

효율적 망 자원 이용을 위한 부하 인지 셀 선택 기법

박재성*

Load-Aware Cell Selection Method for Efficient Use of Network Resources

Jaesung Park*

요약

단말이 망에서 제공받는 데이터 전송율은 단말과 셀 사이의 SINR 뿐만 아니라 셀이 단말에게 할당하는 무선 자원양에 의해서도 결정된다. 따라서 단말이 SINR만을 기준으로 접속할 셀을 선택하면 비록 최대 SINR을 제공하는 셀에 접속한다고 하더라도 최대 서비스를 제공받지 못할 수도 있다. 또한 네트워크의 입장에서는 SINR을 기준으로 접속 셀이 선택되므로 일부 셀들은 다수의 단말이 접속하는 반면 주변의 다른 셀들은 접속 단말의 수가 적게 되어 셀간 부하 불균형 상태가 발생될 확률이 커지고 이로 인해 이동 통신 시스템의 자원 이용율이 낮아지게 된다. 이에 따라 본 논문에서는 SINR뿐만 아니라 셀의 부하를 고려한 접속 셀 선택 방법을 제안한다. 이를 위해 접속 셀 선택 지표로 SINR 대신에 최대 데이터 전송율과 최소 전송율 단절 확률을 제시한다. 제안 기법의 성능 평가를 위한 모의실험 결과 최대 데이터 전송율을 이용한 셀 선택 방법은 타 기법에 비해 시스템 효율과 셀간 부하 균등 측면에서 향상된 성능을 보였으며 최소 전송율 단절 확률을 이용한 셀 선택 방법은 타 기법에 비해 단말의 평균 전송율 단절 확률 측면에서 향상된 성능을 보였다.

Key Words : Cell selection, maximum SINR, maximum data rate, minimum outage probability

ABSTRACT

Downlink (DL) data rate for a MS is influenced by not only the signal to interference and noise ratio (SINR) but also the amount of radio resources allocated to the MS. Therefore, when a MS uses SINR to select a cell to associate with, it cannot receive the fastest DL data rate all the time if it associates with a congested cell. Moreover, the SINR-based cell selection may result in cell loads unbalance, which decreases the efficiency of a network. To address the issue, we propose a novel cell selection method by considering not only SINR but also a cell load which are combined into two cell selection criteria. One is the maximum achievable data rate and the other is the minimum outage probability. The simulation results show that the cell selection based on the maximum achievable data rate is superior to the SINR-based method and the method using the minimum outage probability in terms of the system efficiency and the fairness in cell loads while the cell selection method based on the minimum outage probability is superior to the others in terms of the outage probability of a MS.

* 본 연구는 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2011-0007076)의 지원과 경기도의 경기도지원협력 연구센터(GRRC) 사업[(GRRC 수원2015-B2)]의 일환으로 수행되었습니다.

* First and Corresponding Author: The Univ. of Suwon Department of Information Security, jaesungpark@suwon.ac.kr, 중신회원
논문번호: KICS2015-09-282, Received September 1, 2015; Revised October 30, 2015; Accepted October 30, 2015

I. 서 론

단말 (MS: Mobile Station)이 네트워크에 접속하기 위한 셀을 선택하는 방법은 네트워크 자원의 효율성과 사용자의 체감 통신 품질에 중요한 영향을 미친다^[1]. 단말과 셀 사이의 무선 링크의 신뢰성 및 단말이 셀로부터 얻을 수 있는 데이터 전송율을 나타내기 위해 사용되는 최우선 지표는 신호대 간섭 및 잡음 비 (SINR: Signal to Interference and Noise Ratio)이다. 즉, 단말은 네트워크로부터의 체감 품질을 최대화 하기 위해 이웃 셀들 중에서 SINR이 최대인 셀에 접속한다. 그러나 SINR 뿐만 아니라 셀이 단말에게 할당하는 무선 자원의 양도 셀이 단말에게 제공하는 하향 링크 (DL: DownLink) 데이터 전송율에 중요한 영향을 미친다. 셀은 무선 자원 효율 최적화 등과 같은 무선 자원 할당 목적에 따라 다양한 스케줄러를 이용하여 자신에게 접속한 단말들에게 무선 자원을 할당한다. 그러나 셀의 무선 자원은 한정되어 있으므로 사용되는 스케줄러의 종류와 무관하게 셀에 접속한 단말의 수가 증가할수록 각 단말에게 할당되는 평균 자원 양은 감소한다. 따라서 단말이 SINR이 최대인 셀에 접속하더라도 해당 셀을 이용하는 단말의 수가 많다면 SINR이 조금 낮지만 가용 무선 자원이 보다 많은 이웃 셀에 접속할 때 보다 낮은 데이터 전송율을 얻을 수 있다. 또한 네트워크 측면에서 SINR 기반 셀 선택 기법은 셀들 사이의 부하 불균형을 야기한다. SINR은 가변 무선 채널 특성에 의해 결정되지만 일반적으로 셀 사이트와 단말 사이의 거리가 SINR에 중요한 영향을 미친다. 따라서 일부 지역에서 단말의 밀도가 높은 경우 이들은 특정 셀에 접속할 가능성이 크며 반면에 주변 셀들에 접속하는 단말의 수는 감소한다. 이 경우 특정 셀은 혼잡하여 이에 접속한 단말의 체감 품질은 감소하게 되며 전체 네트워크의 무선 자원은 효율적으로 이용되지 못하게 된다.

이에 따라 셀의 부하를 고려한 접속 셀 선택 기법의 중요성이 강조되고 있다^[2-6]. 특히, 이종 셀들이 혼재하는 상황에서 각 셀들의 가용 주파수 자원과 서비스 제공 방법이 상이해 짐에 따라 셀 부하를 고려한 셀 선택 기법의 중요성은 증가하고 있다^[7,8]. [16]에서는 사용자의 효율적인 셀 선택을 위해 네트워크에서 브로드캐스트하는 부하 정보를 이용하는 하이브리드 게임 기법이 제안되었다. [17]에서는 접속 방식이 상이한 네트워크의 유용성 최대화를 위해 단말이 자신의 과거 셀 선택 이력과 이로 인한 단말의 유용성을 기반으로 한 셀 선택 기법을 제안하였다. [18]에서는

서비스 품질을 고려한 캐리어 집성을 위해 셀 선택 기법, 무선 자원 스케줄링, 전력 제어를 모두 고려한 최적화 문제가 제안되었다. 그러나 셀의 부하는 시공간적으로 변화하므로 셀의 부하를 미리 결정하기 어려우며 셀은 접속 단말의 수가 적더라도 가용 무선 자원을 모든 단말에게 할당하므로 셀 부하를 정의하기도 어렵다^[9]. 이에 따라 본 논문에서는 네트워크 자원의 효율적인 이용을 위해 SINR 뿐만 아니라 셀의 부하를 고려한 부하 인지 셀 선택 기법을 제안한다. 이를 위해 셀의 부하를 나타내기 위한 지표로 최대 데이터 전송율과 최소 전송율 단절 확률 (outage probability)을 제시한다. 또한 이들 기법을 통한 부하인지 셀 선택 방법을 제안하고 모의실험을 통해 제안 기법의 우수성을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 시스템 모델을 기술하고 3장에서는 제안한 두 가지 셀 선택 지표와 이를 이용한 셀 선택 방법을 제시한다. 4장에서는 모의실험을 통해 각 기법들 사이의 성능을 정량적으로 비교 평가하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 LTE 네트워크에서와 같이 셀이 단말에 할당할 수 있는 최소 주파수-시간 자원인 PRB (Physical Resource Block) 단위로 셀의 자원을 정의한다. 즉, 셀의 자원양은 셀에서 할당할 수 있는 PRB의 수를 의미한다. 이동 통신네트워크를 구성하는 셀의 집합을 Γ , 셀 j 의 송신 전력을 P_j , 단말 i 와 셀 j 사이의 채널 이득을 G_{ij} 로 표기하면 i 와 j 사이의 SINR S_{ij} 는 다음과 같이 주어진다^[10].

$$S_{ij} = \frac{P_j G_{ij}}{\Delta_f N_0 + \sum_{k \in \Gamma - \{j\}} P_k G_{ik}} \quad (1)$$

식 (1)에서 Δ_f 는 PRB의 대역폭을 나타내며 N_0 는 AWGN의 세기를 나타낸다. 주파수 효율은 S_{ij} 에 대한 증가함수인 $f(S_{ij})$ 에 의해 결정된다. 네트워크에서 사용하는 주파수 대역에 따라 다양한 $f(S_{ij})$ 가 결정될 수 있으나 본 논문에서는 새년의 $f(S_{ij})$ 를 이용한다. 즉, SINR이 S_{ij} 이고 한개의 PRB가 할당된 경우 얻을 수 있는 데이터 전송율은 다음과 같이 결정된다.

$$r_{ij} = \log_2(1 + S_{ij}). \quad (2)$$

단말에게 할당되는 자원양은 셀을 공유하는 단말의 수, 단말이 요구하는 서비스 품질, 셀과 단말 사이의 채널 품질 등을 고려한 스케줄러에 의해 결정된다. 예를 들어 셀 j 의 최대 PRB 수가 B_j 이고 j 를 사용중인 단말의 집합이 M_j 인 경우 단순한 라운드-로빈 방식의 스케줄러는 각 단말에게 평균적으로 $B_j/|M_j|$ 만큼의 자원을 할당한다. 그러나 셀을 이용하는 단말의 수가 증가할수록 다중 사용자 다이버시티 이득이 증가하게 되며 이로 인해 각 단말에게 할당되는 자원양은 $B_j/|M_j|$ 보다 많아진다. 다중 사용자 다이버시티 이득은 채널 모델에 따라 달라질 수 있으며^[11,12] 본 논문에서는 [13]에서 제안한 스케줄러를 가정한다. [13]에서는 Rayleigh 페이딩 채널에서 단말들이 각 스케줄링 구간 동안 전송하는 데이터 양의 집합이 연속적이며 비유동적인 (stationary) 경우 셀 j 가 비례적 공정 스케줄러 (proportional fair scheduler)를 사용한다면 j 가 단말 i 에게 할당하는 평균 자원양은 다음과 같이 주어진다. 이를 보였다.

$$b_{ij} = \frac{B_j}{|M_j|} \sum_{k=1}^{|M_j|} \frac{1}{k}. \quad (3)$$

따라서 i 의 평균 데이터 전송율은 다음과 같이 결정된다.

$$R_{ij} = b_{ij}r_{ij}. \quad (4)$$

III. 제안 기법

3.1 부하인지 셀 선택 지표

사용중인 단말이 한 개라고 하더라도 셀은 자신의 모든 자원을 접속 단말에게 사용하기 때문에 일정시간 사용된 자원양을 기준으로 셀의 부하를 정의하는 것은 셀의 부하 상황을 평가하는 방법으로 적절하지 않다^[9]. 따라서 본 논문에서는 SINR과 셀의 부하를 모두 고려한 셀 선택 지표로 최대 하향링크 데이터 전송율과 전송율 단절 확률 두 가지를 제안한다.

3.1.1 최대 하향링크 데이터 전송율

단말에게 제공되는 하향링크 데이터 전송율은 셀과 단말의 SINR과 셀이 단말에게 할당하는 자원양 (i.e.

PRB의 수)에 따라 식 (4)와 같이 R_{ij} 로 결정된다. 셀이 혼잡할수록 셀 내 단말에게 할당되는 자원양은 감소하며 이로 인해 R_{ij} 는 감소한다. 따라서 본 논문에서는 R_{ij} 를 셀의 부하를 나타내는 척도로 이용하며 단말 i 는 자신의 이웃 셀들 중에서 R_{ij} 가 최대인 셀에 접속하려 한다. 즉, i 의 이웃 셀들의 집합을 C_i 로 표기하면 i 는 다음 식을 만족하는 j^* 을 접속 셀로 선택한다.

$$j^* = \operatorname{argmax}_{j \in C_i} (R_{ij}). \quad (5)$$

3.1.2 전송율 단절 확률

단말이 접속할 셀을 선택하는 단계에서 단말은 자신과 자신의 이웃 셀들 사이의 신호세기를 측정할 수 있으나 이들 셀들에 대한 부하 정보를 알 수 없으므로 일반적으로 단말은 SINR을 기준으로 셀을 선택한다. 비록 인터넷 사용과 같은 최선형 서비스를 이용하는 단말이라 하더라도 네트워크로부터 일정 수준의 데이터 전송율을 제공받지 못하면 사용자는 연결 요청을 다시 하거나 네트워크의 사용을 포기하므로 이런 현상의 방지를 위해서 단말은 최소한의 데이터 전송율 Q_m 을 제공할 수 있는 셀들을 우선적으로 선택해야 한다.

전송율 단절 확률은 셀이 단말에게 제공하는 데이터 전송율이 Q_m 이하일 확률 $O_{ij} = \Pr\{R_{ij} < Q_m\}$ 으로 정의한다. 채널 모델들에 따라 다양한 O_{ij} 가 계산될 수 있으나 본 논문에서는 [14]에서 유도된 전송율 단절 확률을 이용한다. [14]에서는 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하고 있고 주파수 재사용 계수가 1이고 간섭 조정 기능이 없고 기지국들 사이의 백혈망에서의 지연이 무시할만큼 작은 경우 전송율 단절 확률은 다음과 같이 유도된다는 것을 보이고 있다.

$$O_{ij} = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta_f N_0}{G_{ij} P_j} \Psi_{ij}\right) \cdot \prod_{k \in \Gamma - \{j\}} \left(\frac{1/(G_{ik} P_k)}{\Psi_{ij}/(G_{ij} P_j) + 1/(G_{ik} P_k)} \right). \quad (6)$$

식 (6)에서 $\Psi_{ij} = 2^{Q_m/R_{ij}} - 1$ 이며 전송율 단절 확률은 사용자가 요구하는 최소 전송율 Q_m 이 증가할수록 커지며, 단말에게 할당되는 자원의 양 R_{ij} 가 클수

록 작아진다. 전송한 바와 같이 R_{ij} 는 S_{ij} 와 b_{ij} 에 의해 결정되므로 주어진 S_{ij} 에 대해 b_{ij} 가 커질수록 O_{ij} 는 작아진다. 따라서 O_{ij} 는 셀의 부하를 나타내는 척도가 되며 단말은 이웃 셀 중에서 O_{ij} 가 최소인 셀을 접속 셀로 선택한다. 즉, 단말 i 는 다음과 같은 셀 \hat{j} 를 접속 셀로 선택한다.

$$\hat{j} = \underset{j \in C_i}{\operatorname{argmin}} (O_{ij}). \quad (7)$$

3.2 부하인지 셀 선택 방법

본 절에서는 셀의 부하를 고려한 셀 선택 방안을 제안한다. 제안 기법에서 셀들은 이웃 셀들과의 주기적인 정보 교환을 통해 상호 상태 정보를 유지하고 있으며 셀들 사이의 정보 교환을 위한 백홀 네트워크(예. LTE 네트워크의 X2 인터페이스 등)는 혼잡이 없음을 가정한다. 또한 단말은 자신이 진행중인 데이터 세션의 품질을 저해하지 않는 범위에서 주기적으로 S_{ik} 를 갱신하며 일정 시간 τ 동안 S_{ik} 의 시간 의존성은 없는 것으로 가정한다.

그림 1은 부하인지 셀 선택 절차를 보여준다. 단말 i 는 자신의 이웃 셀들의 집합 C_i 중에서 SINR이 최대인 셀 j 에게 연결 요청을 한다. 이때 단말은 자신의 이웃 셀의 식별 정보와 S_{ik} ($k \in C_i$) 및 부하인지 셀 선택 기준 L_{ij} (i.e., $L_{ij} = R_{ij}$ 혹은 O_{ij})을 j 에게 전달한다. 셀 j 는 셀 $k \in C_j$ 가 자신의 이웃 셀로 등록되어 있는 경우 셀 k 의 정보와 S_{ik} 정보를 이용하여 i 가 k 로부터 서비스를 받을 경우 L_{ik} 를 계산한다. 반면에 j 가 k 의 상태 정보를 가지고 있지 않은 경우 j 는 $k \in C_i$ 에게 L_{ik} 를 요청한다. k 는 S_{ik} 와 자신의 부하를 기준으로 i 를 수용하게 될 경우 L_{ik} 를 계산하고 결과를 j 에게 통보한다. j 는 L_{ik} ($k \in C_i$)를 취합하

여 최적의 L_{ik} 인 k 를 i 의 접속 셀로 선택한 후 i 와 k 에게 결과를 통보한다. 이 후 i 는 k 에게 접속하며 동일한 과정은 셀 재선정 과정에도 이용될 수 있다.

IV. 성능 평가

제안 기법의 성능 평가를 위해 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 위해 3GPP에서 제시한 도시 매크로(urban macro) 셀 환경을^[15] 가정하여 네트워크 토폴로지는 19개의 사이트로 구성하였으며 각 사이트 당 3개의 정육각형 모양의 섹터를 설정하였고 각 사이트의 인접 사이트는 6개로 설정하였다. 이외 주요 시스템 파라미터는 [15]에 따라 표 1과 같이 설정하였다.

또한 셀 사이트와 단말과의 거리가 d 인 경우 경로 손실은 $128.1 + 37.6 \log_{10}(\max(d, 0.035))$ 와 같이 발생되며, 표준편차가 8dB인 log-normal shadowing 채널을 가정하였다. 이 후 균일분포에 따라 단말들을 네트워크 토폴로지 내에 위치시키면서 각 단말이 각각의 셀 선택 지표를 이용하여 셀을 선택한 후 결과를 비교하였다.

그림 2는 시스템이 제공하는 전체 하향 링크 데이터 전송율의 합을 시스템 내의 단말의 수에 따라 도시한 것이다. 셀 내 단말의 수가 작은 경우에도 셀은 자신의 PRB를 이들에게 모두 할당한다. 그러나 r_{ij} 는 S_{ij} 에 대해 로그 단위로 증가하므로 단말에게 많은 PRB를 할당하더라도 주어진 S_{ij} 에 대해 데이터 전송율 R_{ij} 의 증가는 미비하다. 반면에 단말의 수가 많아지면 S_{ij} 의 분포가 다양해지며 이로 인한 $\sum_{i \in M_j} R_{ij}$ 는 증가한다. 예를들어 단일 단말이 셀의 모든 자원을 사용하는 경우 셀이 제공하는 데이터 전송율 $B_j S_{ij}$

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. System parameters

parameter	value
system bandwidth	5MHz
PRB bandwidth (Δ_f)	180KHz
inter-site distance	500m
Tx power of a site	46dBm
antenna gain of a site	15dBi
antenna gain of a MS	2dBi
noise power (N_0)	-111.45dBm
frequency reuse factor	1

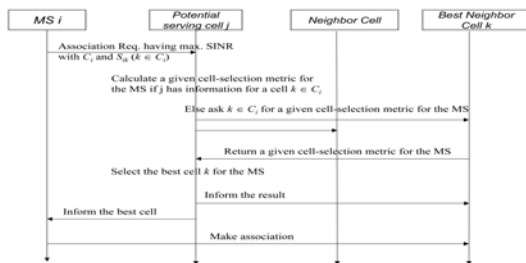


그림 1. 셀 부하를 고려한 셀 선택 기법
Fig. 1. Load-aware cell selection method

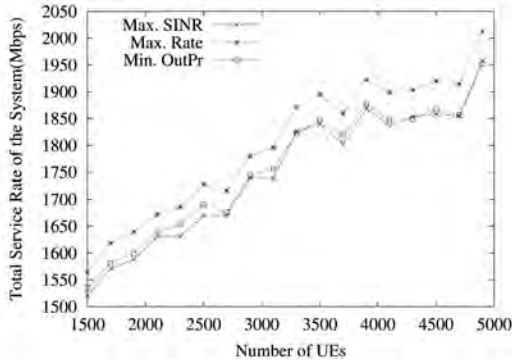


그림 2. 시스템의 전체 서비스율
Fig. 2. Total service rate of the system

보다는 다수의 단말이 다양한 위치에 분포되어 있고 셀이 이들에게 제공하는 데이터 전송율의 총 합 $\sum_i b_{ij} S_{ij}$ 이 크기 때문에 단말의 수에 따라 시스템의 전체 데이터 전송율은 증가한다.

각 기법별로 비교해보면 동일 조건에서 최대 데이터 전송율을 기반으로 한 셀 선택 기법이 다른 두 기법에 비해 시스템의 서비스율을 증가시키는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 원인은 각 셀 선택 기법별로 셀들이 지원하는 단말 수에 차이가 발생하기 때문이다. 모의실험에서 균일분포에 따라 단말의 위치를 결정하였기 때문에 이론적으로 각 셀들에 접속하는 단말의 수는 동일해야 한다. 그러나 셀 간 간섭과 채널 환경의 동적 변화에 의해 SINR 기반 기법은 셀들 사이의 단말 수가 불균등해진다. 반면 각 단말이 자신의 주변 셀들 중에서 최대의 데이터 전송율을 얻을 수 있는 셀들을 선택하면 셀들 사이의 단말의 수가 균등하게 분배된다. 셀 간 단말 수의 균등성 여부를 정량적으로 비교하기 위해 그림 3에 Jain의 공정성 인덱스 (fairness index)를 도식하였다. 시스템 내의 셀 수를 N_c 라고 하면 각 셀이 지원하는 단말 수 측면에서 Jain의 공정성 인덱스 J_F 는 식 (8)과 같이 주어지며 J_F 가 1에 가까울수록 공정성이 크다.

$$J_F = \frac{1}{N_c} \frac{\left(\sum_{j=1}^{N_c} M_j\right)^2}{\sum_{j=1}^{N_c} M_j^2} \quad (8)$$

그림에서 보는 바와 같이 최대 전송율 기반 셀 선택 기법의 J_F 가 다른 기법들에 비해 크기 때문에 최대 전송율 기반 셀 선택 기법의 경우 타 기법에 비해 각 셀들이 S_{ij} 의 분포가 유사한 같은 수의 단말들을

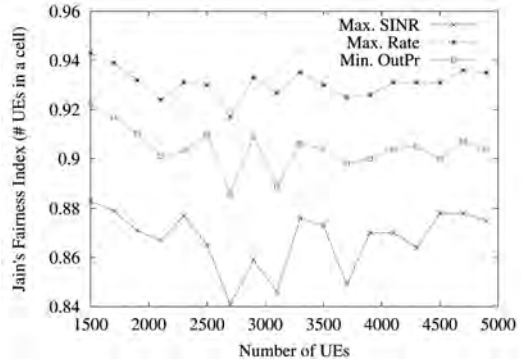


그림 3. 셀이 지원하는 단말의 수 측면에서 Jain의 공정성 인덱스
Fig. 3. Jain's fairness index in terms of the number of MS in a cell

서비스하게 된다. 따라서 다른 기법들에 비해 최대 전송율 기반 기법의 경우 시스템이 제공하는 서비스율이 크며 이로 인해 각 단말에게 제공되는 평균 데이터 전송율 역시 향상된 것을 볼 수 있다 (그림 4).

그림 5는 각 셀 선택 기법별로 시스템에서 제공받는 데이터 전송율이 최소인 단말의 데이터 전송율 (m_r)을 비교한 결과를 보여준다. 단말의 수가 증가할수록 각 셀이 지원하는 단말의 수가 증가하기 때문에 단말에게 제공되는 평균 자원의 양은 감소하고 이로 인해 m_r 은 감소한다. 그러나 이 경우에도 최대 데이터 전송율을 이용한 셀 선택 기법은 셀이 서비스하는 단말의 수가 셀들 사이에 차이가 크지 않으므로 다른 두 셀 선택 지표를 이용한 기법에 비해 상대적으로 높은 m_r 을 제공했다. 반면에 최소 전송율 절단 확률을 이용한 셀 선택 기법의 경우 J_F 는 SINR 기반 기법에 비해 높았으나 m_r 측면에서는 SINR 기반 기법보다

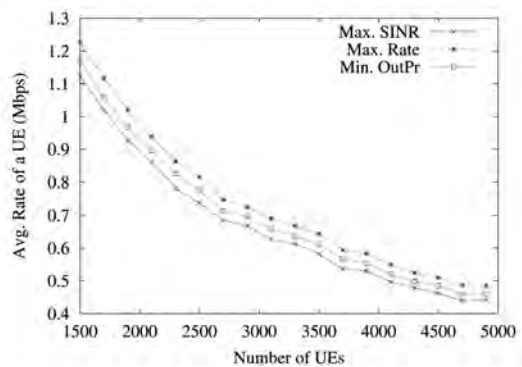


그림 4. 단말이 제공받는 평균 데이터 전송율
Fig. 4. Average data rate received by a MS

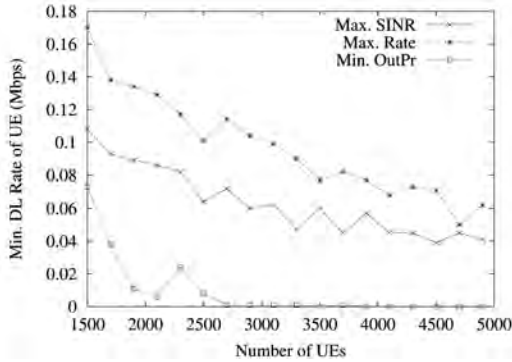


그림 5. 시스템으로부터 제공받는 데이터 전송율이 최소인 단말의 데이터 전송율
 Fig. 5. The minimum data rate received from the system

낮은 성능을 보였다.

그림 6은 각 셀 선택 기법별로 단말의 평균 전송율 단절 확률을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 최소 전송율 단절 확률을 이용한 셀 선택 방법의 경우 단말들의 평균 O_{ij} 측면에서 가장 우수한 성능을 보였다. 최소 전송율 단절 확률을 이용한 셀 선택 기법에서 단말이 네트워크로부터 요구하는 최소 전송율 Q_m 이 높을수록 보다 많은 자원이 단말에게 할당되어야 한다. 각 셀의 자원은 한정되어 있으므로 Q_m 이 증가하고 단말의 수가 증가할수록 모든 단말의 요구사항을 만족시키기 위한 자원이 부족하게 되며 이로 인해 단말의 평균 전송율 단절 확률은 증가한다. 그러나 그림 7에 보인바와 같이 셀들의 평균 전송율 단절 확률 측면에서 Jain의 공정성 인덱스는 최대 데이터 전송율을 셀 선택 지표로 이용한 경우가 최소 전송율 단절 확률을 이용하는 경우보다 다소 높았다.

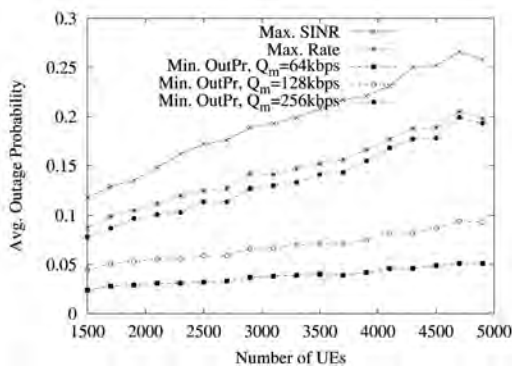


그림 6. 단말의 평균 전송율 단절 확률
 Fig. 6. The average outage probability

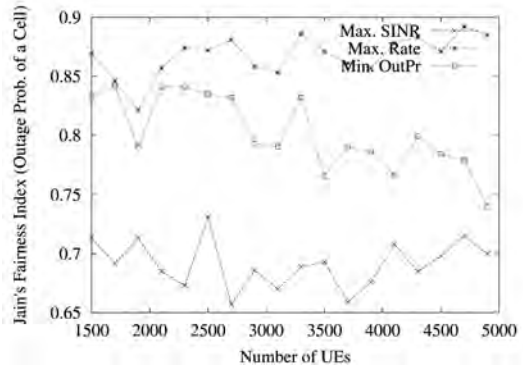


그림 7. 셀의 전송율 단절확률 측면에서 Jain의 공정성 인덱스
 Fig. 7. Jain's fairness index in terms of outage probability of a cell

V. 결 론

사용자에게 제공되는 데이터 전송율은 SINR과 셀 부하에 의해 영향을 받으므로 본 논문에서는 이들을 동시에 고려한 두 가지 셀 선택 지표를 제시하고 이를 이용한 부하 인지 셀 선택 기법을 제안하였다. 제안 기법은 SINR과 셀 부하를 동시에 고려하므로 네트워크 전체의 자원 이용율을 향상시키며 이로 인해 각 단말에게 제공되는 데이터 전송율을 증대시킨다. 또한 제안 기법은 셀들 사이의 부하 차이를 작게 만들기 때문에 네트워크 자원의 효율성을 증대시킨다.

References

- [1] S. Horrich, S. Elayoubi, and S. Ben Jemaa, "On the impact of mobility and joint RRM policies on a cooperative WiMAX/HSDPA network," in *Proc. IEEE WCNC 2008*, pp. 2027-2032, Apr. 2008.
- [2] R. Combes, I. El Bouloumi, S. Senecal, and Z. Altman, "The association problem in wireless networks: a policy gradient reinforcement learning approach," in *Proc. CoRR*, arXiv preprint arXiv:1306.2554, 2013.
- [3] J. G. Andrews, S. Singh, Q. Ye, X. Lin, and H. S. Dhillon, "An overview of load balancing in HetNets: Old myths and open problems," *IEEE Wirel. Commun. Mag.*, vol. 21, no. 2, pp. 18-25, Apr. 2014.
- [4] C. S. Yang and C. G. Kang, "QoS-Oriented

- user association in HetNet with a backhaul constraint,” *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 654-663, Oct. 2014.
- [5] H. Y. Lee, J. Lee, J. B. Park, B. H. Ko, and K. S. Kim, “Distributed self-organized cell association for heterogeneous cellular networks,” *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 812-814, May 2015.
- [6] H. Lee, “Optimal cell selection scheme for load balancing in heterogeneous radio access networks,” *J. KICS*, vol. 37, no. 12, pp. 1102-1112, Dec. 2012.
- [7] Y.-P. Zhang, S. Feng, and P. Zhang, “Adaptive cell association and interference management in LTE-A small-cell networks,” in *Proc. IEEE VTC Fall 2013*, pp. 1-6, Las Vegas, NV, Sept. 2013.
- [8] S. Corroy, L. Falconetti, and R. Mathar, “Cell association in small heterogeneous networks: Downlink sum rate and min rate maximization,” in *Proc. IEEE WCNC 2012*, pp. 888-892, Apr. 2012.
- [9] P. Szilagy, Z. Vincze, and C. Vulkan, “Enhanced mobility load balancing optimization in LTE,” in *Proc. IEEE PIMRC 2012*, pp. 997-1003, Sept. 2012.
- [10] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
- [11] R. Combes, Z. Altman, and E. Altman, “Scheduling gain for frequency-selective rayleigh-fading channels with application to self-organizing packet scheduling,” *Elsevier Performance Evaluation*, vol. 68, no. 8, pp. 690-709, Aug. 2011.
- [12] R. Combes, S. E. Elayoubi, and Z. Altman, “Cross-Layer analysis of scheduling gains: Application to LMMSE receivers in frequency-selective rayleigh-fading channels,” in *Proc. IEEE WiOpt 2011*, pp. 133-139, May 2011.
- [13] H. J. Kushner and P. A. Whiting, “Convergence of proportional-fair sharing algorithms under general conditions,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 3, no. 4, pp. 1250-1259, Jul. 2004.
- [14] H. Boostanimehr and V. K. Bhargave, “Distributed and qoS-driven cell association in HetNets to minimize global outage probability,” in *Proc. IEEE Globecom 2014*, pp. 3665-3671, Dec. 2014.
- [15] 3GPP TR 36.942 version 8.2.0 Release 8, *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) System Scenarios*, V8.2.0, Jul. 2009.
- [16] S. E. Elayoubi, E. Altman, and M. H. Zwi Altman, “A hybrid decision approach for the association problem in heterogeneous networks,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1-5, Mar. 2010.
- [17] M. Singh and P. Chaporkar, “An efficient and decentralized user association scheme for multiple technology networks,” in *Proc. IEEE WiOpt*, pp. 460-467, May 2013.
- [18] P.-R. Li, C.-W. Kuo, K.-T. Feng, and T.-S. Chang, “Joint base station association and radio resource allocation for downlink carrier aggregation in LTE-Advanced systems,” in *Proc. IEEE VTC Spring*, pp. 1-5, May 2015.

박재성 (Jaesung Park)



2001년 2월 : 연세대학교 전기,
전자공학과 박사
2001년~2002년 : University of
Minnesota (PostDoc.)
2002년~2005년 : LG전자 선임
연구원
2015년~현재 : 수원대학교 정보
보호학과 교수

<관심분야> 네트워크 자원 관리, 설계, 및 분석