

논문 2016-53-1-1

# 이기종 무선망에서 에너지 효율 개선을 위한 망간 협력 기반 스케줄링 기법

( A Cooperative Energy-efficient Scheduling Scheme for  
Heterogeneous Wireless Networks )

김 훈\*

( Hoon Kim<sup>®</sup> )

## 요 약

무선망에서 소모 전력, 전송률, 통신 반경 등 서비스 요구 사항에 따라 상호 다른 망의 발전이 진행되어 왔다. 최근 차세대 무선망 환경에서는 초고속, 초저지연, 저전력 등 서비스 요구 사항이 보다 다양해지고 높은 수준으로 설정되고 있으며, 이를 만족하기 위한 방안으로 이기종간 효과적인 연동에 대한 연구에 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 이기종 무선망 환경에서 망간 연동을 통해 데이터 서비스가 이루어지는 상황에서 에너지 효율성을 반영하는 스케줄링 기법을 제안한다. 특히 이기종 무선망 환경에서 사용자 형평성을 고려하면서 데이터 수율을 개선하는 비례균등 스케줄링 방식을 기반으로 에너지 효율에 관한 요소를 반영하는 문제를 고려하고 에너지 효율을 개선함과 동시에 사용자 형평성, 데이터 수율을 모두 감안하는 에너지 효율적인 비례균등 스케줄링 방식을 제안한다. 또한 모의실험을 통해 제안된 방식으로 비례균등 달성도를 유지하면서 에너지 효율이 개선됨을 보인다.

## Abstract

Wireless networks have evolved to the appearance of heterogeneous wireless networks(HetNet), where various networks provide data services with various data rates and coverage. One of technical issues for HetNet is efficient utilization of radio resources for system performance enhancement. For the next generation wireless networks, energy saving has become one of key performance indices, so energy-efficient resource management schemes for HetNet need to be developed. This paper addresses an energy-efficient scheduling for HetNet in order to improve the energy efficiency while maintaining similar system throughput as existing scheme, for which an energy-efficient scheduling that energy efficiency factor is included. Simulation results show that the proposed scheme achieves the reduction of energy consumption while admitting limited range of throughput degradation in comparison with the conventional proportional fair scheduling.

**Keywords** : heterogeneous network, energy-efficiency, cooperative scheduling, proportional fairness

\* 정희원, 인천대학교 전자공학과

(Department of Electronics Engineering, Incheon National University)

※ 이 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

© Corresponding Author(E-mail : hoon@inu.ac.kr)

Received ; December 8, 2015      Revised ; December 17, 2015

Accepted ; December 30, 2015

## I. 서 론

다양한 망 종류가 혼재하는 무선통신 환경에서 망간 연동을 통해 시스템 용량을 개선하는 연구가 큰 관심을 받고 있다<sup>[1]</sup>. 많은 연구에서 망간 주파수 공유를 통해 주파수 효율을 개선하는 방안으로 망간 간섭을 완화하

면서 사용자 접속과 전송률 개선을 효과적으로 지원하는 방안이 제시된 바 있다<sup>[2~7]</sup>. 이와 같은 연구는 무선 자원할당 문제와 결부되어 수행되어 왔으며, 특히 이기종 망 환경에서 채널 정보를 바탕으로 시스템 수율을 최대화하기 위한 최적화 문제 기반 사용자 망 접속과 주파수 할당을 위한 기법이 제시되었다<sup>[2]</sup>. 아울러 간섭 조절 및 완화 기술과 연계된 망간 스케줄링 기법이 제안되었다<sup>[3]</sup>. 또한 무선인지 시스템 환경을 고려하거나 면허 및 비면허 대역 등 주파수 사용 시나리오에 따른 펌드셀 사용자의 성능 개선을 위한 전력제어, 스케줄링 기법 등에 대한 연구가 수행되었다<sup>[4~5]</sup>. 또한 시공간적 망의 부하 변화를 효과적으로 고려하여 망간 공유 대역의 비율을 조정하거나 간섭 제거나 완화, 부하 균형 등에 관한 방안이 제시되었다<sup>[6~8]</sup>. 이외에도 동적 주파수 접속 기술에 관한 연구 등 분산적 기법에 기반한 이기종 무선망에서 자원 분배 알고리즘이 제안된 바 있다<sup>[9]</sup>. 또한 위성망과 지상망의 효과적인 주파수 공유 방안에 대한 연구도 수행되었다<sup>[10]</sup>.

이와 같은 이기종 망 환경에서 시스템 성능 개선을 위한 주파수 할당과 협력 전송 방안에 대한 연구가 진행되어 왔음에 반해, 에너지 효율 개선에 목적을 둔 대한 연구는 상대적으로 미흡한 상황이다. 이기종 무선망에서의 주파수 공유를 통한 에너지 효율성에 대한 분석이 제시되었지만 구체적인 방안에 대한 연구는 미흡한 상태이다<sup>[11]</sup>. 특히 차세대 무선망에서 요구 사항으로 에너지 저감이 대두됨에 따라 이에 대한 고려 방안이 요구되며 스케줄링 기법에 이를 효과적으로 적용하여 이기종 무선망에서의 자원 할당이 보다 효율적으로 개선될 필요가 있다<sup>[12~16]</sup>.

본 논문에서는 이기종 무선망 환경에서 망간 연동을 통해 데이터 서비스가 이루어지는 상황에서 에너지 효율성을 반영하는 스케줄링 기법을 제안한다. 사용자 형평성을 고려하면서 데이터 수율을 개선하는 비례균등 스케줄링 방식이 제안되고 다중 전송망 적용에 관한 연구가 수행된 바 있다<sup>[17]</sup>. 본 논문에서는 이기종 무선망 환경에서 에너지 효율에 관한 요소를 반영하는 문제를 고려하여 에너지 효율을 개선함과 동시에 사용자 형평성, 데이터 수율을 모두 감안하는 에너지 효율적인 비례균등 스케줄링 방식을 제안한다. 아울러 모의실험을 통해 제안된 방식으로 사용자 데이터 전송률 성능에 저하가 낮게 유지되면서 에너지 저감 효과가 크게 개선됨을 보인다.

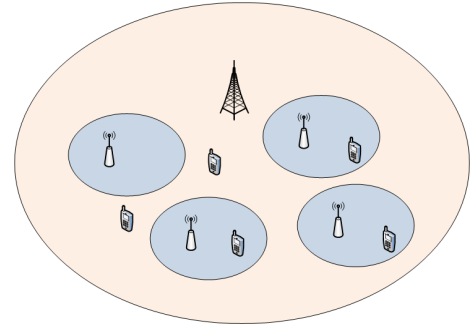
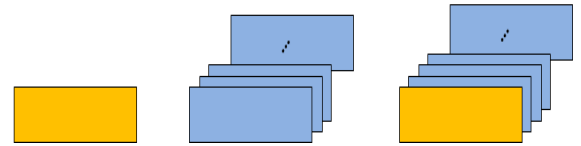


그림 1. 매크로셀/스몰셀 공존 이기종 무선망

Fig. 1. Heterogeneous Networks of Macro cell/small cell Coexistence.



(a) 매크로셀 단독 사용 (b) 스몰셀 사용 (c) 매크로셀·스몰셀 동시 사용

그림 2. 매크로셀/스몰셀 공존 이기종 무선망 주파수 공유 시나리오

Fig. 2. Heterogeneous Networks of Macro cell/small cell Coexistence.

## II. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 이기종 무선망은 각각 다른 서비스 반경과 전송 전력을 가지는 망의 혼재를 의미한다. 망의 종류로 크게 데이터 전송 용량이 상대적으로 낮은 반면 서비스 반경이 큰 매크로셀과 매크로셀 중앙으로부터 멀리 떨어져 있거나 경로 감쇄가 심한 지역에 초고속 데이터 서비스 제공을 목적으로 설치된 스몰셀을 고려한다. 아래 그림 1과 같이 매크로셀이 높은 전송 전력으로 전체 영역에 서비스를 제공하는 반면 스몰셀은 경로 감쇄 이득이 크면서 상대적으로 낮은 전력으로 초고속 데이터 서비스가 가능하다.

이와 같은 이기종 무선망에서 매크로셀과 스몰셀간 주파수 공유에 대한 문제가 존재한다. 이기종 무선망 환경에서 복잡하고 다양한 주파수 공유 시나리오가 가능할 수 있겠지만 본 논문에서는 비교적 단순한 그림 2와 같은 3가지 경우를 고려한다. 즉, 그림 2의 (a) 또는 (b)와 같이 공유 가능한 주파수 대역이 매크로셀과 스몰셀 중 하나의 망에 의해 사용되거나 (c)와 같이 매크로셀과 스몰셀이 동시에 사용하는 경우가 가능하다. 전자의 경우 망간 간섭이 발생하지 않으나 단일망에서만 데이터 전송이 가능하며, 후자의 경우 망간 간섭이 존재하나 다중망 동시 데이터 전송이 가능하다. 각 전

송 링크에 대한 채널 측정이 이상적임을 가정하고 망간 협력을 통해 스케줄링 시점에서의 채널 정보 교환이 가능함을 가정한다. 이와 같은 환경에서 그림 2의 3가지 공유 시나리오가 가능하며, 스케줄링과 연계되는 자원 할당 문제에 대한 고려가 요구된다. 그림 2에서 각 사각형은 해당 셀의 주파수 사용 여부를 의미하며 색에 따라 각각 매크로셀 및 스몰셀 사용으로 구분된다.

### III. 이기종 무선망 스케줄링 문제 및 제안 기법

#### 3.1 이기종 무선망 스케줄링 문제

스케줄링은 고유의 목적함수에 의해 구별될 수 있으며, 각기 다른 경로 이득의 여러 사용자에게 서비스 제공되고 고속의 에너지 효율적인 데이터 전송이 이루어 질 필요가 있음을 감안, 시스템 수율, 사용자 형평성, 에너지 효율 등을 반영할 수 있는 스케줄링 방식을 제안한다. 이를 위해 스케줄링에 관한 최적화 문제를 구성한다. 목적 함수는 매 스케줄링 시점마다 계산되며 이를 최대화 하는 자원 할당 방안이 스케줄링 방안으로 채택된다. 목적 함수의 분자는 비례균등 조건을 반영하여 사용자의 평균 수율에 로그를 취한 값의 합으로 하고 분모의 경우 에너지 효율성을 감안, 전체 기지국에서 소모되는 전력의 합으로 한다. 이와 같은 이기종 무선망 스케줄링 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$(P) \quad \max \frac{\sum_i \log R_i}{p_m + \sum_s p_s} \quad (1)$$

$$R_i = \frac{(T-1)R'_i + r_i}{T} \quad (2)$$

$$r_i = r_i^m + \sum_s r_i^s \quad (3)$$

(1)은 문제 P의 목적함수로 기존 비례 균등 스케줄링에 관한 시스템 이득 함수 식에 매크로셀과 스몰셀 소모 전력의 전체 합, 즉 시스템 전체의 소모 전력을 분모에 추가한 것이다.  $R_i$ 는 스케줄링 결과에 따라 해당 시점에서의 사용자  $i$ 의 평균 전송률이며,  $p_m$ ,  $p_s$ 는 각각 매크로셀과 스몰셀  $s$ 의 전송 전력을 의미한다. 이와 같은 정의를 통해 (1)에서 시스템의 전체 소모 전력 당이

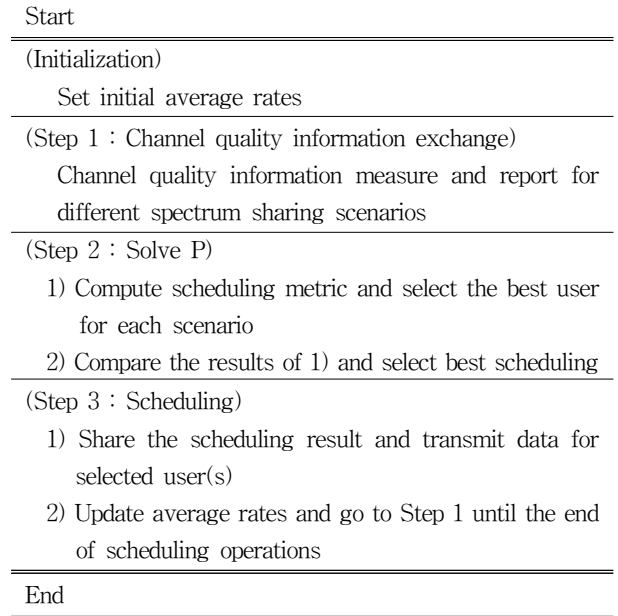


그림 3. 에너지 효율적 스케줄링 기법 동작  
Fig 3. Algorithm for Energy-efficient Scheduling Scheme.

득 함수가 시스템 이득 함수로 표현되며, 기존 비례 균등 식에서의 시스템 수율, 사용자 형평성 외에 에너지 효율이 보다 적극적으로 스케줄링 시스템 이득 함수에 반영된다. 기존 비례 균등 스케줄링은 문제 P의 목적함수에서 분자만이 반영된 것이다. (2)는 각 스케줄링에 따른 사용자  $i$ 의 평균 전송률을 구하는 식으로 평균 산출 구간  $T$ 에 대해 이동 평균값(moving average) 과 이전 시점의 스케줄링 결과에 따른 평균 전송률  $R'_i$  과 현 시점에서의 스케줄링 결과에 따른 순간 전송률  $r_i$  를 반영하여 계산된다. 또한 (3)은 각 스케줄링 결정에 따른 사용자  $i$ 의 순간 전송률  $r_i$ 산출에 관한 것으로 매크로셀로부터의 순간 전송률  $r_i^m$ 와 스몰셀  $s$ 로부터의 순간 전송률  $r_i^s$ 의 합으로 계산된다.

#### 3.2 이기종 무선망 스케줄링 기법

본 논문에서는 순방향링크 스케줄링을 고려하며, 제안하는 에너지 효율적 이기종 무선망 스케줄링 기법은 이기종 무선망 환경에서 채널 품질 정보 및 문제 P, 스케줄링 결정 결과에 대한 정보 교환에 기반하여 동작한다. 즉 문제 P를 구성하기 위해 먼저 각 링크의 전송 가능한 채널 품질 정보가 수집된다. 이를 바탕으로 매크로셀과 스몰셀간 주파수 공유 시나리오 따른 문제 P의 목적함수를 산출하고 가장 높은 값을 가지는 주파수 공유 시나리오 및 사용자 선택을 진행한다. 각 시나리오별 최적의 값을 가지는 스케줄링 결과를 구하고 다시

표 1. 모의실험 파라미터 값  
Table 1. Simulation Parameters.

파라미터	값
매크로셀 송신 전력	20W
스몰셀 송신 전력	100mW
백색잡음전력밀도	-174dBm/Hz
사용자 수	100~160
서비스 영역	10km×10km
매크로셀 수	1
스몰셀 수	4, 9, 16
채널 정보 추정 오차	0
모의실험 회수	10,000
평균 산출 구간(T)	20
노드 배치	매크로셀 : 중앙 스몰셀 : 등간격 정방형 사용자 : 임의 위치

그 중 가장 높은 값을 가지는 경우를 선택하여 해를 구할 수 있다. 이와 같은 결과를 각 망과 셀에 전달하여 해당 셀에서의 주파수 사용 여부와 사용자 선택을 진행하게 한다. 이와 같은 일련의 과정을 그림 3과 같이 요약한다. 초기화 단계에서 평균 데이터 전송률에 대한 초기값을 설정한다. 그리고 이어 채널 정보를 수집, 전달하며 문제 P를 구성하고 해를 도출한다. 도출된 해로부터 스케줄링에 필요한 결정을 하여 이를 해당 셀에 전달하고 셀에서 이에 따라 데이터 전송을 위한 사용자를 결정하고 전송한다.

#### IV. 모의 실험을 통한 성능 분석

##### 4.1 모의실험 환경

본 논문에서 제안된 이기종 무선망에서 에너지 효율 개선을 위한 수정 비례 균등 스케줄링 기법에 대한 성능을 분석한다. 표 1은 모의실험 파라미터와 해당 값을 나타낸다. 순방향링크 데이터 전송에 대해 고려하며, 매크로셀의 송신 전력을 20W, 스몰셀의 송신 전력을 100mW로 각각 설정한다. 매크로셀은 전체 영역의 정중앙에 위치하고 스몰셀은 정방형 모양으로 분포한다. 사용자 위치는 이동국은 전체 영역에서 임의로 위치로 배치된다. 경로 손실모델은 수식에 따라 산출되며 경로 손실 지수를 -4로 한다. 또한 산출되는 신호대간섭비 값과 Shannon 용량식을 이용 각 링크의 데이터 전송률

이 결정됨을 가정한다.

##### 4.2 성능 분석

이기종 무선망 스케줄링 기법에 대한 성능 분석을 실시한다. 성능 분석 지표로 매크로셀과 스몰셀의 소모 전력의 합을 의미하는 에너지 소모량을 둔다. 데이터 수율 및 사용자간 형평성에 대한 기준이 되는 비례균등 수치를 비교한다.

그림 4는 사용자 변화에 따른 두 스케줄링 방식의 시스템 전력 사용을 비교한 것이다. 비교 스케줄링 기법으로 기존 비례균등 스케줄링 수식을 이용하는 것과 제안된 에너지 효율적 비례균등 스케줄링 수식을 이용하는 것이다. 성능 지표로 제시된 전력 감소비(Pr)는 기존 비례균등 스케줄링에 사용된 수식에 따른 스케줄링을 적용한 경우의 소모 전력 대비 제안 방식의 에너지 효율 지표가 반영된 스케줄링을 적용한 경우의 전력 저감 효과를 나타낸다. 즉, 기존 방식에 따른 전력 소모를 P1, 제안 방식의 전력 소모를 P2라 할 때 PR는  $(P1-P2)/P1$ 의 평균치 계산 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 주어진 환경에 대해 제안 기법을 통해 전체 소모 전력이 크게 개선됨을 알 수 있다. 즉, 모의 실험에 적용된 사용자 수나 스몰셀 기지국 수에 따라 제안 방식으로 주어진 환경에 대해 30%~93% 수준의 시스템 소모 전력 저감 효과가 나타남을 보인다. 그림에서 보듯 사용자 수가 증가할수록 소모 전력의 감소 비율이 점차 줄어드는 현상을 보인다. 이는 사용자 증가로 스몰셀 영역 외의 매크로셀 반경의 사용자의 수가 높아짐에 따라 매크로셀의 활용 빈도가 높아지는 현상으로 이해될 수 있다. 매크로셀의 사용 빈도가 증가하면서 그만큼 높은 전력을 사용하게 되고 이로 인해 기존 방식 대비 전력 감소 효과는 줄어드는 효과로 볼 수 있다. 또한 사용자 수가 증가하면서 각 사용자에 대한 평균 데이터 전송률이 전반적으로 저하됨에 따라 스케줄링에서의 소모 전력에 대한 가중치가 상승하여 에너지 효율적인 선택의 가능성이 상승함에서도 기인한 것으로 분석된다. 아울러 스몰셀 기지국 수가 작은 경우 기지국 수가 많은 경우에 비해 전력 이득 비율이 아주 높게 나타난다. 이는 스몰셀의 수가 많아짐으로 인해 전체 소모 전력이 증가하여 전반적인 전력 저감 효과가 저하됨에 기인한 것으로 분석된다. 또한 스몰셀의 증가로 인해 사용자의 링크이득이 향상됨으로써 스케줄링에서 전송 전력이 결정 요인으로 차지하는 비중이 크지 않게 됨에 따른 현상으로도 이해될 수 있다.

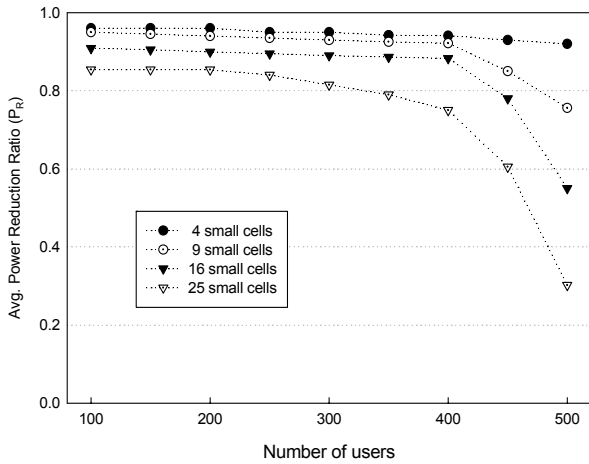


그림 4. 사용자 수에 따른 전력 감소 비(평균)  
Fig. 4. Number of Users vs. Average Power Reduction Ratio.

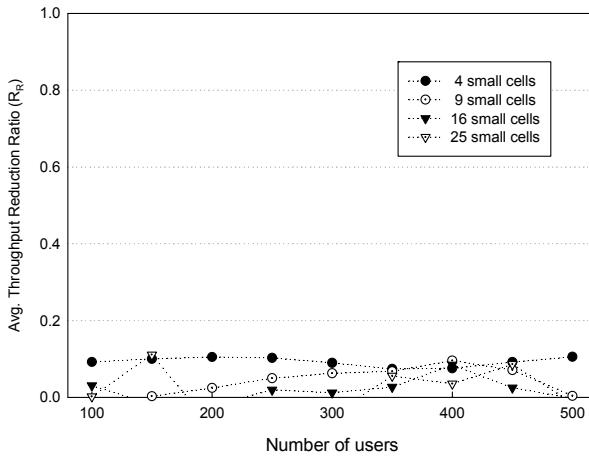


그림 5. 사용자 수에 따른 전송률 감소 비(평균)  
Fig. 5. Number of Users vs. Average Throughput Reduction Ratio.

그림 5는 제안된 방식과 기존 비례균등 스케줄링에 대해 시스템 평균 데이터 전송률에 대한 비교이다. 매 시점에서 각 방식에 따른 사용자 평균 전송률을 합을 시스템 평균 전송률로 정의한다. 기존 비례균등 스케줄링 식에 의한 매 시점의 시스템 평균 전송률의 시간 축에 대한 평균을  $R_1$ , 제안 방식에 따른 시스템 평균 전송률의 시간 축에 대한 평균을  $R_2$ 라 할 때  $R_r$ 는  $(R_1 - R_2) / R_1$ 으로 계산되며 그림에서 보여지는 결과는 이를 다시 여러 번의 모의 실험을 통해 얻어지는 평균치이다. 그림에서 보듯  $R_r$ 의 범위가 0.1 수준 이내의 작은 값의 범위에서 나타난다. 즉 제안된 방식으로 매 시점에서의 기존 비례균등 스케줄링 수식을 적용한 경우 대비 시스템 평균 전송률 감소치에 대한 평균이 10% 수준 이내임을 의미한다.

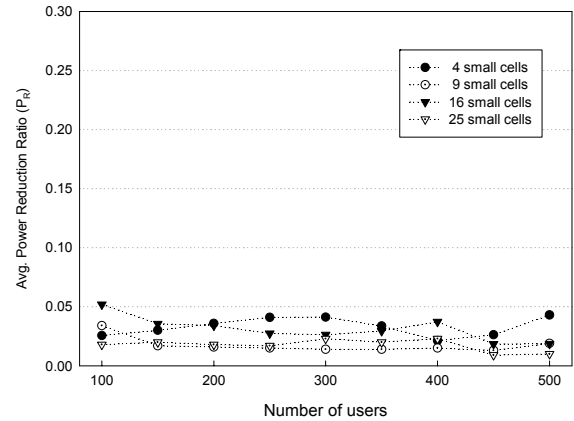


그림 6. 사용자 수에 따른 전송률 감소 비 분산(평균)  
Fig. 6. Number of Users vs. Average Power Variance Reduction Ratio.

그림 6은 제안된 방식과 기존 비례균등 스케줄링에 대해 앞서 정의된 시스템 평균 전송률 비교  $R_r$ 에 대한 분산을 구하고 이에 대해 여러 번의 모의 실험 수행으로 얻어진 평균치이다. 그림에서와 같이 0.5~0.6 수준 이내의 값으로 분포한다. 이는 제안된 방식으로 시스템 평균 전송률의 평균치뿐만 아니라 그 분산의 범위도 일정 수준 이내의 작은 값이 됨으로써 제안 방식과 유사한 전송률 성능을 가짐을 의미한다. 이와 같은 모의 실험 결과를 종합하면 제안하는 이기종 무선망 에너지 효율적 스케줄링 방식이 기존 비례균등 스케줄링 방식의 단순 적용에 비해 전송률 저하가 미미한 수준으로 유지되면서 시스템 소모 전력을 크게 줄이는 효과적인 방안이 됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 이기종 무선망 환경에서 망간 연동과 협력을 통해 에너지 효율을 개선하는 스케줄링 기법을 제안하고 그 성능을 검증하였다. 사용자 형평성을 고려하면서 데이터 수율을 개선하는 비례균등 스케줄링 방식에 이기종 무선망 환경을 반영한 에너지 효율에 관한 요소를 반영하는 스케줄링 문제를 고려하고 이를 통해 에너지 효율을 개선함과 동시에 사용자 형평성, 데이터 수율을 모두 감안하는 에너지 효율적인 비례균등 스케줄링 방식을 제안하였다. 또한 모의실험을 통해 제안된 스케줄링 기법으로 이기종 무선망 환경에서 에너지 소비 저감을 달성하면서 시스템 성능을 유지하는 효과를 보였다. 향후 제안된 기법에 대한 보다 다양한 분석을 통해 에너지 효율을 더욱 개선하고 실제 환경에 보다 용이하게 적용될 수 방안에 대한 연구가 요구된다.

## REFERENCES

- [1] V. Chandrasekhar, K. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey" IEEE Communications Magazine, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [2] Y. Choi, H. Kim, S. Han and Y. Han, "Joint Resource Allocation for Parallel Multi-Radio Access in Heterogeneous Wireless Networks," IEEE Trans. on Commun., Nov. 2010.
- [3] S. Rangan, "Femto-macro cellular interference control with subband scheduling and interference cancelation," arXiv. [Online] <http://arxiv.org/abs/1007.0507>, 2010.
- [4] J.P.M Torregozo, R. Enkhbat, and W. J. Hwang, "Joint power control, base station saasingment, and channel assingment in Cognitive Femtocell Networks, EURASIP, J. Wireless Comm. Networks, vol. 2010, no. 4, pp. 1-14, 2010.
- [5] F. Liu, E. Bala, E. Erkip, and R. Yang, "A framework for femtocells to access both licensed and unlicensed bands," to appear in proc. of the 3rd intl'l workshop on indoor and outdoor femto cells(IOFC), Princeton, NJ, USA
- [6] H. Kim, T. Hyon, Y. Lee, "Fairness Provision and Negotiation Procedure for Dynamic Spectrum Sharing in Multiple Radio Access Networks", IEICE Transactions on Communications, Jul., 2008.
- [7] K. Lee, H. Cho, "Interference Cancellation and Load Balancing in Heterogeneous Cellular Networks", IEIE Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol.51, no. 10, Oct. 2014, pp. 45-49.
- [8] H. Lee, S. Choi, "A Research of Maximum Sum Rate in Heterogeneous Networks Using Interference Management", Conference Proceedings of Electronic(1), The Institute of Electronics Engineering of Korea, Nov. 2012, pp. 429-431.
- [9] G. Gur, S. Nayhan, and F. Alagoz, "Cognitive femtocell networks: an overlay architecture for localized dynamic spectrum access," IEEE Wireless Communications, vol. 17, pp. 62-70, Aug., 2010.
- [10] H. Dekker, B. V. D. Ende, and H. Gelevert, "Spectrum Availability for Next Generation Satellite Services : Coexistence with Terrestrial Mobile Services", Lecture note of the Institute for Computer Sciences, Social informatics and telecommunications engineering, vol. 52, pp. 44-52, 2013.
- [11] Quek T, Cheung W, and Marios K, "Energy efficiency analysis of two-tier heterogeneous networks," in 11th European wireless conference 2011, pp 1 - 5, 2011.
- [12] M. Olsson et al, "5GrEEen: Towards Green 5G mobile networks", 2013 IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications((WiMob)).
- [13] 3GPP TSG RAN TR 36.842 v.12.0.0, "Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - igher Layer Aspects," December, 2013.
- [14] V. Chandrasekhar, J. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey," IEEE Communications Magazine, pp. 59 - 7, Sep. 2008
- [15] Z. Li, D. Grace and P. Mitchel, "Cell Division, Migration and Death for Energy Efficient 5G Ultra-small Cell Networks" in Globecom 2014 Workshop - Emerging Technologies for 5G Wireless Cellular Networks, pp. 1027-1032
- [16] J. Li, M. Peng, Y. Yu, and A. Cheng, "Dynamic Resource Optimization with Congestion Control in Heterogeneous Cloud Radio Access Networks", in Globecom 2014 Workshop - Emerging Technologies for 5G Wireless Cellular Networks, pp. 991-996
- [17] H. Kim and Y. Han, "A Proportional Fair Scheduling for Multicarrier Transmission Systems", IEEE Communication Letters, Vol. 9, No. 3, March 2005.

---

 저 자 소 개
 

---



김 훈(정회원)

1998년 KAIST 전기및전자공학과 학사

1999년 KAIST 정보통신공학과 석사

2004년 KAIST 정보통신공학과 박사

1998년~2001년 ETRI 위촉연구원

2004년~2005년 삼성전자 책임연구원

2005년~2007년 정보통신부 사무관

2007년~2008년 스탠포드대 방문연구원

2014년~2015년 스탠포드대 방문교수

2008년~현재 인천대학교 전자공학과 교수

&lt;주관심분야 : 통신망, 이동통신, 최적화기법&gt;