

OFDMA 셀룰러 망에서 동적 주파수 할당 방법

이종찬¹, 이기성^{2*}

¹군산대학교 컴퓨터정보공학과, ²호원대학교 컴퓨터·게임학부

Dynamic Frequency Allocation in OFDMA Cellular Networks

Jong-Chan Lee¹ and Gi-Sung Lee^{2*}

¹Dept. of Computer Information Eng., Kunsan National University

²Div. of Computer and Game, Howon University

요약 차세대 이동통신 시스템은 음성 트래픽뿐만 아니라 데이터, 화상, 비디오와 같은 멀티미디어 트래픽을 지원하여야 하므로 더 많은 무선 자원을 요구한다. 본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 모바일 멀티미디어 서비스를 위한 사용자 및 부채널 우선순위 기반 자원할당 방안을 제안한다. 제시된 방안들을 통하여 실시간 클래스의 연속성을 보장하고 비실시간 가입자를 최대 수 수용할 수 있다. 시뮬레이션은 총 데이터 처리량과 블럭킹률에 집중한다. 시뮬레이션 결과는 기존의 방법에 비하여 우수함을 보였다.

Abstract The future mobile communication system can support not only voice but also multimedia applications such as data, image and video. It requires greater resources than the voice-oriented mobile system. We propose user and sub-channel priority based resource allocation for mobile multimedia services in the OFDMA systems. Our method is able to guarantee QoS continuity of realtime services and carry the maximum number of non-realtime subscriber. Simulation is focused on total throughput and blocking rate. The simulation results show that our proposed method provides a better performance than the conventional method.

Key Words : OFDMA, Resource Allocation, SNR, Mobile Multimedia Service

1. 서론

LTE Advanced는 All-IP 기반의 백본을 기반으로 기존 3G망인 WCDMA, HSDPA, WiBro와 연동함으로써 단일의 이동 단말기(Mobile Terminal; 이하 MT)를 통한 모든 서비스의 이용이 가능할 것으로 기대된다. LTE-Advanced의 무선자원 공유 방식으로 제시되고 있는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)는 각 사용자에게 요구하는 전송속도에 따라 부채널(subchannel)의 개수를 다르게 할당함으로써 효율적인 자원 분배가 가능하며, 주파수마다 채널상황이 상이하므로 부채널의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; 이하 SNR)에 따라 서로 다른 변조방식을 사용하여 채널 용량을 최적화 할 수 있다. 또한 사용자의 데이터 전송률이나 채널 환경에

따라 대용량의 데이터를 부반송파로 분할 전송하거나 할당된 부반송파를 증감시킴으로서 이동 멀티미디어 서비스(mobile multimedia service; 이하 MMS)를 요구하는 사용자에게 서로 다른 서비스의 질(Quality of Service; QoS)을 제공할 수 있다[1-2].

이와 같은 무선자원관리는 망 성능과의 깊은 연관성 때문에 이동통신시스템에서 매우 중요한 기능중의 하나이다. 특히 허용 대역폭에 따라 미리 정해진 개수의 부채널을 보유한 기지국은 일정시간 단위로 사용자의 요구 MMS에 대하여 부채널의 할당과 해제를 반복적으로 수행한다. 특히 인터넷 서비스를 기본으로 이루어지는 패킷 기반의 MMS는 자원의 한계나 성능, 용량, 효율 등이 서로 다르며 이를 이동단말기(mobile terminal; 이하 MT)에서 지원 가능해야 한다. 마찬가지로 패킷 서비스를 지원

*Corresponding Author : Gi-Sung Lee(Howon Univ.)

Tel: +82-10-2866-5170 email: ygslee@howon.ac.kr

Received April 25, 2013

Revised June 3, 2013

Accepted June 7, 2013

하기 위한 MT도 다양한 MMS를 동시에 수용할 수 있어야 하고, 동시에 수용되는 MMS는 서로 다른 무선 자원의 조건을 요구하므로 적응적 자원관리가 요구된다[3-4].

OFDMA 시스템의 효율적인 자원관리를 위하여 다수의 자원관리 방안이 연구되고 있는데, 사용자 요구의 최적화를 중시한 자원관리방법과 시스템 사용자 수용 용량의 최대화를 고려한 자원할당방법이 주로 제안되고 있다 [5-10]. 사용자 요구의 최적화는 사용자 개별 QoS 요구 사항에 대한 채널 용량 최적화방안으로 대별되고, 사용자 수용 용량의 최대화는 동일 부채널 간섭(co-subchannel Interference) 완화를 통한 시스템 가용자원의 극대화로 귀결된다. 그러나 최적화와 최대화의 중시 정도에 따라 두 파라미터 간에 상충되는 결과를 가져온다. 결국 이 둘 사이에는 피할 수 없는 tradeoff가 존재함을 알 수 있으며, 기존 연구에서는 이런 복잡성 때문에 이 두 개의 성능을 적절히 만족시킬 수 있는 방법의 연구가 극히 미진한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 사용자 요구 최적화와 시스템 수용 용량의 최대화를 일정한 수준에서 충족시킬 수 있는 동적 부채널 할당 방법을 제안한다. 사용자 우선순위와 부채널 우선순위를 결정한 후에 최종적으로 사용자 순서대로 우선순위 지수가 높은 부채널의 수를 동적으로 조정하는 새로운 자원 할당 방법을 제시한다. 사용자 우선순위를 결정하기 위하여 사용자의 서비스 클래스와 세션의 형태를 고려한다. 그리고 부채널 우선순위 결정 파라미터로 SNR과 동일 부채널 간섭을 고려한다. 우선순위를 효율적으로 산출하기 위하여 가중 평균(center weighted average)과 GMV(Generalized Mean Value)를 적용한다.

2장에서는 OFDMA 시스템을 위하여 제안되고 있는 기존의 자원할당 방안들을 기술하고, 3장에서는 제안하는 동적 부채널 할당 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가가 이루어진다. 5장에서는 논문에 대한 결론 및 향후 연구에 관하여 논의한다.

2. 기존 연구

IEEE 802.20에서는 동일 부채널 간섭 문제를 해결하기 위하여 FFR(Fractional Frequency Reuse) 기법을 제안하고 있다. 셀 간 간섭으로 인해 수신 성능이 저하된 사용자의 수신 성능을 개선하기 위한 주파수 재사용 방법으로서 MT의 위치에 따라 주파수 재사용률을 다르게 적용함으로써 시스템 성능을 향상시킨다. 3GPP LTE에서는 FFR보다 우수한 성능을 얻기 위하여 셀을 2영역으로 나누어 안쪽 영역에서는 모든 주파수 자원을 사용할 수 있

는 SFR(Soft Frequency Reuse)[5-7] 방식을 제안하였다. 그러나 두 방식은 전체 주파수를 사용하지 못함으로 인하여 용량의 감소가 발생하고, 사용자 분포의 불균형이 발생하면 자원의 부족 또는 자원이 잉여 현상으로 인하여 시스템 성능 저하의 주요 원인이 된다. Yanhui 등은 QoS 요건에 따른 무선 자원 배분의 공정성을 유지하면서도 총 전송률을 극대화하기 위한 자원할당 및 스케줄링 방안을 제안하였다[8]. 이 방안은 무선 자원 배분의 공정성에 중점을 두었지만 각 서비스의 고유 특성에 따른 효율적 자원할당의 필요성을 간과하였다. 결과적으로 실시간-비실시간 서비스의 발생 비율의 변동이 클 경우에는 수용 가능한 사용자 수의 변동이 커지므로, 서비스의 안정성이 요구되는 실제 상용 시스템에 적용하기에는 적합하지 않다. Bashar 등은 이종의 OFDMA 무선망 환경을 위한 자원할당 및 수락 제어 방식을 제안하였다[8]. 이 방안은 실시간 서비스 위주의 자원할당으로, 비실시간 서비스의 성능 저하를 야기할 수 있으며, 다양한 서비스의 고유 특성을 상세하게 고려하지 않았다. 따라서 이 방안도 다양한 멀티미디어 서비스를 수용해야 하는 상용 시스템에 적합하지 않은 것으로 판단된다. Fan 등은 블록레벨의 자원할당 방법을 제안하였다[9]. 이 방안은 각 사용자에게 자원 블록(resource block)과 전력을 할당함으로써 망의 전체 처리량을 최대화하기 위하여 제안되었다. 그러나 이 방법도 서비스의 특성을 고려하지 않고, 단지 채널 조건 및 전력 등만을 고려한 자원할당을 수행함으로써, 사용자의 다양한 서비스 요구사항을 충족시킬 수 없다.

3. 동적 부채널 할당

3.1 사용자 우선순위 결정

사용자의 서비스 요구가 기지국에 수신되면 사용자의 연결 요구에 대한 수락 제어, 무선 자원의 할당과 망 자원의 예약 및 설정을 수행하고, 이후 서비스 수행 중에 핸드오버가 발생하면 상기의 과정을 반복적으로 수행한다. 수락 제어, 자원 할당 및 핸드오버 시에 각 기지국에 할당된 부채널의 사용자 점유 우선순위를 결정하기 위하여 본 연구에서는 2개의 결정 파라미터를 사용한다.

- ① 사용자의 서비스 클래스
- ② 사용자의 세션의 형태

본 연구에서는 MMS의 특성에 따라, 사용자 요구 서비스의 데이터 클래스 구조를 정의하기 위하여 MMS를

4개의 클래스- LL, LM, ML, MM로 분류한다. LL(Less Delay, Less Loss)은 지연에 민감하며 손실에도 취약한 특성을 갖는 실시간성 MMS를 나타낸다. LM(Less Delay, More Loss)은 지연에 민감하나 손실에 대해서는 덜 취약한 특성을 갖는 실시간 MMS 형태를 나타내고, ML(More Delay, Less Loss)은 지연에 덜 민감하나 손실에는 취약한 특성을 갖는 비실시간 MMS를 의미하고, MM(More Delay, More Loss)은 지연에 민감하지 않고 손실에도 덜 취약한 특성을 갖는 서비스 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 실시간성 MMS에 우선순위를 두어 LL>LM>ML>MM으로 알고리즘을 제안한다.

사용자 서비스 요구 시에 서비스 클래스가 결정되고, 그에 따라 해당 서비스에 알맞은 3형태의 우선순위 - 클래스 간 우선순위, 동일 클래스 서비스 간 우선순위, 셀 내 서비스 우선순위가 아래와 같이 순차적으로 결정된다. 그리고 최종적으로 사용자 우선순위가 결정된다.

- ① 클래스 우선순위 : 사용자 서비스가 속한 클래스 간의 우선순위를 상위의 4 클래스에 근거하여 결정한다.
- ② 동일 클래스 서비스 간 우선순위 : 동일한 클래스에 속하는 서비스 간의 우선순위를 결정한다. 동일한 클래스의 서비스들은 클래스 우선순위가 동일하므로 추가적인 우선순위가 결정이 필요하다. 이 우선순위는 사용자의 세션의 형태, 즉 신규 세션, 핸드오버 세션, 서비스 (on-going) 세션인지에 따라서 결정한다. 여기서 신규 세션, 서비스 세션, 핸드오버 세션 순으로 우선순위가 높게 할당되는데, 그 이유는 서비스 연속성을 보장하기 위해서이다. 동일한 세션간의 우선순위는 서비스 지속 시간으로 결정한다.
- ③ 셀 내 서비스 우선순위: 클래스 간 우선순위와 동일 클래스 서비스 간 우선순위를 이용하여, 사용자 서비스의 셀 내 서비스 간 우선순위를 결정한다.

3.2 부채널 우선순위 결정

부채널 우선순위를 결정하기 위하여 본 연구에서는 아래의 두 파라미터를 사용한다.

- ① SNR (N)
- ② 동일 부채널 간섭 (I)

OFDMA 시스템에서의 채널 상태는 시간에 따라 변화하며, 한정된 무선 자원을 효과적으로 사용하기 위해서는 채널 단위의 SNR에 적합한 변조 및 부호화 방식을

사용하여 전송 효율을 높일 수 있다. 한 사용자에게 특정 부채널의 SNR이 기준치 이하일 수도 있지만 다른 사용자에게는 그 부채널의 품질이 기준치 이상일 수도 있다. 이러한 특성을 이용하여 부채널을 할당하면 최상의 채널 상태에 있는 사용자가 해당 부채널을 사용하여 적응적으로 데이터를 전송함으로써 데이터 전송률을 최대한 높일 수 있다.

본 연구에서는 각 사용자의 부채널의 채널 환경, 즉 SNR 수준을 식 (1)과 같이 표현한다. 여기서 n 은 사용자 수, c 는 주파수 영역의 부채널의 개수를 의미한다. 즉 g_{ij} 은 i 번째 사용자의 j 번째 부채널의 SNR 수준을 나타낸다.

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & \cdots & g_{1c} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & \cdots & g_{2c} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & \cdots & g_{3c} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & g_{n3} & \cdots & g_{nc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

부채널 상태를 나타내는 SNR 수준은 MCS(modulation and coding scheme) 등급을 나타내며, 본 연구에서는 6등급으로 분류하였고 등급이 높을수록 부채널 상태가 우수함을 나타낸다. 사용자는 주기적으로 MCS가 포함된 채널 상태 정보(channel state information)를 기지국에 보고한다. 이와 같은 채널 품질 정보를 이용하여 기지국은 데이터를 전송할 사용자와 그 사용자에게 할당할 부채널을 할당하게 된다. 부채널 상태에 따라 전송할 수 있는 패킷 수가 결정되므로 사용자의 요구 전송률에 합당한 전송률을 할당하게 된다.

셀 내의 사용 가능 부채널 그리고 SNR 등과 같이 현재 상태정보만을 사용하여 부채널을 할당한다면, 인접 셀의 동일 부채널에 허용 할 수 없는 간섭을 줄 수 있다. 즉 부채널 할당의 범위가 자신의 셀에만 한정되므로 사용자가 원이 부족하거나 동일 부채널 간섭이 기준치를 초과할 경우 지연 및 패킷 손실이 반복적으로 발생한다. 또한 부채널이 불규칙적으로 사용되고 전체적으로 주파수 사용 효율이 감소할 가능성이 있다. 사용자가 부채널 할당에 성공하더라도 동일 부채널을 사용하고 있는 인접 셀의 사용자에게 간섭을 발생시키므로, 이는 강제종료의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 자신의 셀 상태에 의존하여 최적의 부채널을 결정하는 방법의 문제점을 보완할 수 있는 가중치 보정 방법을 제안한다. 가중치 보정 값으로 동일 부채널 간섭을 적용하며, 6등급으로 분류한다. 등급이 높을 수록 동일 부채널 간섭 수준이 낮음을 의미한다. 이를 통하여 자신의 셀에만 최적인 부채널 할당에

의하여 발생하는 동일 부채널 간섭으로부터 재사용 클러스터 내의 용량을 최대로 유지할 수 있게 한다.

부채널 우선순위를 결정하기 위하여 가중 평균 개념(enter weighted average)을 도입한다. 이를 위하여 g_{ij} 를 식 (2)와 같이 퍼지수 근사공식으로 정의한다.

$$g_{ij} = (o_{ij}, p_{ij}, q_{ij}, r_{ij}) \quad (2)$$

6 등급으로 분류되는 동일 부채널 간섭에 대한 가중치를 식 (3)과 같이 퍼지수로 정의한다.

$$W_{ij} = (w_{ij}, x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) \quad (3)$$

중앙 가중 평균을 사용하여 우선순위 지수를 식 (4)와 같이 산출한다.

$$A_i \cong (A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, A_{i4}) \quad (4)$$

여기서,

$$A_{i1} = \frac{o_{ij} \cdot w_{ij}}{w_{ij}}, \quad A_{i2} = \frac{p_{ij} \cdot x_{ij}}{x_{ij}},$$

$$A_{i3} = \frac{q_{ij} \cdot y_{ij}}{y_{ij}}, \quad A_{i4} = \frac{r_{ij} \cdot z_{ij}}{z_{ij}} \text{ 이다.}$$

본 연구에서는 부채널을 순위화하기 위하여 GMV (Generalized Mean Value)[10-16]를 사용한다. 우선순위 $m(A_i)$ 에 대한 GMV를 구하는 식은 식 (5)와 같다. $m(A_i)$ 이 크면 클수록 최적의 부채널이 된다.

$$m(A_i) = \frac{(A_{i3} + A_{i4})^2 - (A_{i1} + A_{i2})^2 + A_{i1} \cdot A_{i2} - A_{i3} \cdot A_{i4}}{3 \cdot [(A_{i3} + A_{i4}) - (A_{i1} + A_{i2})]} \quad (5)$$

3.3 동적 부채널 할당 방안

[Fig. 1]에 사용자 우선순위와 부채널 우선순위에 근거한 부채널 할당 방법을 기술한다. 실시간성 서비스에 우선순위를 두어 부채널을 점유하므로, 신규 세션의 경우는 사용자 요구 전송률을 충족할 경우에만 수락되고, 반면에 핸드오버 연결은 최소 요구 전송률을 보장할 수 있다면 수락한다.

Algorithm 1 *Subchannel Allocation Algorithm*
Define

μ_{ij} : a subchannel j allocated to i -th user
 m_i : the number of subchannels allocated to i -th user
 R_i : the required transmission rate of each user
 n : the number of user i
 ρ : the number of subchannel j
 $H_i(\Phi)$: the minimum transmission rate for handover sessions
 b_i^r : the volume of allocated resources
 C_A : the volume of available resources
 C_T : the volume of total resources
 $\sum_{i \in C} SS_i$: the sum of transmission rate of users
 $\sum_{i \in C} HS_i$: the sum of transmission rate of users which ask for handover

ResourceAllocationCoefficient
 determining user priority;
 determining subchannel priority;
 while ($1 \leq n$)
 while ($1 \leq m_i + 1$)
 $\mu_{ij} \leftarrow \arg \max_{j \in \{1, \dots, \rho\}} (m(A_i))$ where $i \in \{1, \dots, n\}$;
 $b_i = b_i + r_i(\mu_{ij})$;
 if ($b_i < R_i$) then
 the allocation of a subchannel μ_{ij} ;
 $m_i \leftarrow m_i + 1$;
 else
 the allocation of a subchannel μ_{ij} ;
 break;
 endif
 endwhile
 $n \leftarrow n - 1$;
 endwhile

/* Subchannel allocation for new sessions */
 NewCallRequest (R_i, C_A, b_i^r)
 $C_A = C_T - \sum_{j \in C} SS_j - \sum_{j \in C} HS_j$;
 if ($R_i < C_A$) then
 the admission of a new session;
 $b_i^r = R_i$;
 else
 the rejection of a new session;
 end if

/* Subchannel allocation for handover sessions */
 HandoverCallRequest ($R_i, C_A, H_i(\Phi), b_i^r$)
 if ($R_i < C_A$) then
 the admission of a handover session;
 $b_i^r = R_i$;
 else // the admission based on the minimum rate
 if ($H_i(\Phi) < C_A$) then
 the admission of a handover session;
 $b_i^r = H_i(\Phi)$;
 else
 the rejection of a handover session;
 end if
 end if

[Fig. 1] Subchannel Allocation Algorithm

4. 시뮬레이션과 성능분석

4.1 시뮬레이션 파라미터

본 논문에서 제안한 동적 부채널 할당 기법의 성능을 분석하기 위하여 사용한 OFDMA 시스템 모델은 다음과 같다. 19개의 기지국이 균일하게 분포된 재사용도 1의 LTE-Advanced 시스템을 고려하였다. MT의 서비스 요구는 셀 내에서 고르게 발생하며, MMS의 발생은 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. 각 MT는 $0-2\pi$ 의 임의의 방향으로 이동할 수 있으며 이동 속도와 방향이 계속적으로 변경 가능하며, 이에 따른 핸드오버 발생은 평균 40%인 포아송 분포를 가정한다. 채널 페이딩 모델은 표준 편차가 5dB인 ITU-R M.1225 pedestrian B 모델을 사용하였고, 경로 손실(path-loss)은 Urban Macro 타입으로 경로 손실 지수(path-loss exponent)는 4를 적용하며, 음영(shadowing) 모델은 8dB의 표준 편차를 갖는 WINNER Channel Model II를 따른다. SINR은 지수 분포를 따르고 기준치는 3dB로 가정하였다.

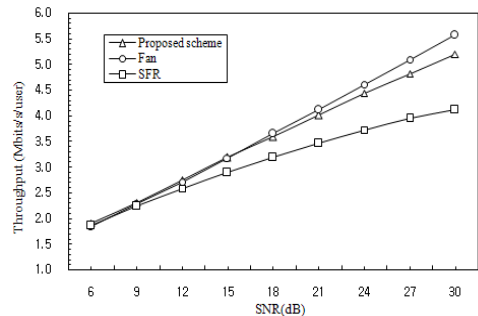
TTI(Time to Interval)는 0.5ms로 가정하고 한 개의 프레임(10ms)내에 20개의 TTI가 배치되며, TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM 심볼을 갖는다. 또한 부반송파의 간격은 15kHz이다. 자원 할당 시 최소 단위인 RB(또는 부채널)의 구조는 한 개의 TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM 심볼과 180KHz에 해당하는 부반송파 12개로 이루어진 2차원 형태이다. 따라서 한 프레임은 20개의 TTI와 30개의 RB로 총 600개의 RB로 구성된다. 각 RB는 1명의 사용자에게만 할당되며, 1명의 사용자는 요구 전송률에 따라서 다수의 RB를 할당받을 수 있다.

4.2 시뮬레이션 분석

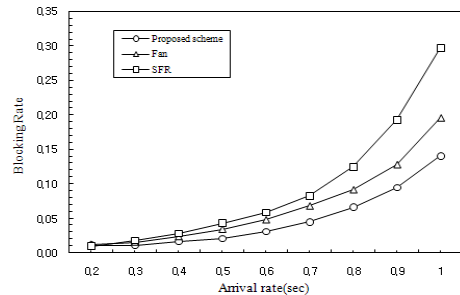
본 연구에서 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여, SNR의 증가에 비례하여 기지국에서 오류 없이 송/수신되는 패킷량, 즉 총 처리량(total throughput), 자원 부족으로 인하여 신규 세션의 연결 요구가 실패할 비율을 나타내는 블럭킹률(blocking rate)을 성능척도로 하여, SFR[5-7] 그리고 Fan의 방식[10]과 비교·분석한다.

제안된 방법의 패킷 처리량을 기존 방법과 비교한 결과를 [Fig. 2]에 보인다. 제안된 방식이 SFR에 비하여 우수한 성능을 보이고, SNR 18dB 이상에서는 Fan에 비하여 총 처리량이 증가함을 알 수 있다. 즉, 동일 부채널 간섭량을 가중치로 사용함으로써 부채널의 가용성을 높일 수 있으며, SNR이 증가할 경우 인접 셀에 동일 부채널 간섭을 과도하게 일으키지만, 이 간섭량을 가중치로 사용함으로써 셀에서는 가용성이 증가하게 됨으로서 기존

방법에 비하여 처리율이 증가함을 알 수 있다.



[Fig. 2] Comparison of total throughput



[Fig. 3] Comparison of blocking rate

[Fig. 3]은 제안된 방법의 블럭킹률에 대하여 SFR 그리고 FAN과의 비교 결과를 보인다. SNR 18dB 이상에서는 기존 방식에 비하여 부채널 부재로 인한 블럭킹률이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 사용자 서비스 우선순위에 따라, 우선순위 부채널을 동적으로 할당함으로써, 동일 부채널 간섭으로부터 재사용 클러스터 내의 용량을 최대도 유지할 수 있기 때문이다. 이를 통하여 부채널 할당 문제에 능동적으로 대처할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 모바일 멀티미디어 서비스를 위한 동적 부채널 할당 방안을 제안하였다. 사용자의 부채널 점유 우선순위를 결정한 후, 사용자별로 각 부채널의 등급 및 가중치를 이용하여 부채널 우선순위 지수를 결정하고 사용자 순서대로 우선순위 지수가 높은 부채널의 수를 할당한다. 이를 통하여 사용자 수용 용량 증가 및 데이터 처리량을 증가시킬 수 있었다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여, 패킷 처리량, 블럭킹

확률을 분석하였다. 시뮬레이션에 의하면 기존의 방법들에 비하여 성능이 우수함이 확인되었다. 추후 본 연구를 실제 시스템에 적용하기 위한 동일 부채널 간섭 동적 조정 그리고 전력 분배에 대한 세부적인 연구가 필요하다.

References

- [1] I-Kang Fu, Yih-Shen Chen, "Multicarrier Technology for 4G WiMAX System," WiMAX/LTE Update, IEEE Communications Magazine, August 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2010.5534587>
- [2] W. Dang, M. Tao, H. Mu, and J. Huang, "Subcarrier-pair-based resource allocation for cooperative multirelay OFDM systems," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 5, pp. 1640 - 1649, May 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2010.05.090102>
- [3] A. Kakhbod and D. Teneketzi, "Power allocation and spectrum sharing in multi-user, multi-channel systems with strategic users," IEEE Trans. Automatic Control, no. 99, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAC.2012.2183192>
- [4] IEEE Std 802.16m-2011, "Part 16 : Air Interface for Broadband Wireless Access Systems," Amendment 3 : Advanced Air Interface, May, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.5765736>
- [5] Z. Abichar, and J.M. Chang, "WiMAX vs. LTE: Who Will Lead the Broadband Mobile Internet," IEEE IT Professional, Vol. 12, No. 3, pp. 26-32, May 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MITP.2010.47>
- [6] N. Ksairi, P. Bianchi, P. Ciblat, and W. Hachem, "Resource allocation for downlink cellular OFDMA systems—part I: optimal allocation," IEEE Trans. Signal Process., vol. 58, no. 2, pp. 720 - 734, Feb. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2009.2033301>
- [7] Yongho Kim, Inuk Jung, "Advanced Handover Schemes in IMT-Advanced Systems," WiMAX/LTE Update, IEEE Communications Magazine, August 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2010.5534590>
- [8] Shafi Bashar and Zhi Ding, "Admission Control and Resource Allocation in a Heterogeneous OFDMA Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 8, No. 8, Aug. 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2009.080844>
- [9] Jiancun Fan, Qinye Yin, Geoffrey Ye Li, "Adaptive Block-Level Resource Allocation in OFDMA Networks," IEEE Transaction on Wireless Communications, Vol. 10, No. 11, Nov. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2011.092011.110624>
- [10] Lee, E.S. and Li R.J, "Comparison of Fuzzy Members Based on the Probability Measure of Fuzzy Events," Computers and Mathematics with Application, Vol. 1. pp. 887-896, 1988.5
- [11] S.Y. Jung and S.K. Cho, "Determination of Risk Level Using Fuzzy Multi - Criteria Decision Method," Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.24, No.4, pp. 627-638, Dec. 1998.
- [12] S.-Y. Park, H.-Y. Kong, "Multihop Transmission in Cognitive Underlay Network Over Rayleigh Fading Channels", Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol 12, No 6, pp. 291~296, 2012.
- [13] S. Jo, L.-T. Dung, B. An, "LED Communication-based Multi-hop Wireless Transmission Network System", Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol 12, No 4, pp. 37~42, 2012.
- [14] I.-J. Park, K.-T. Lee, "A Study on Frequency Response in LED-LED Communication", Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol 12, No 1, pp. 115~122, 2012.
- [15] J. Cho, O. Lee, "Analysis on Performance for Network Sharing in Adjacent Channels", Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol 11, No 5, pp. 179~184, 2011.
- [16] J. Cho, S.-I. Cho, K.-M. Kang, H.-J. Hong, "Analysis on Characteristics for Sharing Co-channel between Communication Systems", Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol 11, No 4, pp. 251~256, 2011.

이 중 찬(Jong-Chan-Lee)

[정회원]



- 1996년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2000년 10월 ~ 2005년 4월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2005년 4월 ~ 현재 : 국립군산대학교 컴퓨터정보공학과 부교수

<관심분야>

차세대 이동통신, 센서 네트워크, 무선 멀티미디어

이 기 성(Gi-Sung Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 호원대학교 컴퓨터·게임학부 교수

<관심분야>

이동멀티미디어통신, 모바일 컴퓨팅, 컴퓨터네트워크 보안