

# 이종망에서 간섭문제 완화를 위한 셀간 협력전송 및 전력제어 기술

## 1. 서론

본 고에서는 하나의 매크로셀 안에 많은 펌토셀이 존재하는 이종망에서 펌토셀이 매크로셀에 주는 간섭문제 [1~6]와 이를 해결하기 위한 기술에 대해 소개하고 이들이 전체 시스템 성능에 주는 영향을 알아본다. 이종망 환경에서 매크로셀과 펌토셀간의 간섭은 <그림 1>에 도시한 바와 같이 상하향 링크에서 6 가지로 구분할 수 있다. 그림에서 MNB는 매크로셀의 Node B를 HNB는 펌토셀의 Node B를, MUE와 HUE는 각각 매크셀의 UE와 펌토셀의 UE를 나타낸다. 그림에서<sup>1)</sup> 간섭 시나리오는 다시 다음과 같이 3가지로 요약된다.

- (1) 펌토셀간 간섭
- (2) 매크로셀이 펌토셀에 주는 간섭
- (3) 펌토셀이 매크로셀에 주는 간섭

여기서, (1)은 자가 구성망 등의 형태로 연구가 진행되고 있으며, (2)의 경우 상향 링크에서 크게 문제가 될 수 있으나 펌토셀에서의 기회적 전송으로 어느 정도 해소가 가능하다. 본 고에서 주목하고자 하는 부분은 (3)의 경우로 이는 특히 하향 링크에서 크게 문제가 되는데 예를 들면 펌토셀의 영향력 하에 있는 매크로UE가 펌토셀의 Node B로부터 받는 간섭으로 매크로셀의 Node B로부터의 신호(특히 브로드 캐스트 채널)를 수신하지 못하고 이에 따라 서비스 불능 상태에 놓이게 되는 경우이다.

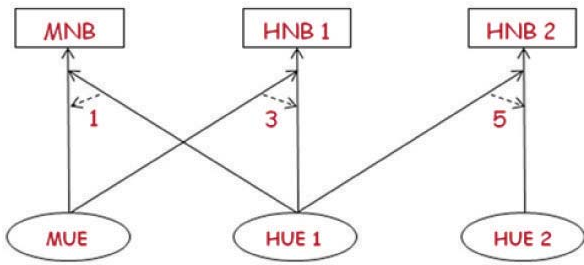
1) 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H1810-12-1001).



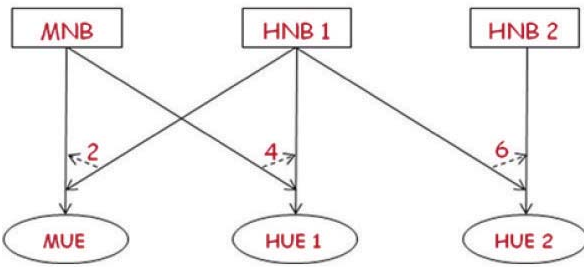
우 도  
단국대학교  
전자전기공학부



윤 석 현  
단국대학교  
전자전기공학부



(a) 상향 링크에서의 간섭 시나리오



(b) 하향 링크에서의 간섭 시나리오

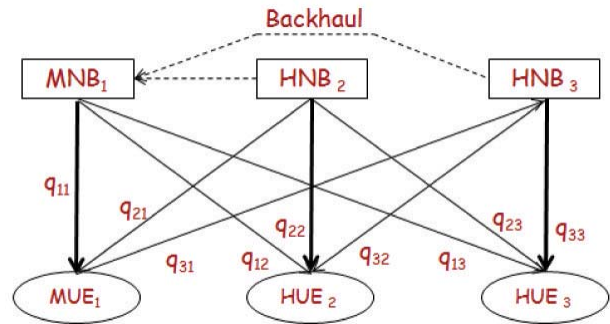
〈그림 1〉 이종망에서의 간섭 시나리오

본 고에서는 〈그림 1(b)〉에서 2의 경우에 해당하는 간섭 문제의 해결을 위한 매크로셀과 펌토셀간의 협력 및 펌토셀의 전력제어 방안<sup>[7~13]</sup>들을 중심으로 이들 기술이 매크로셀과 펌토셀의 성능에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## II. 이종망에서의 간섭완화 기술

### 1. 셀간 협력 스케줄링

펌토셀과 매크로셀 간의 간섭은 LTE-A에서 논의되고 있는 다중점간 협력 기술을 일부 적용함으로써 해결이 가능하다. 특히, 가장 단순한 협력 스케줄링 방법이 고려될 수 있으며 이는 중앙의 자원관리자를 이용하여 효과적으로 적용될 수 있다. 〈그림 2〉에는 매크로 Node B에 이러한 중앙 자원관리자가 탑재되고 펌토셀 Node B는 인터넷 등의 백홀을 통해 중앙 자원관리자와 연결되어 협력 스케줄링이 이루어지는 시스템의 모델을 보여준다. 물론, 펌토셀은 인터넷을 통해 망과 연결된다고 가정되고 QoS의 보장이 안되는 상황이라 이러한 모델은 그리 현실적으로 보이지는 않는다. 그러나 본



〈그림 2〉 협력 스케줄링을 위한 시스템 모델

고의 초점은 협력 스케줄링 방안 자체의 제시보다는 협력 스케줄링이 매크로 셀과 펌토셀간의 간섭문제 해결에 어느 정도 영향이 있는지에 있으므로 협력 스케줄링이 중앙 제어 방식으로 이루어지든 분산 제어 방식으로 이루어지든 방법 자체는 개방된 문제로 놔두기로 하고 이상적인 협력 스케줄링 방안이 이종망의 성능에 주는 영향에 대해 알아보하고자 한다.

〈그림 2〉에서  $q_{ij}$ 는  $i$ 번째 Node B와  $j$ 번째 UE 간 링크의 세기로  $i$ 번째 Node B의 전송전력을  $P_i$ 라 할 때  $m$ 번째 UE의 신호대 간섭+잡음비(SINR)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_m = \frac{P_n q_{nm}}{\sum_{j \in C(m)} P_j q_{jm} + N_0} \quad (1)$$

여기서,  $N_0$ 는 배경 잡음 전력이며,  $n$ 은  $m$ 번째 UE의 서빙 Node B,  $C(m)$ 은  $m$ 번째 UE에 대한 협력 셀들의 집합으로  $n \in C(m)$ 이다. 위의 식(1)에서의 SINR은 기본적으로 협력 셀들 간에 서로 간섭을 주지 않는 방식으로 스케줄링이 적용됨을 의미하며 특정 시점의 특정 부채널에서  $C(m)$ 에 속한 Node B중 단 하나의 Node B만 전송하고 나머지 Node B는 신호를 전송하지 않으며 따라서 간섭은  $C(m)$ 에 포함되지 않은 Node B들에 의해서만 발생한다. 협력 스케줄링이 이루어지지 않는 경우는  $C(m)=\{n\}$ 으로 볼 수 있으며 따라서 서빙 Node B가 아닌 다른 모든 Node B로부터 간섭을 받게 된다. 식 (1)의 SINR에 따른 전송율은 다음의 전송용량식을 사용하여 계산될 수 있다.

$$R_m = \log_2(1 + \gamma_m) \quad (2)$$

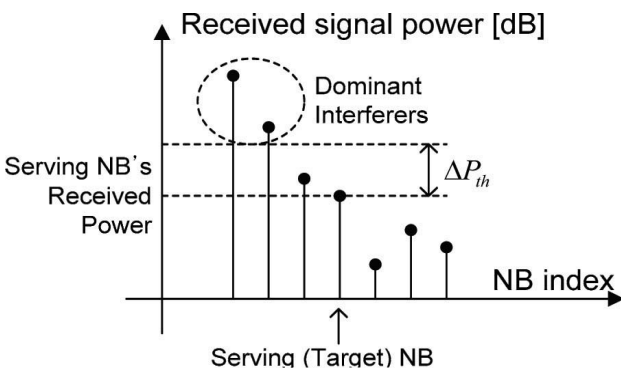
한편, 적절한 협력 스케줄링의 적용을 위해서는  $C(m)$ 이 정의되어야 하는데 이를 정의하는 한 가지 방법은 주간섭원(dominant interferer, DI)를 이용하는 것으로 다음과 같이 정의한다.

$$C(m) \equiv \{j \mid P_j q_{jm} - P_n q_{nm} > \Delta P_{th}\} \quad (3)$$

여기서,  $n$ 은  $m$ 번째 UE의 서빙 Node B이며  $\Delta P_{th}$ 는 미리 정해진 시스템 파라미터로 <그림 3>은 이에 따른 주간섭원의 정의를 보여준다. 따라서  $\Delta P_{th}$ 의 값을 크게 할수록 협력 셀들의 수는 줄어들며 이를 매우 크게 정하면  $C(m) \rightarrow \{m\}$ 이 되어 협력 스케줄링은 이루어지지 않으며 반대로  $\Delta P_{th}$ 의 값을 작게 할수록 더욱 많은 셀들이 협력 셀로 분류되며 간섭의 제거는 효과적으로 이루어질 수 있으나 이를 위한 프로토콜 상의 오버헤드는 매우 커질 수 있다.

## 2. 펌토셀 전력 제어

앞서 논의한 협력 스케줄링은 기본적으로 모든 UE, 특히 매크로 UE가 서빙 Node B로부터의 브로드 캐스트 메시지를 수신할 수 있어야 하며 이로부터 수신 신호의 전력과 협력 스케줄링 요청을 수행할 수 있다. 그러나, 매크로 UE가 주변 펌토셀의 강한 영향력 하에 있을 경우 매크로 Node B로부터의 브로드 캐스트 채널을 수신하는 것조차 불가능할 경우가 발생하며 이 경우



<그림 3> 주간섭원의 정의

적절한 전력제어를 통해 매크로 UE가 서빙 Node B의 브로드 캐스트 채널을 수신할 수 있도록 보장해주어야 한다. 이러한 펌토셀의 전력 제어 방안으로는 다음과 같은 두 가지가 가능하다.

- (1) 펌토셀의 자체 전력 제어
- (2) UE 요청에 의한 전력 제어

(1)의 경우, 펌토셀 Node B는 초기화 단계에서 주변 매크로 셀의 브로드 캐스트 채널을 수신하고 이 수신 전력에 따라 자신의 송신 신호 전력을 적절한 수준으로 설정하여 혹시 주변에 있을지 모를 매크로 UE에 주는 간섭을 줄이는 방법이며 (2)의 경우, 주변 펌토셀 Node B로부터의 간섭으로 희생된 (매크로) UE가 펌토셀 Node B에 직접 전력 감소 요청을 보내는 방안이다. (1)의 경우 현 LTE 규격의 변경 없이 운영이 가능한 반면, (2)의 경우는 LTE 규격에서는 지원되지 않으므로 (즉, 일단 서빙 Node B가 정해지면 다른 Node B와의 메시지 송수신은 불가능하므로) 이의 운영을 위해서는 관련 내용을 규격에 반영해야 하는 문제가 있다. 그러나 여기서도 앞 절에서의 논의와 마찬가지로 구체적인 운영 방안에 초점을 두기 보다는 전력제어 자체가 이종망의 성능에 미치는 영향에 초점을 두고 있으므로 구체적인 혹은 현실적인 운영 방안은 개방된 문제로 남겨두고 성능에 미치는 영향의 분석을 위한 정도로만 정의하고자 한다. 이러한 관점에서 상술한 두 가지의 전력 제어 방법은 다음과 같은 간략화된 과정으로 요약될 수 있다.

- 펌토셀의 자체 전력 제어:  $j$ 번째 펌토셀 Node B는 자신이 속한 (혹은 주변의 가장 강한 신호 세기를 갖는) 매크로 Node B (MNB)로부터의 수신 신호 세기를 측정하여 이를 기준으로 자신의 송신 신호 전력을 다음과 같이 설정한다.

$$P_j = \max(P_{\min}, \min(P_{\max}, P_{r, MNB} + P_{boost})) \quad (4)$$

여기서,  $P_{r, MNB}$ 는 매크로 Node B로부터 수신된 신호

의 측정된 전력이며 미리 정해진  $P_{boost}$ 는 시스템 파라미터이다. 또한,  $P_{min}$ 과  $P_{max}$ 는 펌토셀 Node B의 최소 및 최대 전송 전력이다.

- **UE 요청에 의한 전력 제어:** 초기의 Idle 모드에서 UE는 매크로 Node B의 브로드 캐스트 메시지를 수신할 수 없는 경우, 주변 펌토셀 Node B에게 지속적으로 전력 감소 요청을 하고 매크로 Node B와 연결된 상태가 되면 서빙 Node B를 통해 주변의 주간섭원들로부터의 수신신호 전력 수준이 다음과 같이 설정되도록 전력제어 요청을 한다.

$$P_{q_{jm}} \leq P_{r,MNB} + \Delta P_{min} \quad (5)$$

(식 (4)와 (5)에서 전력은 모두 dB 단위이다.)

### 3. 시스템 파라미터 및 성능 지표

상술한 협력 스케줄링 방안과 펌토셀 전력 제어의 운영은  $\Delta P_{Th}$ ,  $\Delta P_{boost}$  및  $\Delta P_{min}$ 의 세 가지의 파라미터로 요약되며 이들을 어떻게 설정하느냐에 따라 이종망의 “동작점”이 달라진다. 한편, 매크로셀과 펌토셀이 공존하는 이종망의 성능은 다음의 4가지 성능 지표로 요약될 수 있다.

- (1) 매크로셀의 전체 UE 평균 수율
- (2) 매크로셀의 하위 5% UE의 평균 수율
- (3) 펌토셀의 전체 UE 평균 수율
- (4) 펌토셀의 하위 5% UE의 평균 수율

## Ⅲ. 셀간 협력과 전력제어가 이종망의 성능에 미치는 영향

본 절에서는 앞서 정의한 3가지 시스템 파라미터가 위의 4가지 성능에 미치는 영향에 대한 몇 가지 성능 결과를 제시한다.

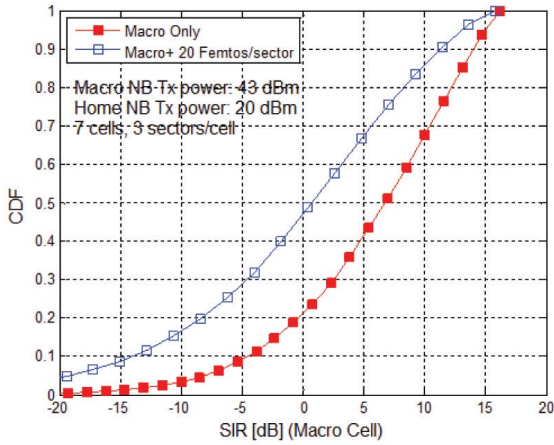
### 1. 시스템 평가 환경

평가에서는 7개의 매크로셀과 중심 매크로셀에 60

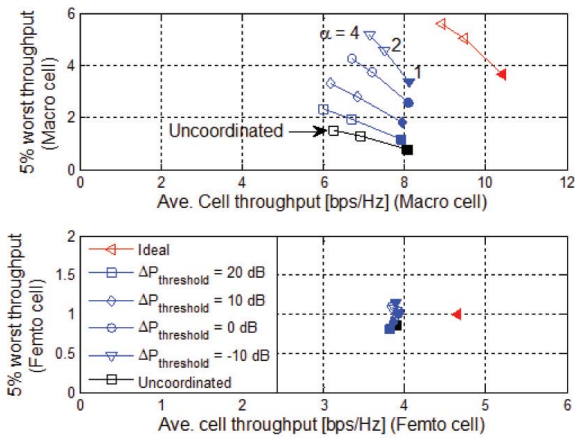
개의 펌토셀을 균일 분포로 배치하여 (중심) 매크로셀과 (중심 매크로셀 내) 펌토셀의 전체 UE의 평균 수율과 하위 5% UE의 평균 수율을 평가하였다. 또한 매크로셀은 3개의 섹터로 나누어 각 섹터에 평균적으로 20개의 펌토셀이 배치된다고 가정하였다. 송신 전력은 매크로셀 Node B에 대해 20W, 펌토셀 Node B에 대해 최소 1mW, 최대 100mW로 설정하였고 각 펌토셀은 하나의 UE를 갖으며 매크로셀은 60개의 UE를 (섹터당 20개의 UE를) 갖는다고 가정하였다. 또한, 매크로셀의 셀반경은 1.732Km, 대역폭은 10MHz를 가정하고 (1.25MHz의 대역폭을 갖는) 8개의 부채널이 서로 독립적인 Rayleigh 페이딩을 갖는다고 가정하였다.

### 2. 셀간 협력 전송에 따른 이종망의 성능

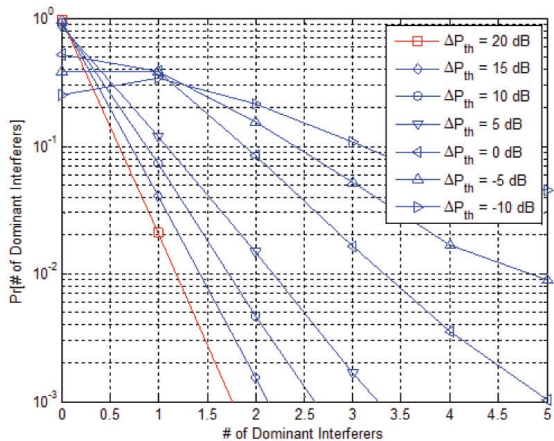
우선, 펌토셀의 전력제어는 적용하지 않고 (이 때 펌토셀의 송신전력은 최대 전력 100mW로 송신하는 것을 가정하였고) 셀간 협력전송만 적용하였을 경우의 성능을 보면 <그림 4~6>과 같다. <그림 4>에는 협력 전송을 고려하지 않은 상황에서 펌토셀이 있는 경우와 없는 경우의 SINR의 분포를 나타내었는데 그림으로부터 펌토셀의 배치가 매크로 UE의 SINR을 상당 수준으로 열화시킨다는 것을 알 수 있다. 특히, 서비스 가능한 최저 SINR을 -5dB로 가정할 때, 펌토셀이 없는 경우 Outage가 10%에 불과하던 것이 펌토셀의 배치로 30%가까이로 증가되었음을 확인할 수 있다. 따라서, 협력 전송을 하지 않을 경우 상당한 성능 열화가 있을 것으로 예상되며 이는 <그림 5>에 그대로 나타나 있다. <그림 5>에서 볼 수 있듯이 협력 스케줄링을 사용하지 않을 경우 매크로셀의 성능은 펌토셀이 없는 이상적 상황과는 많은 차이가 있는데 특히 하위 5% UE에 대한 수율에서 많은 손해를 보게 되며  $\Delta P_{Th}$ 를 낮춰 협력 셀들의 수를 늘림으로써 하위 5% UE에 대한 수율에서 상당한 성능 향상이 있음을 알 수 있다. (<그림 5>는 3개 섹터의 수율에 대한 합으로 섹터당 수율은 이를 3으로 나눈 값이다.) 한편, 펌토셀의 성능은 협력 스케줄링을 사용하더라도 전반적으로 큰 차이를 보이지



〈그림 4〉 펌토셀이 배치된 경우와 배치되지 않은 이상적 상황에서 매크로 UE들의 SINR 분포. (협력 스케줄링 미적용)



〈그림 5〉 협력 스케줄링을 적용한 경우, 이종망에서의 펌토/매크로 셀의 수율 성능. "ideal"의 경우는 펌토셀과 매크로셀이 서로 간섭을 주지 않는 경우를 의미함

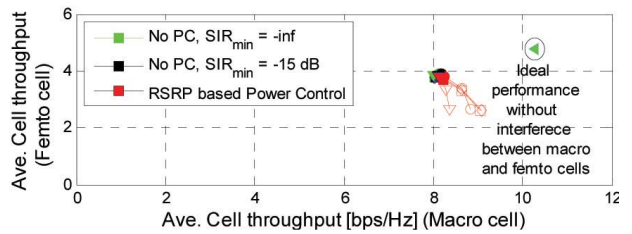
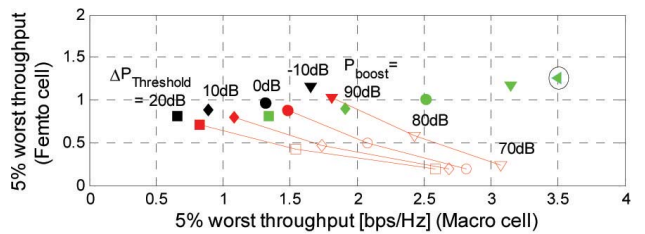


〈그림 6〉 협력 스케줄링의 파라미터인  $\Delta P_{th}$ 에 따른 주간섭원 수의 분포

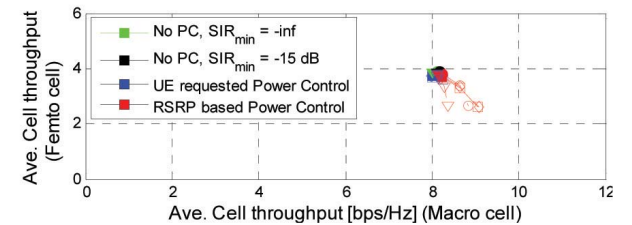
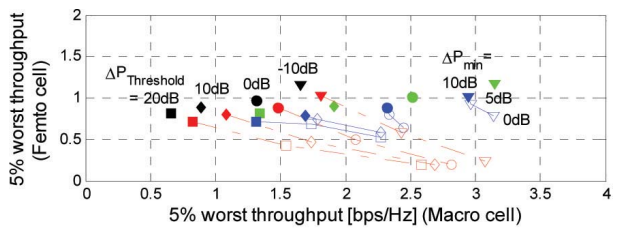
는 않는데 이는 평가 환경에서 펌토셀이 분포가 전체 매크로 영역에 넓게 분포하여 펌토셀간 간섭 자체가 크지 않기 때문이다. 〈그림 6〉은  $\Delta P_{th}$ 에 따른 주간섭원(협력셀) 수의 분포를 나타내는데  $\Delta P_{th}$ 이 증가함에 따라 주간섭원(협력셀)의 수가 평균적으로 늘어나는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 전력 제어에 따른 성능

전력제어에 따른 이종망의 성능은 평균 수율과 하위 5% UE의 수율을 따로 분리하여 〈그림 7〉과 〈그림 8〉에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 기본적으로 전력제어는 매크로셀과 펌토셀의 하위 5% UE에 대한



〈그림 7〉 펌토셀의 자체 전력제어에 의한 성능



〈그림 8〉 UE요청에 의한 전력제어에 대한 성능

수율의 tradeoff 관계로 나타나며, 성능 면에서 UE의 요청에 따른 성능이 보다 이상적인 성능에 가까움을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 고에서는 이종망에서의 간섭 완화 기술로 협력 스케줄링과 전력제어 방안을 소개하고 이들이 매크로셀과 펌토셀로 구성되는 이종망의 성능에 미치는 영향을 제시하였다. 특히, 매크로셀과 펌토셀의 평균수율과 하위 5% UE의 수율에 주는 영향을 제시하였으며 제시된 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 우선, 적절한 주간섭원의 정의와 이들 간의 협력 스케줄링을 통해 매크로셀의 하위 5% UE의 수율 성능에서 상당한 개선을 얻을 수 있었다. 물론, 성능의 개선은 주간섭원을 정의하는  $\Delta P_m$ 가 작아 더 많은 셀들이 협력하도록 만들면 더 높은 성능 개선을 얻을 수 있으나 이에 따라 프로토콜 오버헤드도 증가할 수 있으므로 적절한  $\Delta P_m$ 의 설정이 필요하다. 한편, 전력제어의 경우, UE 요청에 의한 전력제어가 매크로셀과 펌토셀간 간섭이 없는 이상적인 성능에 더 가까운 성능을 보였는데 UE 요청에 의한 전력제어를 사용하면 주변에 매크로 UE가 존재하는 경우에만 펌토셀의 전송전력을 낮추고 매크로 UE가 없는 경우 최대전력으로 펌토셀 UE를 서비스할 수 있으므로 좀 더 기회적인 접근 방안으로 볼 수 있다. 그러나, 두 전력 제어 방식은 동시에 적용할 수 있어 이 경우 보다 신축적인 시스템 운영이 가능할 것으로 보인다.

#### 참고 문헌

- [1] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews and A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 9, pp. 59-67, Sept. 2008
- [2] D. L'opez-P'erez, A. Valcarce, G. De La Roche, E. Liu, and J. Zhang, "OFDMA Femtocells: A Roadmap on Interference Avoidance" IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 9, pp. 41-48, Sept. 2008
- [3] H. Claussen, "Performance of Macro- and Co-Channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure," Proc. of PIMRC 2007, Sept. 2007, Athens, Greece
- [4] D. L'opez-P'erez, A. Valcarce, G. De La Roche, E. Liu, and J. Zhang, "Access Methods to WIMAX Femtocells: A Downlink System-Level Case Study," 11th IEEE ICCS, pp. 1657-62, Guangzhou, China, Nov. 2008
- [5] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Uplink Capacity and Interference Avoidance for Two-Tier Femtocell Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Feb. 2008.
- [6] D. Choi, P. Monajemi, S. Kang and J. Villaseñor, "Dealing with Loud Neighbors: The benefits and Tradeoffs of Adaptive Femtocell Access", Proc. of Globecom 2008, Dec. 2008
- [7] D. Gesbert, S. G. Kiani, A. Gjendemsjø, and G. E. Øien, "Adaptation, coordination and distributed resource allocation in interference-limited wireless networks," Proc. of the IEEE, Vol. 95, No. 7, pp. 2393 - 2409, Dec. 2007.
- [8] G. Li and H. Liu, "Downlink radio resource allocation for multi-cell OFDMA system," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 5, No. 12, pp. 3451-3459, Dec. 2006.
- [9] M. Chiang, C. W. Tan, D. P. Palomar, D. O'Neill, and D. Julian, "Power control by geometric programming," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 6, No. 7, pp. 2640-2651, July 2007.
- [10] H. Kim, Y. Han, and J. Koo, "Optimal subchannel allocation scheme in multicell OFDMA systems," Proc. IEEE VTC, Vol. 3, pp. 1821 - 1825, May 2004.
- [11] A. Gjendemsjø, D. Gesbert, G. E. Øien, and S. G. Kiani, "Binary power control for sum rate maximization over multiple interfering links," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 7, No. 8, pp. 3164 - 3173, Aug. 2008



- [12] S. G. Kiani, G. E. Øien, and D. Gesbert, "Maximizing multi-cell capacity using distributed power allocation and scheduling," in Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. (WCNC), Hong Kong, Mar. 2007.
- [13] T. Bonald, S. Borst and A. Proutiere, "Inter-cell coordination in wireless data networks," European trans. on Telecommunications, Vol. 17, pp. 303-312, Apr. 2006.



우도

2012년 2월 강남대학교 컴퓨터미디어학과 학사.  
현재 단국대학교 전자전기 석사 재학중.

<관심분야>  
무선/이동통신 물리계층 및 MAC계층



윤석현

1992년 2월 성균관대학교 전자공학과 학사  
1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 석사  
2003년 1월 New Jersey Institute of  
Technology 박사  
1999년 3월~1999년 8월 한국전자통신연구원  
선임연구원  
2003년 3월~2005년 2월 삼성전자 정보통신총괄  
통신연구소 책임연구원  
2005년 3월~현재 단국대학교 전자전기공학부  
조교수

<관심분야>  
무선/이동통신 물리계층 및 MAC계층