래스의 접속 확률에 따른 랜덤 액세스 채널의 처리율

적으로 사용되는 것을 의미하지만, 의미 있는 시스템 처리율은 서비스 요구조건을 만족하는 각 서비스 클래스의 접속 확률값 범위에서 의미를 갖는 것에 주목하여야 한다. 따라서 각 서비스 클래스 사용자들이 요구하는 최소 접속 성공 확률, 최대 블로킹 확률 및 접속 지연 시간을 만족할 수 있는 각 서비스 클래스 접속 확률 영역을 결정하고, 그 접속 확률 영역 내에서 랜덤 액세스 채널의 처리율을 최대화시킬 수 있는 접속 확률값을 각 서비스 클래스들에게 할당함으로써 랜덤 액세스 자원 활용을 극대화할 수 있다. 만약, 최소 접속 성공 확률, 최대 블로킹 확률 및 접속 지연 시간을 만족할 수 있는 각 서비스 클래스 접속 확률 영역이 존재하지 않는 경우는 더 많은 랜덤 액세스 자원(부채널 또는 코드)을 할당해야만 할 것이다. 이러한 측면에서, 본 연구결과는 접근 확률 기반 및 적응적 자원 할당 기반 랜덤 액세스 채널의 성능 향상 알고리즘 설계에 유용하게 사용될 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 다중 서비스 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 임의 접근채널의 성능 분석을 수행하였다. OFDMA 시스템의 임의 접근 채널

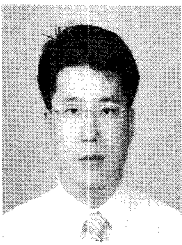
의 주 자원인 부채널의 수와 PN-코드의 수가 주어진 경우, 임의 접근 채널의 성능을 각 서비스 클래스 접속 확률의 함수로, 서비스 클래스의 접속 성공 확률, 블로킹 확률, 접속 지연 그리고 처리율 관점에서 분석하였다. 그 결과 특정 서비스 클래스의 성능을 향상시키기 위해서는 그 서비스 클래스의 접속확률값을 높이고 타 서비스 클래스의 접속확률값을 낮춤으로써 요구되는 서비스 품질을 만족시킬 수 있음을 보였다. 특히, 각 클래스가 요구하는 최소 허용 접속 성공확률, 최대 접속 지연, 최대 블로킹 확률이 주어진 경우 이를 만족할 수 있는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

참고 문헌

- [1] IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications : High-speed physical layer 1 the 5GHz Band, IEEE Standard 802.11 a, 1999.
- [2] 김기남, 김진호, 조성준, "OFDMA 시스템 상향 링크의 레인징 부호 검출 성능 향상 기법," 한국통신학회논문지, Vol.31, No.6A, 2006.
- [3] G. Xuelin et. al., "A new random access system for TD-OFDMA systems," Proceedings of ISCTT, pp.689-692, 2005.
- [4] I. Stavarakakis and D. Kazakos, "A multiuser random access communication system for users with different priorities," IEEE Trans. Communications, pp. 1538-1541, 1991.
- [5] G. Hwang, D. Choi, "Adaptive random channel allocation scheme in Hiperlan type 2," IEEE Communications letters, vol. 6, No.1, pp.40-42.
- [6] Xiaoyu Fu and Hlaing Minn, "Initial uplink

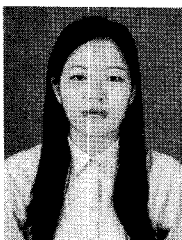
- synchronization and power control (ranging process) for OFDMA systems," IEEE Proc. of GLOBECOM '04, Vol.6, pp. 3999 - 4003, 2004.
- [7] Jihua Zhou, Dutkiewicz E., D. Pang, Jinlong Hu and Jinglin Shi, "Optimizing initial ranging region allocation in IEEE 802.16 OFDMA systems," International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 178 - 183, 2007.
- [8] Jihua Zhou, Xin Jin, Jiangtao Dong, Jinglin Shi, and Zhongcheng Li, "The Analysis of the Optimal Periodic Ranging Slot Number in IEEE 802.16 OFDMA Systems," Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMOB), 2007.
- [9] I. Koo, S. Shin and K. Kim, "Performance analysis of random access channel in OFDMA systems," IEEE Proc. of Systems Communications, pp. 128 - 133, 2005.

● 저 자 소 개 ●



구 인 수(Insoo Koo)

1996년 건국대학교 전자공학과 졸업(학사)
1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
2005년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크
E-mail : iskoo@ulsan.ac.kr



팜 티 홍 추(Thi Hong Chau Pham)

2005년 Hanoi University of Technology 졸업(학사)
2008년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정
관심분야 : 차세대 이동통신, 자원할당 및 다중접속 알고리즘
E-mail : hongchau.pham@gmail.com