

OFDM 시스템에서의 인접 셀 간의 간섭을 줄이기 위한 스케줄링 알고리즘

A Scheduling Algorithm to reduce inter-cell interference in OFDM Systems

이태락*, 우혁**, 이동준**

Tae-Rak Lee*, Hyuk Wu** and Dong-Jun Lee**

요 약

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 인접 셀 간 간섭을 줄이기 위한 새로운 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 스케줄링을 할 때에 셀 별로 서로 다른 부채널 할당 순서를 적용하며 정수계획법을 이용하여 인접한 셀 간의 간섭을 최소화시키는 파라미터를 도출하며 이에 기반하여 스케줄링을 수행하는 방식이다. 시스템 시뮬레이션을 통하여 제안한 방식의 성능을 도출하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 스케줄링 알고리즘은 기존의 알고리즘들에 비해서 평균 전송율 외에 사용자별 공정성 측면에서 개선이 되고 이로 인해서 가입자 QoS 지원을 더 강화할 수 있음을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a new scheduling algorithms in OFDM systems to reduce inter-cell interference. The proposed algorithm applies different subcarrier allocation sequences for different cells which is optimized through integer programming to minimize inter-cell interference. System level simulation is executed to derive the performance of the proposed algorithm. Simulation results show that the proposed scheduling algorithm improves user fairness as well as throughput compared with previous algorithms and therefore improves support of user QoS.

Key words : minimize inter-cell interference, OFDM systems, scheduling algorithms, integer programming, QoS

I. 서 론

이동통신 시스템은 90년대 이래 폭발적인 성장세를 거듭해오고 있다. 통신기술의 발달로 그에 따른 사용자들의 요구도 다양해지고 있다. 예전에는 단순히 데이터를 전송하는 것만이 사용자들의 목적이었

다면, 최근에는 데이터, 음성, 영상 등의 다양한 종류의 트래픽을 빠르게 전송하기를 원한다. 따라서 트래픽의 종류에 따른 다양한 QoS(Quality of Service)의 제공이 필요하게 되고, 미래의 무선통신 시스템에서는 이런 다양한 QoS를 보장하기 위해서 그에 적합한 스케줄링 알고리즘이 필요하게 된다.

* 삼성전자(Samsung Electronics Co. Ltd.)

** 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부(School of Electronics, Telecommunications and Computer Engineering, Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 이태락

· 투고일자 : 2010년 7월 13일

· 심사(수정)일자 : 2010년 7월 14일 (수정일자 : 2010년 8월 20일)

· 게재일자 : 2010년 8월 30일

최근 광대역 셀룰라망 통신을 위한 표준들을 보면 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식에 근간을 두고 있다. 광대역 채널에서는 페이딩이 시변하는 특성과 더불어, 주파수 축에서의 페이딩 변이가 시스템 성능에 영향을 미치게 된다. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 고속의 송신 신호를 다수의 직교하는 협대역 부반송파로 다중화 시키는 변조 방식이다[1]. 고속의 전송률을 가지는 데이터 열을 낮은 전송률을 가지는 많은 수의 데이터 열로 나누고, 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다. 즉, OFDM은 데이터 열을 여러 개의 부 채널로 동시에 나란히 전송하는 다중 반송파 전송방식의 특별한 형태로 볼 수 있다. 각 부반송파 파형은 시간축 상으로 서로 간섭을 일으키지 않도록 직교한다. 따라서 OFDMA 기술에서는 어느 특정 부반송파에 대해서 셀 내부 간섭은 없으나 인접 셀 간의 간섭의 영향은 크게 나타날 수 있다.

광대역 채널에서는 페이딩의 시변하는 불규칙한 전파 전송 환경 때문에 완벽한 셀 계획은 어려우며 셀 내에서 전파 수신이 어려운 음영지역이 나타나게 된다. 또한 셀 경계 부근에서는 단말의 전파 수신 감도가 나빠진다. 이런 현상에 가장 큰 영향을 미치는 것이 바로 인접 셀 간의 간섭이다. 다른 셀에서 동일한 부반송파를 사용하는 단말이 있다면 이것은 치명적인 간섭으로 작용을 하게 된다. 특히, 셀 경계 부근에 위치한 단말들끼리 서로 같은 부 채널을 사용하면 단말과 자기 셀 기지국과의 거리와 단말과 인접 셀 기지국과의 거리가 거의 비슷하기 때문에 신호의 세기와 간섭의 세기가 거의 동일하게 된다. 그래서 이런 경우에는 아주 심각한 간섭을 발생시켜 전파 수신이 어려운 음영지역이 발생하게 된다. 이러한 간섭의 세기는 단말의 전송 세기와 위치에 크게 관련이 있다. 다른 셀에 위치하면서 같은 부 채널을 사용하는 단말의 전송 세기가 강하면 그만큼 간섭의 세기도 강해지고, 다른 셀에 위치하면서 같은 부 채널을 사용하는 단말이 자기 셀의 기지국과 가까이 위치하면 역시 간섭의 세기도 강해진다[6].

한편 CDMA 셀룰라 망에서 간섭 최소화를 위한 전력제어에 관한 연구는 기존에 많이 연구되었지만,

OFDM 시스템에서 인접 셀 간의 간섭을 줄이기 위한 방안에 대한 연구는 드물었다. 본 논문에서는 단말의 위치에 따른 인접 셀 간의 간섭의 영향을 분석하고, 그래프 이론을 이용하여 모델링하고, 인접 셀 간의 간섭을 최소화 할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 주요 OFDM 스케줄링 알고리즘을 소개한다. 3장에서는 단말의 위치에 따른 부반송파 할당으로 인접 셀 간의 간섭을 최소화할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 알고리즘들 간의 성능을 분석 및 비교한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 스케줄링 알고리즘

OFDM 전송기술은 페이딩 채널의 지연 확산보다 큰 CP (Cyclic Prefix)를 사용하여, 다중 경로 페이딩 및 ISI (Inter-Symbol Interference)에 대하여 효율적인 전송률을 얻을 수 있는 전송 기술이다. OFDMA 기술에서는 부반송파들과 시간 슬롯들이 스케줄링을 통해서 각 단말들에게 할당이 된다. OFDM 기술에서 각 부반송파들의 생성을 위해서 각각의 전송주파수를 발생시키는 것이 필요하다. 실제로는 각각의 부반송파들의 아날로그 생성 대신에 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 통해서 같은 효과를 만들어낸다. 즉, 전송 측에서는 IFFT를 하여서 모든 부반송파들에 해당하는 신호를 생성하고 수신 측에서는 FFT (Fast Fourier Transform)를 수행하여 자신의 수신신호를 복조 하게 되는 것이다. 이때에 송신 측과 수신 측 사이에 다중 전송 경로가 존재하며 이것에 의해서 수신 성능이 영향을 받게 된다. 고정된 길이의 OFDMA 프레임은 하향 링크 (Down Link) 프레임과 상향링크 (Up Link) 프레임으로 구성된다. 광 대역 RF 대역폭은 수백에서 수천 개의 부반송파로 나누어지며, 부반송파의 수는 OFDM FFT 크기와 같다. 부채널은 여러 개의 부반송파가 모여서 구성되는데, 이것이 스케줄러가 다룰 수 있는 최소 자원단위가 된다. TDD (Time Division Duplexing) 시스템은 연속적인 하향 스트림이나 상향 스트림을 제공하지 않으므로, 채널 피드백

은 매 프레임 주기마다 전송될 수 있으며, 채널 스케줄링은 채널 피드백 주기인 매 프레임마다 수행이 가능하다. 즉, 매 프레임마다 단말이 어떤 심볼에 어떤 부채널을 사용할 것인지를 스케줄링 하는 것이다. 아래와 같이 여러 스케줄링 방식들이 존재한다.

RR (Round Robin) 스케줄링 방식이란 분류된 여러 큐에다가 각각 보낼 수 있는 기회를 차례로 주는 방식으로써, 모든 순서가 차례로 계속되고, 후에 다시 첫 번째 것이 기회를 가지게 되며, 이 과정이 반복되는 스케줄링 기법을 말한다. 즉, 주어진 부채널에 대해서 모든 사용자들이 공평하게 돌아가면서 한 번씩 할당을 받는 방식이다.

MR (Max Rate) 스케줄링 방식은 항상 가장 큰 SINR (Signal-to-Noise Ratio)을 가진 사용자에게 우선으로 할당을 하는 방식이다. t번째 스케줄링 시간에 l번째 부채널에서 서비스를 받게 될 사용자를 결정하는데, 순간 성능이 가장 좋은 사용자를 선택한다. 이와 같은 방식은 사용 시스템 전체의 전송율은 최대를 유지할 수 있지만 항상 채널상태가 좋은 사용자에게만 스케줄링의 기회가 주어지고 그 외에 채널상태가 좋지 못한 사용자들에게는 스케줄링의 기회가 주어지지 못한다.

PF (Proportional Fairness) 스케줄링 방식은 사용자들 간의 공평성을 고려한 방식으로 우선순위를 결정하는 방법은 다음 식과 같다.

$$n_l^* = \arg \max_n \frac{R_{n,l}(t)}{T_{n,l}(t)}. \quad (1)$$

$R_{n,l}(t)$ 은 n번째 사용자의 l번째 부 채널에서의 t번째 스케줄링 시간에 순간 데이터 전송률 이고, $T_{n,l}(t)$ 은 t번째 스케줄링 시간까지의 평균 데이터 전송률이다. 즉, PF 방식은 사용자의 평균적인 채널 환경에 비하여, 현재 순간적인 채널 환경이 향상되었을 때 우선순위를 부여하는 방식이다[2,3].

앞에서 언급한 RR, MR, PF 알고리즘은 가장 널리 알려진 기본적인 알고리즘들이다. 그리고 PF 알고리즘의 경우 실제 환경에서도 사용 중인 알고리즘이다. 최근에는 이런 기본적인 알고리즘들 외에도 인접 셀 간의 간섭을 고려한 알고리즘, 계층간 최적화나 게임 이론 등을 이용한 다양한 알고리즘들이 나오고 있다.

먼저, cross-layer 스케줄링의 알고리즘의 경우는 MAC 계층에서 응용 계층에서의 QSI(Queue State Information) 와 물리 계층에서의 CSI(Channel State Information)를 동시에 고려한 스케줄링 알고리즘이다[4].

다음은 게임 이론을 이용한 스케줄링 알고리즘이다[4]. 이 문제의 경우는 각 사용자들의 전송 세기를 컨트롤 하여 시스템 전체적인 전송 세기를 줄이고자 하는 방식이다. 각각의 사용자들은 다른 사용자들의 전송 세기와는 상관없이 자기 자신의 전송 세기를 최소화 하고자 하는데, 이런 형태의 문제를 NCG(Non-Cooperative Game)이라고 한다.

다음은 인접 셀 간의 간섭을 고려한 스케줄링 알고리즘 이다[5]. OFDM에서 가장 심각한 영향을 미치는 인접 셀 간의 간섭을 줄이기 위해서 다양한 전송 파워 할당과 부채널 할당 관련 알고리즘들이 있다. 이 문제의 경우 단말들에게 부채널을 할당 할 때 FH (Frequency Hopping) 방식을 이용하면서 동시에 전송 파워도 조절 하여 인접 셀들 간에 간섭을 줄이는 알고리즘이다.

마지막으로 그래프 이론을 이용한 방식이 있다. 그래프 이론은 그래프의 특성을 가지고, 특정 집단 내 대상들 간의 관계를 그래프로 나타낸 수학적 구조이다. 여기에서 말하는 그래프라는 것은 노드 (node) 와 두 노드를 연결하는 선 (edge)으로 구성되어 있다. 즉, 각각의 노드들은 어떤 특성을 가지고 있고, 노드들 사이에 어떤 특정한 관계가 성립할 때 노드들 사이에 선을 연결하는 것이다. 이 때 노드들 사이에 관계의 특성에 따라 여러 종류의 선을 사용할 수 있다. 그리고 노드 역시 특성에 따라 여러 종류를 가질 수 있다. 이런 그래프 이론은 통신에서 주파수 할당 문제에도 적용될 수 있다[7]. 단말들의 위치에 따라 단말들 간의 간섭 관계를 이용하여 노드들의 위치에 따른 간섭 그래프를 생성한다. 이렇게 간섭 그래프를 생성하면, 거기에 따른 penalty 값이 부여된다. 여기서 생성된 penalty 값과 부채널 사용 상태를 가지고 선형계획법 형태로 문제를 정의할 수 있다[8,9]. 이 문제의 경우에는 모든 값들이 정수 값을 가지므로, 정수계획법이라고 할 수 있다. 정수계획법의 경우 LP (Linear Programming) relaxation을 통해서 Branch &

Bound 알고리즘을 사용하여 LP와 유사한 방법으로 문제를 해결할 수 있다.

그런데, 간접 그래프를 이용한 문제의 경우 실제 환경에 적용을 하면, 실제 환경에서는 단말의 수와 부채널의 수가 너무 많기 때문에 변수들이 너무 많아진다. 시스템 전체의 모든 상황을 다 고려할 경우 이 문제는 너무 복잡해지게 된다. 결국 NP-hard 형태의 문제가 된다. 그리고 실제 환경에서 기지국이 다른 셀에 있는 모든 단말들의 정보를 알 수가 없기 때문에 실제 시스템에서는 실현이 불가능하다. 그래서 이 문제를 풀기 위해서는 많은 시간과 고성능의 시스템이 필요하다. 그러지 않고 이러한 문제를 풀기 위해서는 local search 알고리즘이나 여러 개의 sub-problem 형태로 문제를 나누는 식의 알고리즘들이 필요하다. 그래서 global problem은 문제를 해결하는 방법과 자세한 결과들은 참고문헌을 참고 하도록 한다[10]. 그 대신에, 이 문제를 local problem으로 재정의해 해서 살펴보도록 한다.

III. 제안하는 스케줄링 알고리즘

그래프 이론을 이용해서 구할 수 있는 최적의 부채널 할당 문제는 글로벌 문제로써 모든 셀의 기지국들이 서로 다른 셀의 단말의 정보를 모두 알고 있다는 전제하에 해결 가능한 문제이다. 그러나 실제 환경에서는 서로 다른 셀에 있는 모든 단말의 정보를 안다는 것이 불가능하기 때문에 우리는 로컬 문제로 바꾸어서 생각해 보기로 한다. 로컬 문제에서는 각 셀마다 독자적으로 각자의 부채널 할당 방식에 의해서 부채널을 할당한다.

제안한 알고리즘은 인접한 셀이 6개라고 가정할 때에 이들 인접 셀들의 간섭을 모두 고려하여 인접한 모든 7개의 셀들 간에 서로 다른 부채널 할당 방식을 사용해야 한다. 그래서 7개의 부채널 할당 방식을 정의하고 각각의 셀들에게 부채널 할당 방식을 부여한다. 부채널 할당 방식을 부여하는데 있어서도 인접한 셀들이 최대한 서로 겹치지 않고, 서로 다른 부채널 할당 방식을 사용할 수 있도록 인접한 셀들이 서로 같은 부채널 할당 방식을 사용할 경우 penalty를 부여하는 penalty 함수를 이용해서 정수계획법 형태로 문

제를 정의하여 페널티를 최소화 할 수 있는 최적의 셀 별 부채널 할당 방식을 구해서 스케줄링을 한다. 셀 배치 방법은 다음 최적화 문제의 해이다.

$$\begin{aligned} \min & \sum_{c,d \in C, s,t \in S} p_{cdst} a_{cdst} \\ \text{s.t.} & \sum_{s \in S} x_{cs} = 1 \quad \forall c \in C \\ & x_{cs} + x_{dt} \leq 1 + a_{cdst} \quad \forall c,d \in C, s,t \in S \\ & x_{cs} \in \{0,1\} \quad \forall c \in C, s \in S \\ & a_{cdst} \in \{0,1\} \quad \forall c,d, \in C \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 p_{cdst} 는 셀 c가 부채널 할당 방식 s를 사용하고, 셀 d가 부채널 할당 방식 t를 사용했을 때의 penalty 값이다. 그 값은 c와 d가 서로 인접한 셀이고 같은 부채널 할당 방식을 사용하면 10이고, 나머지 경우에는 0이다. a_{cdst} 는 셀 c가 부채널 할당 방식 s를 사용하고, 셀 d가 부채널 할당 방식 t를 사용하는 상태를 나타낸다. 그 값은 사용을 하면 1이고, 그렇지 않으면 0이다. 결국, 그 값은 x_{cs} 와 x_{dt} 의 관계로부터 나오게 되는데, 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$a_{cdst} = \begin{cases} 1 & \text{if } x_{cs} = x_{dt} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

x_{cs} 는 셀 c가 부채널 할당 방식 s를 사용하는 상태를 나타내고, x_{dt} 는 셀 d가 부채널 할당 방식 t를 사용하는 상태를 나타내며, 그 값은 역시 사용을 하면 1이고, 그렇지 않으면 0이다. 위 문제의 목적함수는 전체 penalty 즉, 같은 부채널 할당 방식을 사용하는 셀 간의 부채널들의 인접한 정도를 나타낸다. 이 값을 최소화함으로써 전체 셀 간의 부채널들의 인접한 정도를 최소화 할 수 있는 것이다. 첫 번째 제약 조건은 모든 셀은 부채널 할당 방식 목록 중 하나만을 사용할 수 있음을 나타낸다. 두 번째 제약조건은 셀 c가 부채널 할당 방식 s를 사용하고, 셀 d가 부채널 할당 방식 t를 사용하면 a_{cdst} 가 1이 되어야 함을 나타내는 제약 조건이다. 세 번째와 네 번째 제약조건은 x_{cs} 와 a_{cdst} 는 0 또는 1의 값을 가져야 한다는 조건이다. 이렇게 문제를 정의하면 이것은 정수계획법 문제이다. 그러면, 인접한 셀들 간에 동일한 부채널 할당 방식을 사용하지 않도록 각 셀마다 부채널 할당

방식을 정할 수가 있다.

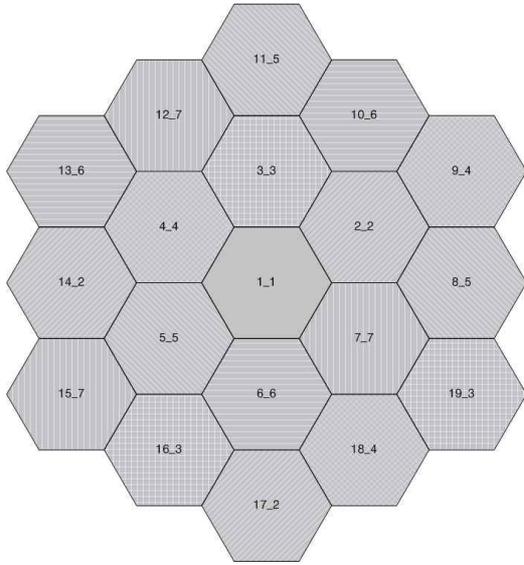


그림 1. 19셀에서 셀 별 부채널 할당 방식 배치.
Fig. 1. Subchannel allocation in 19 cell model.

그림 1은 19개의 셀이 있는 경우에 최적의 셀 별 부채널 할당 방식 사용 배치도이다. 그림에서 1_1은 1번 셀이 1번 서브채널 할당방식을 사용한다는 뜻이다. 그러면 각 그룹의 부채널 할당 방식은 다음과 같다. 각 셀마다 부채널이 N개가 존재한다면, 각 셀마다 부채널을 할당하는 인덱스의 시작점을 균등하게 7개로 나누어 부채널 할당을 시작하는 지점을 각각 1, N/7, 2N/7, ..., 6N/7 에서 각자 부채널 할당을 시작하는 것이다. 이때 부채널을 할당하는 순서는 각 셀에서 기지국으로부터 거리가 가까운 단말부터 우선으로 한다. 그러면 인접한 셀들 간에 셀 가장자리에 있는 단말들끼리는 서로 다른 부채널을 사용할 확률이 높아지게 된다. 이렇게 각 셀마다 부채널을 할당한 다음에는 각 셀에서 자기 셀의 단말들이 인접한 셀들로부터 받는 간섭을 계산한다. 여기서 간섭을 계산하는 방법은 global problem과 같다. 그런데, global problem에서는 전체 모든 단말들 사이의 간섭을 계산했다면, 여기서는 자기 셀의 단말들이 다른 셀의 단말들로부터 받는 간섭의 영향만을 계산하는 것이다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\sum_{v \in E_s} \sum_{w \in E} \sum_{f \in F, g \in F} p_{vwfg} z_{vwfg} \quad (4)$$

여기서 E_s 는 자기 셀의 모든 단말들의 집합이다. 즉, 자기 셀의 단말과 다른 모든 단말들 사이의 간섭의 영향을 계산한 것이다.

한편 이런 식으로 부채널 할당을 정했을 때에 자기 셀의 모든 단말들이 목표로 하는 SINR을 만족하면 상관없다. 하지만, 목표로 설정한 SINR을 만족하지 못하는 단말이 있다면, 그 단말은 자기 셀에서 간섭의 영향을 작게 받는 단말과 부채널을 서로 바꾼다. 이렇게 하면, 성능이 좋았던 단말들의 성능은 떨어질 수 있으나 성능이 좋지 않았던 단말들의 성능이 올라가서 전체적으로 SINR 목표값을 만족하는 단말의 수는 늘어날 것이다. 그리고는 또 다시 간섭의 영향을 계산하고 목표 SINR을 만족하지 못하는 단말이 있다면, 부채널을 서로 바꾼다. 이렇게 반복을 통해서 간섭의 영향이 최소가 되도록 하는 것이다. 그림 2는 이것을 블록도로 표현한 것이다. 그리고 셀 가장자리에 있는 단말들은 서로에게 간섭 영향을 미치지 않기 때문에 양쪽에서 모두 부채널을 바꿀 경우 다른 부채널과의 충돌로 인해 간섭이 발생할 수 있다. 그래서 두 단말중 하나만 부채널을 변경할 수 있도록 각자의 부채널을 바꾸는 확률을 1/2로 하는 것이 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

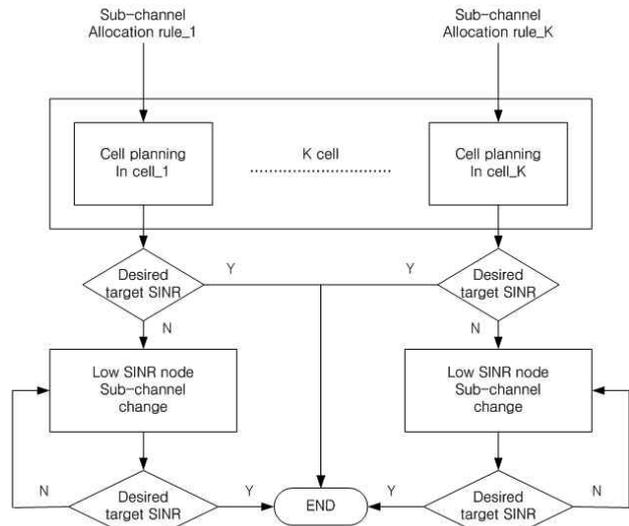


그림 2. 제안하는 부채널 할당 방식.
Fig. 2. Proposed subchannel allocation scheme.

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

이 논문에서 사용한 주요 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 시뮬레이션의 주요 환경 파라미터는 크게 드롭 파라미터, 채널파라미터, 시스템 파라미터 세 가지로 나누어 볼 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 드롭 파라미터
Table 1. Simulation drop parameters.

파라미터	값
셀 수	19
셀당 단말 수	15
시뮬레이션 프레임	200

표 2. 시뮬레이션 채널 파라미터
Table 2. Simulation channel model parameters.

파라미터	값
채널 모델	PED_B_3KMPH & VEH_B_10KMPH
페이딩 모델	JAKES
경로 손실 모델	MODIFIED_HATA_COST 231_SUBURBAN_MACRO

표 3. 시뮬레이션 시스템 파라미터
Table 3. Simulation system parameters.

파라미터	값
반송 주파수 [MHz]	2500
FFT 크기	512
대역폭 [MHz]	5
데이터 심볼수 (Uplink)	15
기지국 안테나 이득[dB]	15
기지국 케이블 손실 [dB]	17.5
기지국 기타 손실 [dB]	2.5
단말 안테나 이득 [dB]	10.0
기지국 안테나 높이 [m]	-1.0
단말 안테나 높이 [m]	32.0
기지국 Noise Figure [dB]	1.5
Thermal Noise Density [dBm]	-174
셀 반경 [m]	495
최소 기지국 단말 거리 [m]	35

채널모델은 단말이 3Km/h의 속도와 10Km/h의 속도로 이동하는 두 가지의 경우에 대해서 고려를 하였다. 시스템 파라미터에는 반송파 주파수, FFT크기,

대역폭, 심볼의 수, 부 채널의 수 기지국과 단말의 안테나 이득 및 높이, 기지국의 Noise Figure, 셀 반경, 단말의 최소 기지국으로 부터의 거리등이 있다. 여기서 단말의 최소 기지국으로 부터의 거리는 것은 단말이 기지국으로부터 너무 가까이에 위치하는 것을 막기 위해서 기지국으로부터 일정 반경이내에는 단말이 위치하지 못하도록 하는 것이다. 모듈레이션 기법은 여러 가지가 있으나 스케줄링 알고리즘의 차이에 따른 성능의 변화를 보는 것이기 때문에 16-QAM을 사용하였다. 프레임 길이는 5ms이다. 시뮬레이션 시간은 200 프레임으로 하였고 이 기간에는 단말들이 고정되어 있다고 보았다.

제안한 알고리즘의 검증을 위해서 다른 경우들과 비교해 보았다. 모두 네 가지 스케줄링 알고리즘에 대해서 시뮬레이션을 해보았다. 첫 번째는 기존의 PF 알고리즘, 두 번째는 제안하는 셀마다 다른 서브채널 할당 방식을 적용하는 SAR(Sub-channel Allocation Rule)알고리즘, 세 번째는 셀마다 다른 서브채널 할당 방식을 적용하고 SINR이 목표 SINR보다 낮을 경우에 무조건 부채널을 바꾸는 SAR & change 알고리즘, 그리고 마지막으로 셀마다 다른 서브채널 할당 방식을 적용하고 SINR이 목표 SINR보다 낮을 경우에 1/2의 확률로 부 채널을 바꾸는 SAR & change0.5 알고리즘이다.

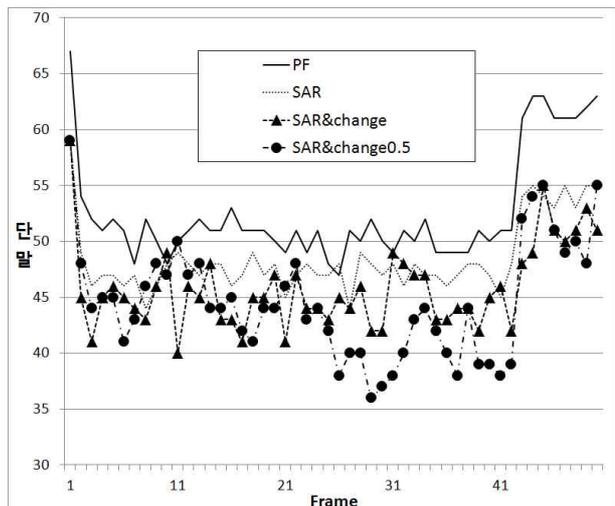


그림 3. 목표 SINR 16dB 이하의 단말 수의 시간에 따른 변화.

Fig. 3. Number of terminals below 16dB target SINR with respect to frame.

표 4. 목표 SINR 16dB 이하의 평균 단말 수
Table 4. Mean number of terminals below 16dB targetSINR.

스케줄링 방식	PF	SAR	SAR & change	SAR & change 0.5
목표 SINR(16dB) 이하의 단말 수	55.2	50.1	46.6	45.2

그림 3과 표 4는 스케줄링 방식별 목표 SINR 이하의 단말 수를 나타낸다. 시뮬레이션결과 PF, SAR, SAR & change, SAR & change 0.5 알고리즘 순으로 목표 SINR 이하의 단말 수가 점점 줄어드는 것을 볼 수 있다.

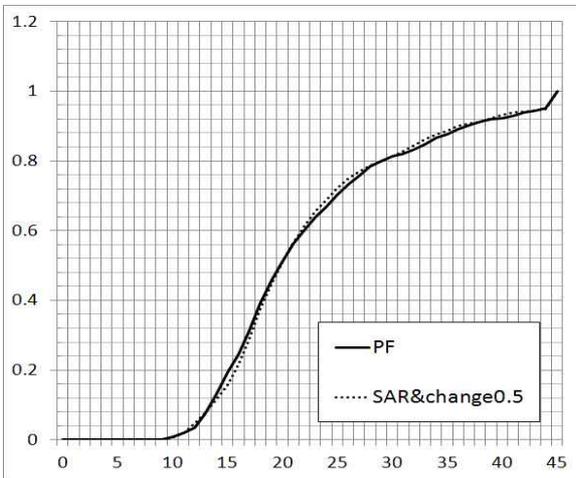


그림 4. 셀 내 단말들의 SINR의 CDF.
Fig. 4. CDF of SINR of terminals in a cell.

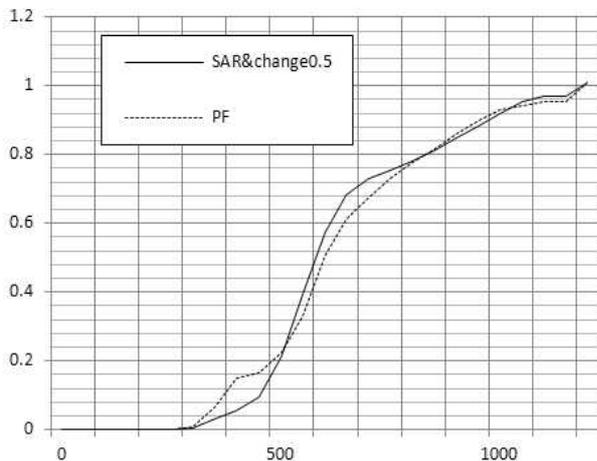


그림 5. 셀 내 단말들의 전송율의 CDF.
Fig. 5. CDF of throughput of terminals in a cell.

그림 4와 5는 각각 SINR과 셀 내 단말들의 전송율의 CDF (Cumulative Distribution Function)를 보인다. PF 알고리즘에 비해서 제안한 알고리즘이 SINR과 전송율이 낮은 부분보다 높은 부분에 좀 더 많이 분포하는 것을 볼 수 있다.

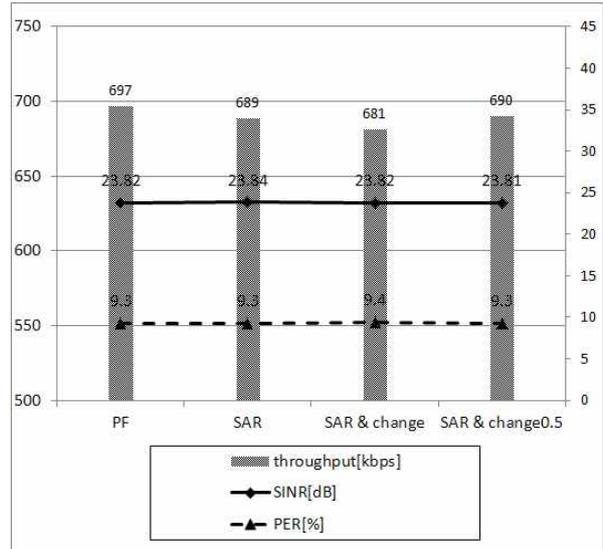


그림 6. 스케줄링 방식 별 평균 단말 전송율
Fig. 6. Average terminal throughput with respect to scheduling methods.

그림 6은 스케줄링 방식 별 셀 내 단말들의 평균 전송율을 나타낸 것이다. 스케줄링 방식 별로 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 먼저 전체적인 전송율 측면에서 보면, 기존의 PF 스케줄링 알고리즘에 비해서 제안한 알고리즘이 큰 차이를 보이지 않는다.

전체적인 평균 전송율, SINR, PER은 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘 사이에 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 공평성 측면에서 기존의 PF 스케줄링 알고리즘에 비해서 더 개선되었다고 볼 수 있다. 먼저 프레임 마다 목표 SINR을 만족하지 못하는 단말들의 수를 보면 PF, SAR, SAR & change, SAR & change0.5 순으로 작은 것을 알 수 있다. 기존의 PF 스케줄링 알고리즘에 비해 제안한 알고리즘이 일정 수준의 성능을 만족하는 단말의 수가 많다는 뜻이다. 즉, 일정 수준의 QoS를 요구하는 서비스를 제공할 수 있는 단말의 수가 많아진 것이다. 이런 현상은 SINR의 CDF를 통해서도 볼 수 있다. SINR의 CDF를 보면 PF 스케줄링 알고리즘에 비해서 SAR & change0.5 스케줄링 알고리즘의 SINR CDF 값이 SINR이 작은 쪽

에서는 값이 더 작다가 SINR이 올라갈수록 값이 더 커지는 것을 볼 수 있다. 단말 전송율의 CDF를 보면, 이와 같은 현상이 뚜렷이 들어난다. 제안한 알고리즘이 전송율이 낮은 쪽에서는 단말의 수가 적다가 전송율이 올라갈수록 단말의 수가 점점 많아지는 것을 볼 수가 있다. 결론적으로 전체적인 평균 전송율 측면에서는 기존의 알고리즘과 비교했을 때 크게 차이가 없다. 그러나 단말 하나하나의 성능을 보면, 성능이 좋지 않았던 단말들은 성능이 좋아지고 성능이 좋았던 단말들은 성능이 나빠지는 현상을 볼 수 있다. 그래서 전체적으로 목표로 요구하는 QoS를 만족하는 단말들이 많아진 것이다. 그래서 제안한 알고리즘을 이용한다면 기존의 스케줄링 알고리즘 보다 좀 더 많은 사용자들에게 QoS 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 상향링크의 스케줄링 알고리즘에 대해서 알아보고 단말들 사이에 간섭의 영향을 최소화 하여 특정 수준의 QoS를 만족하는 서비스를 제공할 수 있는 단말의 수를 늘릴 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다.

기존에 OFDM에서 사용하고 있던 PF 스케줄링 알고리즘에 비하여 제안한 알고리즘이 목표 SINR을 만족하는 단말들이 더 많은 것을 볼 수 있었다. 이것은 특정 QoS에 대해서 이를 만족하는 단말들이 많다는 것으로 좀 더 많은 사용자들에게 특정 서비스를 제공할 수 있다는 뜻이다. 결국, 셀 전체의 전송율은 큰 차이가 없는 반면, 공평성 측면에서는 개선이 되었다고 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-331-2006-1-D00371).

참 고 문 헌

- [1] R. Nee and R. Prasad, OFDM for wireless multimedia communications, Artech House, 2000.
- [2] A. Jalali, R. Padovani and P. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system," *IEEE VTC 2000-spring*.
- [3] H. Kim and Y. Han, "A proportional fair scheduling for multicarrier transmission systems," *IEEE Comm. Letters*, vol. 9, pp. 210-212, Mar. 2005.
- [4] V. K. N. Lau and Y.-K. R. Kwok, Channel adaptive technologies and cross layer designs for wireless systems with multiple antennas, John Wiley & Sons, Inc. 2006.
- [5] Z. Han, ZX. Ji and K. J. R. Liu, "Non-cooperative resource competition game by virtual referee in multi-cell OFDMA networks," *IEEE JSAC*, vol. 25, no. 6, Aug. 2007.
- [6] J. B. Park, Y. J. Sang, S-L. Kim and K. S. Kim, "Adaptive inter-cell interference management for downlink FH-OFDMA systems," ICACT 2008.
- [7] A. Eisenblatter, M. Grotchel and A. Koster, "Frequency planning and ramifications of coloring," ZIB-report 00-47, Dec. 2000.
- [8] A. Koster, S. Hoesel and A. Kolen, "The partial constraint satisfaction problem: facets and lifting theorems," *Operations Research Letters*, vol. 23, no. 3-5, Oct. 1998.
- [9] K. I. Aardal, S. Hoesel, A. Koster, C. Mannino and A. Sassano, "Models and solution techniques for frequency assignment problems," *ZIB-report 00-40*, Dec. 2001.
- [10] R. Montemanni, D. H. Smith and S. M. Allen, "Lower bounds for fixed spectrum frequency assignment," *Annals of Operations Research*.

이 태 락 (李胎洛)



2007년 2월 : 한국항공대학교
정보통신공학과(공학사)
2009년 2월 : 한국항공대학교
정보통신공학과(공학석사)
2009년 2월 ~ 현재: 삼성전자 연구원
관심분야 : WiBro

이 동 준 (李東俊)



1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및
전자공학과(공학사)
1996년 2월 : 한국과학기술원 전기 및
전자공학과(공학석사)
2000년 8월 : 한국과학기술원
전자전산학과(공학박사)
2000년 9월~ 2005년 2월: 삼성전자 책임연구원
2005년 3월~ 현재: 한국항공대학교 조교수
관심분야 : P2P, 무선자원 관리, 무선인지통신시스템

우 혁 (禹赫)



2007년 2월 : 한국항공대학교
정보통신공학과(공학사)
2009년 8월 : 한국항공대학교
정보통신공학과(공학석사)
2009년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교

정보통신공학과 박사과정

관심분야 : P2P, AdHoc