

특집논문-08-13-6-10

다중안테나 OFDM 멀티캐스트 시스템을 위한 동적 자원할당 알고리즘

슈지인^{a)}, 이상진^{a)†}, 강우석^{a)}, 서종수^{a)}

Dynamic Resource Allocation Scheme for Multiple Antenna OFDM-based Wireless Multicast Systems

Jian Xu^{a)}, Sang-Jin Lee^{a)†}, Woo-Seok Kang^{a)}, and Jong-Soo Seo^{a)}

요 약

최근 차세대 무선 통신 시스템으로 다중 안테나 직교 주파수 다중접속 방식(OFDM)에서 적응적 자원 할당 기술은 사용자들의 QoS를 보장하며 성능을 개선 할 수 있는 중요한 연구 분야로 각광을 받고 있다. 그러나, 현재까지, 대부분의 자원 할당 알고리즘은 유니캐스트 시스템에 국한되어 연구가 진행되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 다중 안테나 직교 주파수 다중접속 방식 시스템에서 멀티캐스트 서비스를 위한 동적 자원 할당 기술을 제안하고 이에 대한 전산모의 실험 결과를 통하여 성능 개선 효과를 분석하였다. 실험 분석 결과, 제안하는 동적 자원 할당 기술이 기존의 방식에 비해 우월함을 증명하였다.

Abstract

Multiple antenna orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is a promising technique for the high downlink-capacity in the next generation wireless systems, in which adaptive resource allocation is an important research issue that can significantly improve the performance with guaranteed QoS for users. However, most of the current resource allocation algorithms are limited to unicast system. In this paper, dynamic resource allocation is studied for multiple antenna OFDM based systems with multicast service. In the simulation, the performance of multicast system was compared with that of the unicast system. Numerical results also show that by using the proposed algorithms the system capacity is significantly improved compared with the conventional scheme.

Key words: MIMO, OFDM, multicast service, adaptive resource allocation, water-filling

1. 서 론

차세대 무선 네트워크 시스템은 다양한 서비스 품질 (QoS : Quality of Service) 요구 사항을 만족하는 음성, 웹

검색, 동영상 회의 등의 광대역 멀티미디어 서비스를 동시에 제공할 수 있는 시스템으로 발전하고 있다^[1]. 이러한 무선 네트워크 시스템에서 음성/영상, 휴대 TV, 대화형 게임 등을 지원 할 수 있는 멀티캐스트 멀티미디어 서비스의 중요성이 날로 높아지고 있는 실정이다^[2]. 그러나 현재까지의 무선 멀티미디어 네트워크 시스템에서는 주로 유니캐스트 서비스를 위한 여러 가지 기술들, 예를 들면, 동적 자원 할당 기술과 같이 QoS 혹은 시스템 전송 효율을 높일 수 있는

a) 연세대학교 전기·전자공학과

Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei Univ.

† 교신저자 : 이상진(acejin@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (IITA-2008-(C1090-0801-0011))

기술들이 연구되었다.

한편, 차세대 무선 네트워크 시스템을 위한 다중 경로 페이딩 환경에서 높은 데이터 전송효율을 제공할 수 있는 기술로 직교 주파수 다중 접속 방식 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 각광 받고 있으며, 다수의 사용자를 고려한 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식도 대두되고 있다^[3]. 또한 다중 송/수신 안테나를 사용하는 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 안테나 기술도 기존의 단일 송/수신 안테나를 사용하는 SISO (Single Input Single Output) 안테나 기술에 비해 전송 효율을 높일 수 있는 기술로 최근 들어 각광을 받고 있다.

이러한 전송 효율을 높일 수 있는 기술을 바탕으로 다중 송/수신 안테나와 직교 주파수 다중 접속 방식이 모두 적용된 MIMO-OFDMA 시스템에서 더욱 전송 용량을 극대화할 수 있는 동적 자원 할당 기술의 연구가 많이 진행되고 있다^{[4][5]}. 동적 자원 할당 기술은 최적화 방식에 따라 시스템 전송 용량을 유지한 채로 전체 송신 전력을 최소화 하는 방법^[5]과 전체 송신 전력을 유지하며 시스템 전송 용량을 최대화 하는 방법^{[4][6]}으로 크게 2가지로 구분할 수 있다. 이러한 동적 자원 할당 기술을 이용한 전력 효율 및 전송 용량의 최적화시 다양한 QoS와 형평성이 고려되어야 한다^{[6][7]}. 그러나 아쉽게도 대부분의 MIMO-OFDMA 시스템에서 동적 자원 할당 알고리즘 연구는 유니캐스트 서비스만 고려하여 연구가 진행되어 왔다.

실제 무선 네트워크 시스템에서는 많은 다양한 멀티미디어 응용 서비스들이 다수의 사용자들에게 동시에 제공되는 멀티캐스트 서비스를 실시하고 있으며, 이러한 사용자들에게 제공할 수 있는 전송 용량 증대방법에 대해 연구가 진행되었다^{[8][9]}. 한편, 최근에 무선 네트워크 시스템에서 멀티캐스트 서비스를 위한 비례적으로 형평성을 고려한 스케줄링 기법(Proportional fair scheduling)이 연구되었다^[10].

따라서, 본 논문에서는 MIMO-OFDMA 기반의 무선 멀티캐스트 시스템을 고려한 동적 자원 및 전력 할당 알고리즘을 제안하고, 전체 송신 전력을 유지하며 시스템 전송 용량을 극대화 할 수 있는 방법에 대해 연구한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 MIMO-

OFDMA 기반의 멀티캐스트 시스템을 소개하고, 최적화 함수에 대해 설명한다. 3장에서는 멀티 캐스트 서비스를 위한 다중 사용자를 고려한 동적 자원 할당 알고리즘을 제안하고 4장에서 기존 방식과 비교하여 전산 모의실험결과를 제시한다. 5장에서 결론으로 논문을 마친다.

II. MIMO-OFDMA 기반의 멀티 캐스트 시스템 모델

그림 1은 하나의 기지국이 커버하는 셀 내에 멀티캐스트 서비스를 요구하는 다수의 사용자들이 분포할 때 멀티캐스트 서비스가 전송되는 개념적 구조를 설명하고 있다. 본 논문에서 고려하는 멀티캐스트 서비스는 그림 1과 같이 한 셀 내에 동일한 멀티 캐스트 서비스를 받는 다수의 사용자 그룹이 존재하고, 각 그룹간 사용자 수가 다르며, 동일 그룹 내 사용자 위치도 서로 다르게 배치된 시나리오를 가정하였다.

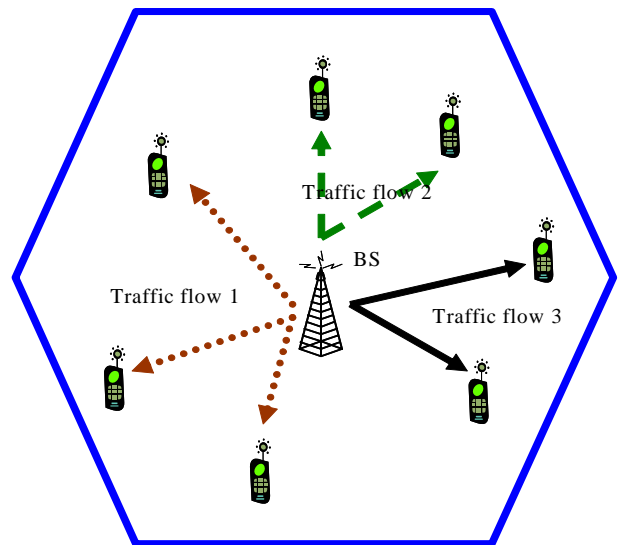


그림 1. 멀티캐스트 전송 시스템의 셀 구조
Fig.1. Cellular structure of multicast transmission system.

그림 2는 MIMO-OFDMA 방식을 기반으로 하는 멀티캐스트 시스템의 송수신 구성도를 나타낸다. 기지국이 각 사

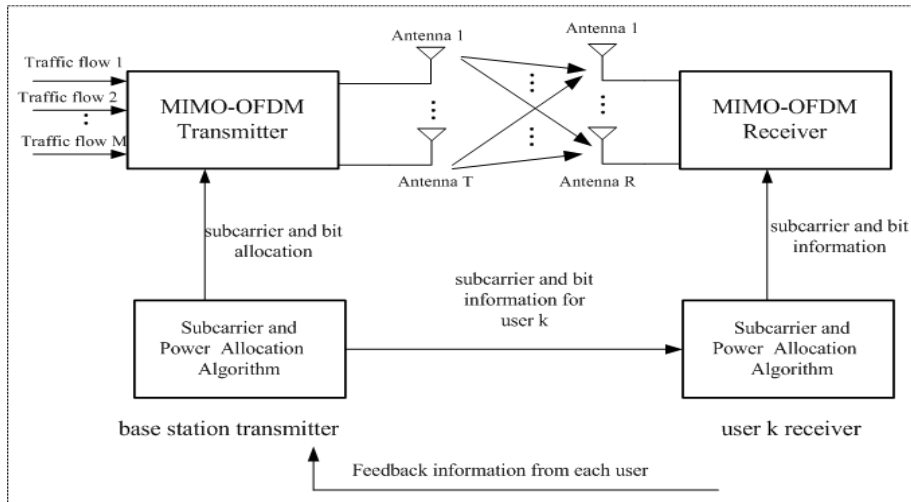


그림 2. 멀티캐스트 MIMO-OFDMA 시스템의 송/수신 구성도
Fig.2. Block diagram of multicast MIMO-OFDMA system

용자들로부터 MIMO 전송 채널의 고유값을 피드백 채널을 통하여 수신하면, 부반송파 및 전력 할당 블록에서 각 사용자들의 환경 및 상황에 맞게 자원을 할당하여 MIMO-OFDMA 송신기에 정보를 알려준다. MIMO-OFDMA 송신기는 이 정보를 이용하여 각 부반송파에 할당된 사용자들에게 전달할 알맞은 비트와 이에 따른 적절한 전력을 할당하여 OFDMA 심볼을 만들게 되고, 다중 송신 안테나를 통하여 신호를 전송하게 된다. 이때 사용하는 다중 안테나기법은 서로 다른 송신 안테나에 서로 다른 데이터를 동시에 전송하는 공간 다중화 기법을 고려하였다. 자원 할당 방법은 일정 주기로 사용자들로부터 전송 채널 정보가 갱신되어 기지국으로 전달될 때 마다 행해지게 되며 할당이 이루어진 후 할당된 부반송파와 비트 정보는 다시 수신단에 알려주어 각 사용자들이 송신 신호 검출을 쉽게 할 수 있도록 하게 한다.

전송된 신호는 페이딩 채널을 통과하며 단, 이때 페이딩 채널 계수 값은 부반송파와 전력 할당 알고리즘이 진행되는 동안에는 변하지 않는 상수 값을 갖는다고 가정하였다. 송신 안테나의 개수는 T , 모든 사용자의 수신 안테나 개수는 R 이라 하고, M 개의 멀티캐스트 서비스가 K 명의 사용자들에게 N 개의 부반송파를 가지고 제공되는 것을 가정하였다. 또한 기지국의 전체 전송 전력은 Q 로 제한을 두었다.

본 논문의 목적은 전체 송신 전력이 제한되어 있을 때

시스템 수신 용량을 극대화하기 위한 것으로, 다음과 같은 시스템 용량 최적화 함수를 통하여 최적의 부반송파 할당 및 전력 배분 방법을 찾는 것이다.

$$\begin{aligned} \max C &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \rho_{k,n} \left(\sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_{k,n}}{N_0} \right) \right) \\ \text{subject to: } & \sum_{n=1}^N \max_k(q_{k,n}) \leq Q \\ & q_{k,n} \geq 0 \text{ for all } k, n \\ & \rho_{k,n} = \{0, 1\} \text{ for all } k, n \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, Q 는 사용가능한 전체 송신 전력이며, $q_{k,n}$ 는 부반송파 n 에 할당된 사용자 k 를 위해 배분된 전력을 나타내며, $\rho_{k,n}$ 는 부반송파 n 이 사용자 k 에 의해 사용되는지 여부를 나타내는 값으로 동적 자원 할당 알고리즘을 통한 부반송파 할당을 의미하며 1 또는 0의 값을 갖는다. $M_{k,n}$ 는 사용자 k 이고 부반송파 n 일 때 $(R \times T)$ 크기를 갖는 MIMO 채널 $H_{k,n}$ 의 행렬 차수(Rank)를 나타낸다. $\{\lambda_{k,n}^{(i)}\}_{i=1:M_{k,n}}$ 는 $H_{k,n} H_{k,n}^\dagger$ 행렬의 고유값을 나타내며, N_0 는 하나의 부반송파에 존재하는 잡음 전력밀도이다.

멀티캐스트 시스템에서 용량 극대화를 위한 최적화 함수를 나타내는 수식 (1)과 일반적인 유니캐스트 시스템에서의 함수와 다른 점은 $\sum_{k=1}^K \rho_{k,n} = 1$ for all n 을 만족해야 한다는 제약이 없다는 것이다. 즉, 유니캐스트 시스템은 하나의 부반송파를 단지 한명의 사용자만 사용할 수 있지만, 멀티캐스트 시스템에서는 한 개의 부반송파 위에 여러 명의 사용자를 위한 멀티미디어 콘텐츠 신호가 실릴 수 있다는 차이점이 있는 것이다.

수식 (1)을 사용자 k 가 가질 수 있는 시스템 수신 용량 R_k 로 다시 정의하면 다음과 같다.

$$R_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \rho_{k,n} \left(\sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_{k,n}}{N_0} \right) \right) \quad (2)$$

III. 제안하는 부반송파 할당 및 전력 배분 방식

수식 (1)을 통한 최적화 방법은 연속적으로 변화하는 $q_{k,n}$ 값과 이진 값을 갖는 $\rho_{k,n}$ 에 의해 최적화 해법을 찾는 과정이 "Mixed binary integer programming problem"이 되므로 실질적으로 구하기 매우 어려운 문제이다. 또한, 수식 (1)에서 이상적인 해법 과정은 부반송파와 전력이 동시에 최적해를 갖도록 하게 하는 것인데, 이는 최적해에 이르기까지 계산량이 너무 많고 게다가 연산 소요 시간이 증가되어 전송 채널 변화에 대처하기 어려운 단점이 있다. 따라서 계산량을 줄일 수 있고, 연산 지연시간이 짧아 경제적이고 복잡도가 낮은 준 최적화 알고리즘이 많이 연구되고 있다. 준 최적화 알고리즘은 부반송파 할당 및 전력 분배를 분리시켜 독립적으로 최적 해를 찾는 방법으로 동시에 변화하는 변수의 수를 줄임으로써 연산 복잡도를 낮추는 방법이다.

준 최적화 방법을 위해 동적 자원 할당 알고리즘은 다음과 같이 두 단계 과정으로 구분된다. 먼저 첫 번째 단계는 각 부반송파에 동일한 전력이 할당되었다고 가정하고 부반송파 할당을 실시하는 것이고, 두 번째 단계에서 부반송파 할

당이 이미 이루어진 상태에서 전력분배를 실시하는 것이다. 이러한 분리 방법은 OFDMA 시스템에서 이미 사용되어왔고, 이러한 방식의 준 최적화 방법의 효용성은 이미 성능과 복잡도 측면에서 검증되어 왔다. 그러나 본 논문에서 제안하는 MIMO-OFDMA 기반의 멀티캐스트 시스템에서의 위와 같은 동적 자원 할당 방법은 아직까지 다루어 지지 않았다.

제안하는 준 최적 동적 자원 할당 알고리즘을 설명하기 전에, 부반송파 할당을 위한 다음과 같은 수학적 단순화 가정이 필요하다. 사용자가 수신하는 멀티캐스트 신호의 신호 대 잡음비가 높을 때, 예를 들어, $\frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \gg 1$ 인 경우에, 수식 (2)의 우항의 일부는 수식 (3)과 같이 근사화가 가능하다.

$$\begin{aligned} & \underset{k}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \right) \\ &= \underset{k}{\operatorname{argmin}} \prod_{i=1}^{M_{k,n}} \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \right) \approx \underset{k}{\operatorname{argmin}} \prod_{i=1}^{M_{k,n}} \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \quad (3) \\ &= \underset{k}{\operatorname{argmin}} \prod_{i=1}^M \lambda_{k,n}^{(i)} \text{ when } M_{1n} \\ &= \dots = M_{kn} = M \end{aligned}$$

근사식 $\underset{k}{\operatorname{argmin}} \prod_{i=1}^M \lambda_{kn}^{(i)}$ 는 log 함수의 연산을 하지 않기 때문에, 신호 대 잡음비가 높은 환경에서 비교적 정확하게 전체 성능에 열화를 미치지 않고 연산 복잡도를 줄이면서 부반송파 할당을 할 수 있게 한다. 한편, 신호대 잡음비가 낮을 경우 (예를들어, $\frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \ll 1$ 인 경우), $\log(1+x) \approx x$ 와 같은 가정을 사용할 수 있다. 따라서, 이러한 가정을 사용할 경우, 수식 (3)은 다시 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \underset{k}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \right) &= \underset{k}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M_{k,n}} \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_n}{N_0} \\ &\approx \underset{k}{\operatorname{argmin}} \left(\sum_{i=1}^{M_{k,n}} \lambda_{k,n}^{(i)} \right) \frac{q_n}{N_0} \quad (4) \\ &= \underset{k}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M_{k,n}} \lambda_{k,n}^{(i)} \end{aligned}$$

제안하는 준 최적화 알고리즘은 다음과 같다.

- 1단계 : 전체 시스템 수신 용량을 최대화 하기위한 방법으로 부반송파를 할당한다.
- 2단계 : 다차원 “water-filling” 알고리즘을 이용하여 1단계에 할당된 부반송파에 전력을 배분한다.

1. 1 단계 - 부반송파 할당

각 부반송파 마다 주어진 전력 배분 벡터가 $q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$ 라고 하면, 수식 (2)의 동적 자원 할당 최적화 문제는 각 부반송파 별로 분리할 수 있게 된다. 따라서 부반송파 n 에 따른 부반송파 할당 문제는

$$\begin{aligned} \max R(n) &= \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} \left(\sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_{k,n}}{N_0} \right) \right) \\ \text{subject to: } & \max_k (q_{k,n}) \leq q_n \\ & \rho_{k,n} = \{0,1\} \text{ for all } k,n \end{aligned} \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 그러면, 수식 (3)에서 보여준 MIMO-OFDMA 기반 멀티캐스트 시스템에서의 부반송파 n 에 따른 부반송파 할당 알고리즘은 다음과 같이 표현된다.

- 1) n 번째 부반송파에 대해, k 번째 사용자가 가장 낮은 피드백 채널 고유값을 갖는 사용자로 선택되었을 때를 가정하고 전체 데이터 전송률 $R(n)$ 을 계산한다.

$$R(n) = N_{k,n} \sum_{i=1}^{M_{k,n}} \log \left(1 + \frac{\lambda_{k,n}^{(i)} q_{k,n}}{N_0} \right)$$

- 2) n 번째 부반송파에 대해, 다음 식을 최대화 시키는 사용자 색인지수 k_n 을 선택한다.

$$k_n = \underset{k}{\operatorname{argmax}} R(n)$$

위 과정을 통하여 결과적으로 동적 자원 할당 알고리즘을 통한 부반송파 할당의 준최적 해인 다음을 얻을 수 있다.

$$\rho_{k,n} = \begin{cases} 1, & \prod_{i=1}^{M_{k,n}} \lambda_{k,n}^{(i)} \geq \prod_{i=1}^{M_{k_n,n}} \lambda_{k_n,n}^{(i)} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

이 과정에서, 모든 부반송파에 대해 균등전력분배를 가정하였으며, 또한 각 부 반송파에 대해 독립적으로 동적 자원 할당 알고리즘을 적용하였다. 이렇게 부반송파 할당이 이루어진 이후에 다음과 같은 과정으로 전력 분배가 각 부 반송파 별로 실시된다.

2. 2 단계 - 전력 배분

1단계의 부반송파 할당 알고리즘은 각 부반송파에 균일하게 전력이 분배되었다는 것을 가정한 상태에서 이루어졌다. 이번 단계에서는, 멀티캐스트 서비스를 고려한 전력배분 방법을 제안하고 1단계에서 할당된 각 부반송파에 어떻게 전력이 배분되는지 알아본다. 각 부반송파는 다수의 사용자들이 원하는 멀티캐스트 서비스 데이터가 할당되어 있으며, 전력 배분을 위해 각 부반송파에 할당된 멀티캐스트 서비스를 원하는 사용자들 중 가장 전송 채널 이득이 낮은 사용자를 기준으로 삼게 된다. 이 사용자를 기준으로 다차원 “water-filling” 방법을 사용하여 다음과 같은 과정으로 최적의 전력 분배방법을 찾게 된다.

부반송파들 사이의 전력 분배 값을

$$q_n^* = \max(0, q_n)$$

이라하면, 여기서, q_n 은 n 번째 부반송파의 전력을 의미하며, 수식 (6)를 통하여 얻어질 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{M_{k_n,n}} \frac{\lambda_{k_n,n}^{(i)}}{\lambda_{k_n,n}^{(i)} q_n + N_0} + \alpha = 0, n = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

여기서 k_n 은 n 번째 부반송파에 할당된 사용자 색인지수

이다. α 는 “water-filling” 레벨을 의미하며, 부반송파들 사이에 분배된 전력의 전체 합은 항상 일정해야 하기 때문에, 다음 수식 (7)을 만족시켜야한다.

$$\sum_{n=1}^N q_n^* = Q \tag{7}$$

송수신 안테나가 각각 1개인 단일 안테나 시스템인 경우에 ($T=R=1$), 최적의 전력 배분 방법은 다음과 같은 “water-filling” 해법을 통하여 얻어 질 수 있다.

$$q_n^* = \left(-\frac{1}{\alpha} - \frac{N_0}{\lambda_{k_n}^{(1)}} \right)^+ = \left(-\frac{1}{\alpha} - \frac{N_0}{H_{k_n}^{(1)}} \right)^+ \tag{8}$$

여기서, $(x)^+ = \max(0, x)$ 이고, $\lambda_{k_n}^{(1)}$ 는 단일 안테나의 경우엔 $H_{k_n}^{(1)}$ 와 동일하다.

다차원 “water-filling” 알고리즘은 위와 같은 일반적인 “water-filling” 해법을 다중안테나 별로 다차원으로 확장하여 반복연산을 통하여 시스템의 전체 수신 용량을 최대화할 수 있도록 하는 최적의 전력분배방법을 찾는 것이다.

IV. 전산모의 실험

이번 장에서는 앞에서 언급한 제안 알고리즘의 모의 전산 실험결과에 대해 설명한다. 모의 전산 실험 파라미터는 표 1과 같으며, 각각을 설명하면 다음과 같다. 송수신 안테나 사이의 전송 채널은 6개의 다중 경로 성분을 갖는 레일리 페이딩 채널로 모델링 하였으며 각 다중 경로별 모델은 Clarke’s 의 균일 페이딩 모델을 사용하였다 총 사용자 수는 4명이며, 송수신 안테나는 각각 2개씩으로 가정 하였고, ($T=R=2$) 각 송수신 안테나들은 서로 상관관계가 없는 독립적임을 가정하였다. 전체 전송 전력은 1 W로 제한을 두었으며 백색잡음 전력 밀도 값은 -85 dBW/Hz 부터 -60dBW/Hz 사이로 가정하였다. 전체 대역폭 B 는 1 MHz로 하였으며 총 부반송파 개수는 64개로 가정하였다.

표 1. 모의전산 실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Number of subcarriers	64
Number of users	4
Number of antennas	2 by 2
Bandwidth	1 MHz
Transmit Power	1 W
Noise PSD	-60~ -85 dBW/Hz
BER	1e-3
SNR Gap	$-\log(5 \cdot \text{BER})/1.6$
Number of Multipaths	6
Each multipath component	Clarke’s fading model

1. 유니캐스트 시스템과 멀티 캐스트 시스템의 성능 비교

그림 3은 유니캐스트 시스템과 멀티캐스트 시스템의 총 수신 용량을 MIMO-OFDM 시스템에서 실험한 결과를 보여준다. 각 사용자들의 전송채널 이득차이가 없다고 가정했을 때 멀티캐스트 시스템에서는 4명의 사용자 모두가 동일한 콘텐츠를 제공받는다고 가정하였고, 유니캐스트 시스템

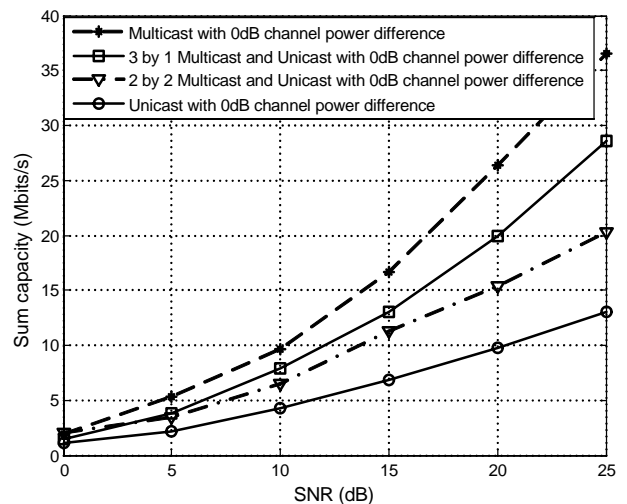


그림 3 유니캐스트와 멀티캐스트 시스템의 총 수신 용량 비교
Fig.3. Sum capacity comparison of multicast and unicast systems.

템에서는 4명 모두 서로 다른 콘텐츠를 제공받다고 가정하였다. 또한, '3 by 1'은 총 4명의 사용자 중 멀티캐스트 서비스를 제공받는 사용자가 3명이고, 유니캐스트 서비스를 제공받는 사용자가 1명임을 의미하며, 마찬가지로, '2 by 2'는 2명의 멀티캐스트 사용자와 2명의 유니캐스트 사용자가 존재할 때를 의미한다. 각각의 시나리오에 따른 전체 시스템의 총 수신 용량은 모든 사용자가 멀티캐스트 서비스를 받을 때가 유니캐스트 서비스만 받을 때와 혹은 혼합적인 형태의 서비스를 받을 때 보다 가장 우수함을 알 수 있었다. 이것은 멀티캐스트 시스템을 사용하는 사용자가 많을수록 하나의 부반송파에 실린 서비스 콘텐츠가 더 많은 수의 사용자에게 전달되기 때문에 전체 총 수신 용량이 늘어나기 때문이다.

2. 멀티캐스트 시스템에서 기존 방식과 제안 방식의 성능 비교

그림 4는 멀티캐스트 시스템에서 기존 자원할당 방식과 제안하는 자원 할당 방식의 총 수신 용량을 보여준다. 여기서는 4명의 사용자가 모두 동일한 콘텐츠를 제공받는 멀티캐스트 시스템을 가정하였으며, 각 사용자들 간의 평균적

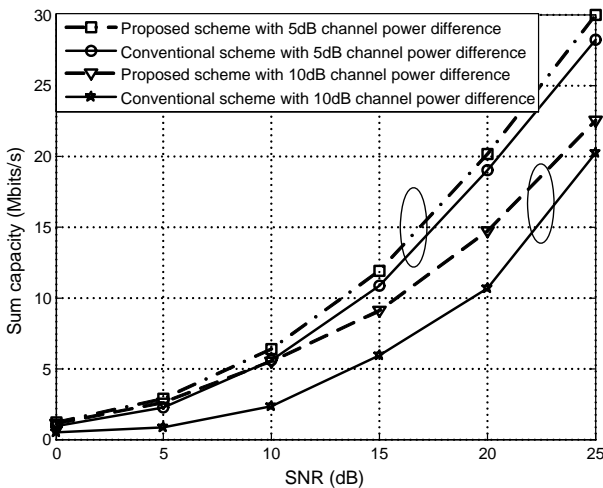


그림 4. SNR이 높을 때 제안 방식과 기존 방식의 멀티캐스트 시스템에서 총 수신 용량 비교
Fig.4. Sum capacity comparison of proposed scheme and conventional one in multicast system when the SNR is high

인 전송 채널 이득 차이가 각각 10dB 와 5dB 일 경우를 가정하여 모의 전산 실험을 하였다. 기존의 자원 할당 방법은 전체 수신용량의 최대화를 고려하지 않고, 단순히 전송 채널의 고유값이 가장 낮은 사용자를 기준으로 자원을 할당하는 방식이기 때문에 제안하는 방식에 비해 전체 총 수신용량이 낮음을 확인 할 수 있었다. 또한 사용자들 간의 전송채널 이득 차이가 크면 클수록 그리고 수신 신호 대 잡음비가 높을수록 제안하는 방식이 기존 방식에 비해 총 수신 용량이 우월해짐을 알 수 있다.

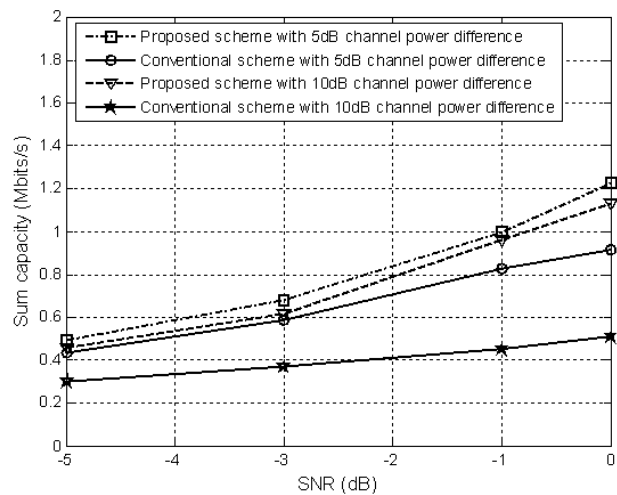


그림 5. SNR이 낮을 때 제안 방식과 기존 방식의 멀티캐스트 시스템에서 총 수신 용량 비교
Fig.5. Sum capacity comparison of proposed scheme and conventional one in multicast system when the SNR is low

V. 결 론

본 논문은 다중 안테나를 사용하는 OFDMA 시스템에서 멀티캐스트 서비스를 위한 부반송파 할당 및 전력분배 알고리즘을 제안하였다. 최적화 방식으로 전체 송신 전력 값이 일정하게 제한이 될 때 총 수신 용량을 최대화 할 수 있도록 하는 방식이며, 2단계의 과정을 거쳐 각각 부반송파 할당과 전력 분배가 차례로 이루어지도록 하여 복잡도를 낮추고 연산시간을 단축시킬 수 있도록 제안하였다. 모의 전산 실험 결과 제안하는 자원 할당 방식이 기존 방식에

비해 총 수신 용량 측면에서 우수함을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Y. Hui and K. H. Yeung, "Challenges in the migration to 4g mobile systems," IEEE Commun. Mag., vol. 41, pp. 54 - 56, December 2003.
- [2] U. Varshney, "Multicast over wireless networks," Communications of the ACM, vol. 45, pp. 31 - 37, Dec. 2002.
- [3] L. J. Cimini and N. R. Sollenberger, "OFDM with diversity and coding for advanced cellular internet services," in Proc. Globecom'1997. IEEE, Nov. 1997, pp. 305 - 309.
- [4] J. Jang and K. B. Lee, "Transmit power adaptation for multiuser ofdm systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 21, no. 2, February 2003.
- [5] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, et al., "Multiuser ofdm with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 17, pp. 1747 - 1758, Oct. 1999.
- [6] Z. Shen, J. G. Andrews, and B. L. Evans, "Adaptive resource allocation in multiuser ofdm systems with proportional rate constraints," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 4, no. 6, pp. 2726 - 2737, Nov. 2005.
- [7] Y. J. Zhang and K. B. Letaief, "Cross-layer adaptive resource management for wireless packet networks with ofdm signaling," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 11, pp. 3244 - 3254, November 2006.
- [8] T. M. Cover, "Broadcast channels," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-18, no. 1, pp. 2 - 14, Jan. 1972.
- [9] L. Li and A. Goldsmith, "Capacity and optimal resource allocation for fading broadcast channels. i. ergodic capacity," IEEE Trans. Info. Theory, vol. 47, no. 3, pp. 1083 - 1102, 2001.
- [10] H. Won, H. Cai, et al., "Multicast scheduling in cellular data networks," in Proc. Infocom 2007. IEEE, pp. 1172 - 1180, May 2007.
- [11] S. Yuk and D. Cho, "Parity-based reliable multicast method for wireless LAN environments," in Proc. IEEE VTC, pp. 1217 - 1221, 1999.

저 자 소 개



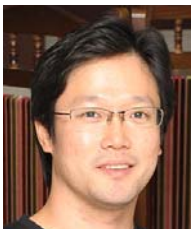
슈 지 안

- 2002년 7월 : 중국 중남민족대학교 전자정보공학과(공학사)
- 2004년 8월 : 전북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : OFDM 시스템, MIMO 시스템, 자원할당, Cooperative 통신 시스템



이 상 진

- 1997년 8월 : 연세대학교 전파공학과(공학사)
- 1999년 8월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 2006년 6월 : 삼성전자 책임연구원
- 2008년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사(공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사후연구원
- 주관심분야 : 디지털 통신, 4G, 휴대이동 방송, 멀티미디어 방송



강 우 석

- 1998년 2월 : 연세대학교 전파공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학석사)
- 2000년 3월~2008년 2월 : LG전자 선임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : Relay 통신 시스템, Cooperative 통신 시스템, MIMO 시스템

저 자 소 개



서 종 수

- 1975년 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
- 1983년 : Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과(공학석사)
- 1988년 : Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과(공학박사)
- 1975년 ~ 1981년 : LG정밀 중앙연구소
- 1987년 ~ 1989년 : IDC, Canada 책임 연구원
- 1990년 ~ 1992년 : 삼성종합기술원 수석 연구원
- 1992년 ~ 1995년 : CAL, Canada 책임 연구원
- 1995년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
- 주관심분야 : 디지털 통신, 방송시스템, CDMA, OFDM, MIMO