

소형 실내 와이브로 기지국을 위한 무선 파라미터 최적화

정회원 한 광 훈*, 나 민 수*, 최 영 규*, 김 동 명*, 종신회원 최 성 현*,
정회원 한 기 영**, 윤 순 영**

Radio Parameter Optimization for Indoor WiBro Radio Access Station

Kwanghun Han*, Minsoo Na*, Youngkyu Choi*, Dongmyoung Kim* *Regular Members*,
Sunghyun Choi* *Lifelong Member*, Kiyoung Han**, Soonyoung Yoon** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 소형 와이브로 기지국을 실내에서 운용하고자 할 때 중앙 관리 서버를 통해 기지국의 무선 파라미터를 최적화하는 방법에 대해 논의한다. 운용요원에 의해 수동으로 기지국의 무선 파라미터가 설정되던 기존의 방식과는 달리, 원격 컨트롤러를 통해 자동으로 무선 파라미터들이 설정된다는 점에서 소형 와이브로 기지국은 자가 설정 기지국 (Self-Configurable Radio Access Station: SC-RAS)으로도 명명된다. 이러한 실내 SC-RAS 망을 도입하는 주된 목적이 전송 전력의 세기를 높여 건물 안에서 발생하는 음영지역 문제를 해결하기 위함이지만, 동시에 한 가지 고려해야 하는 점은 SC-RAS가 기존 와이브로 망에 미치는 신호 간섭을 최소화해야 한다는 것이다. 결과적으로 SC-RAS의 전송 전력과 주파수 (Frequency Assignment :FA)를 올바르게 선택하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 이 SC-RAS의 무선 파라미터 최적화 문제를 혼합 정수 계획법 (Mixed Integer Programming: MIP)을 이용하여 풀고, SC-RAS 설치 전과 후의 성능을 비교 및 분석한다.

Key Words : WiBro, SC-RAS, Self-configuration, Air parameter optimization, MIP

ABSTRACT

Compared with the existing cellular base station whose radio parameters are configured manually, the small base station named as self-configurable base station configures its radio parameters automatically by the central controller. When installing the self-configurable base station, it should be considered primarily that the seamless coverage for the target area is secured while the signal interference to the existing cellular service area must be minimized. In order to achieve this, it is very important to select the correct radio parameters, e.g., transmission power and working frequency. In this work, we formulate and solve the optimization problem by using mixed integer programming to optimize the air parameter for the self-configurable base stations.

* 본 연구는 삼성전자의 지원으로 수행되었습니다.

* 서울대학교 전기공학부 뉴미디어통신연구소 ({khhan, msna, ykchoi, dmkim}@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr)

** 삼성전자 통신연구소 ({kiyoung.han, soon.young.yoon}@samsung.com)

논문번호: KICS2007-12-586, 접수일자: 2007년 12월 24일, 최종논문접수일자: 2008년 6월 25일

I. 서론

와이브로 망은 건물 밖의 사용자에게는 이동 중에도 고품질의 무선 서비스를 안정적으로 제공하고 있으나, 건물 내부의 사용자에 대해서는 원활한 서비스를 제공하지 못하고 있다. 건물 외부의 기지국으로부터 전송된 신호가 건물 내부의 사용자들에게 도달될 때 건물 외벽에 의한 침투 감쇄와 건물 내의 여러 장애물에 의한 페이딩 등의 이유로 인하여 그 세기가 크게 줄어들기 때문이다. 특히 건물의 두꺼운 외벽을 통과할 때, 무선 신호는 10-20 dB 정도의 큰 침투 감쇄를 겪는다. 지금까지는 건물 내부에 중계기를 설치하여 무선 신호의 세기를 보상하는 방법으로 이러한 문제를 해결하였으나, 중계기를 이용한 방법은 주파수 재사용을 통해 셀 용량을 증대하는 것이 불가능하다는 점에서 근본적인 한계를 갖는다. 더욱이 최근 발표된 보고서에 의하면 무선 통신 데이터의 70% 이상이 건물 내부의 사용자에 의해서 이용되고 있고 사용자들은 고속의 데이터 서비스를 제공받기를 원한 다는 사실이 잘 알려져 있기에, 새로운 해결책이 필요하다¹⁾.

최근 이 문제에 대한 새로운 해결 방법으로 실내 소형 기지국의 도입이 빠르게 부각되고 있다. 실내 소형 기지국은 기존 기지국에 비하여 낮은 복잡도와 낮은 전송 전력을 가지며 건물 내의 커버리지 확장과 고속의 무선 통신 환경 구축을 목적으로 사용자가 손쉽게 설치 가능한, 새로운 형태의 기지국을 말한다. 이러한 소형 기지국의 도입은 사용자의 만족도를 높일 뿐 아니라, 가정 내 이미 설치된 인터넷 회선을 이용하여 기간망에 연결되므로 서비스 공급 업체 입장에서도 설치비용 및 운영비용을 절감할 수 있을 것으로 기대되고 있다²⁾.

소형 기지국이 성공적으로 널리 적용되기 위해서는 1)가능한 사람의 손을 거치지 않고 자동으로 설치가 가능하여 초기 설치비용이 저렴해야 하고, 2)끊김 없는 통신이 가능하도록 가능한 모든 영역을 커버하면서 핸드오프가 가능해야 하며, 3)기존에 설치된 기지국에 미치는 간섭 영향을 최소화해야 한다¹⁵⁻¹⁴⁾.

와이브로 망을 예로 들었을 때, 위의 조건을 만족하기 위해서는 실내에 도입될 SC-RAS들이 매우 조밀하게 설치되어야 할 것으로 예상된다. 그러나 SC-RAS의 무선 파라미터들이 제대로 설정되지 않았을 경우에는 SC-RAS들 사이에 큰 간섭이 야기되어 성능 향상에 제한이 있을 것이 쉽게 예측된다. 따라서 SC-RAS의 전송 전력과 사용 주파수 대역

및 설치 위치를 최적화하는 일은 SC-RAS의 성공과 매우 밀접하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 시스템 모델을 제시하고 III장에서 제안된 방법을 통해 최적화 문제를 풀고, IV장에서 성능 평가를 제시한다. 끝으로, V장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 시스템 모델

기존 와이브로 망에 추가되는 SC-RAS망은 그림 2.1과 같은 구조로 구성된다.

외부에는 기존의 기지국 (Macro RAS)들이 이미 설치되어 있고 건물 내부에는 SC-RAS가 설치된다. 한 건물 내에도 여러 개의 SC-RAS들이 밀집하여 분포할 수 있다. 망 내의 관리 서버 (WiBro System Management: WSM)가 동일 망에 존재하는 모든 SC-RAS에 대한 유지 보수 및 무선 파라미터 최적화를 담당한다.

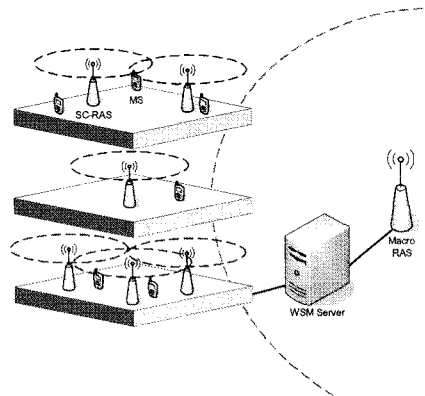


그림 2.1 SC-RAS 네트워크 구성

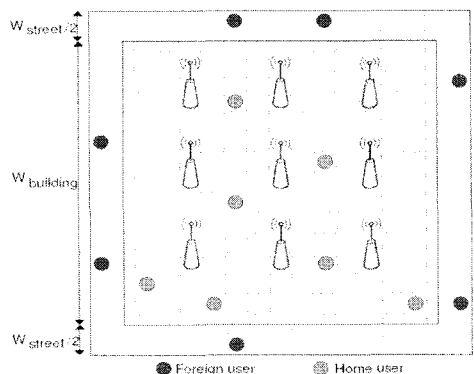


그림 2.2 Building 및 거리의 구조

문제를 간단하게 하기 위해, SC-RAS가 설치되는 건물을 그림 2.2와 같이 $W_{building}$ 의 너비를 가지는 정사각형의 형태로 가정한다. 그리고 주위에 W_{street} 너비의 거리가 있다고 가정하여 그 공간에 존재하는 외부 사용자들, 다시 말해서 Macro RAS에 접속한 사용자들에게 미치는 간섭 영향을 함께 고려하여 무선 파라미터를 최적화한다. $W_{building}$ 은 기본적으로 50m, W_{street} 는 30m로 가정하였다. SC-RAS들은 건물 내부에 설치되며, 3개의 FA 중 하나의 FA를 선택하여 동작하는 것으로 가정한다. 그리고 이 연구에서는 건물 외부의 사용자들은 Macro RAS 중 하나를, 건물 내부의 사용자들은 SC-RAS들 중의 하나를 선택하여 해당 RAS가 동작하는 FA에서 서비스를 받는다고 가정하였다.

이 논문에서는 테스트 포인트 (Testing Point: TP)라는 개념을 도입한다. 그림 2.2에서 보는 바와 같이 전체 영역을 예를 들어 3m x 3m 또는 5m x 5m 크기의 격자로 나눈 후 각 격자의 중심점에 TP가 위치한다고 가정한다. 각 TP 위치에서의 측정을 통해 TP와 Macro RAS들 사이의 채널 계인, TP와 SC-RAS 후보 위치들 간의 채널 계인 등의 정보를 획득할 수 있다고 가정한다. 또한 외부 사용자에 대한 영향 역시 외부 TP를 도입하여 문제의 단순화한다. 다시 말해서 외부의 유동적인 사용자를 외부 TP를 도입함으로써 정적인 하나의 점으로 단순화한 것이다. 앞으로 건물 내부의 TP는 내부 테스트 포인트 (Internal TP: ITP)로, 건물 밖의 TP는 외부 테스트 포인트 (External TP: ETP)로 명명한다.

혼합 정수 계획법을 이용 하여 SC-RAS들의 설치 위치와, FA, 전송 전력을 결정한다. 이때 고려하는 모든 ITP의 SINR이 특정 문턱값 (e.g., -3 dB)을 넘어야 한다는 조건을 통해 건물 전체의 커버리지를 보장하고 있으며, 모든 ETP에서 SC-RAS설치로 인한 SINR 감쇄가 특정 문턱값을 넘지 말아야 한다는 조건을 통해 외부 사용자에 대한 신호 간섭을 제한하고 있다. 또한 SC-RAS의 위치를 결정할 때에는 그림 2.2에 보이는 바와 같이 유한개의 SC-RAS 후보 위치 중 한 지점을 선택하도록 하였다. 여기서 말하는 SC-RAS의 후보 위치는 각 층마다 향후 SC-RAS의 관리, 전력공급의 용이성 등을 고려하여 미리 선정된 설치 후보 위치를 말한다.

III. 최적화 문제

3.1 Notations

III장에서 최적화 문제를 수식으로 표현할 때 공통적으로 사용되는 set, 상수, 변수들은 표 3.1.1, 표 3.1.2, 표 3.1.3에 각각 정의되어있다.

표 3.1.1 set을 나타내는 파라미터들

J	set of all the internal testing points (ITPs), index j
J'	set of all the external testing points (ETPs), index j'
A	set of candidate locations for installing SC-RAS, index a or b
E	set of Macro RASs which cause interference, index e
F	set of frequency assignments, index f
N	set of approximation functions, index n

표 3.1.2 상수를 표현하는 파라미터들

Inf	Infinite value
M	maximum number of SC-RASs to be installed, $0 < M \leq A $
μ, γ	Internal SNR, SINR threshold value for representing association and coverage
$K_{j'}$	external SINR threshold value for representing performance degradation
P_{max}	minimum Tx power of SC-RAS
P_{Macro}	Tx power of Macro RAS
C'	scaling value representing the lower bound of SC-RAS Tx power
g_{jaf}	channel gain at ITP j from SC-RAS operated at location a and frequency f
$g_{j'bf}$	channel gain at ETP j' from SC-RAS operated at location a and frequency f
g'_{jef}	channel gain at ITP j from Macro RAS e with frequency f
$g'_{j'ef}$	channel gain at ETP j from Macro RAS e with frequency f

3.2 전송 파워의 합을 최대화하는 최적화 문제 (MAX_SUM_PWR)

이 장에서는 SC-RAS의 전송 파워 합을 최대화

하는 목적함수를 제안한다. 일반적으로, 건물 내의 사용자들은 자신을 서비스하는 SC-RAS의 전송 전력이 클수록 달성 가능한 SNR이 더 클 것으로 기대하게 되며, 따라서 이 목적 함수가 건물 내부의 성능을 향상시킬 가능성이 크다고 생각될 수 있다. 물론 SINR 관점에서는 이 목적함수와 명확한 상관관계를 말하기 힘든 것이 사실이지만 가장 간단한 형태의 목적함수 중의 하나로 고려해 보고 성능을 분석해 보는 것은 필요한 과정이다.

표 3.1.3 변수를 표현하는 파라미터들

z_{af}	indicator variable, 1 means that SC-RAS is installed at location a with frequency f
p_{af}	normalized real value of representing SC-RAS TX power which installed at location a with frequency f, $0 \leq p_{af} \leq 1$
x_{ja}	indicator variable, 1 means that ITP j is associated with SC-RAS operated at location a
y_{jf}	indicator variable, 1 means that SINR constraint of ETP j' should be satisfied when operating at frequency f
s_j	auxiliary real variable of ITP j for piecewise approximation of $\log_{10}(x)$ function
q_j	auxiliary real variable of ITP j for piecewise approximation of $\log_{10}(x)$ function
v_{jafn}	auxiliary indicator variable, 1 means that linear approximation bound of ITP j should be satisfied at location a and frequency f with approximated function n

또 고려해야 하는 것으로, SC-RAS의 전송 전력을 무작정 키울 경우 건물 밖의 사용자들이 받는 간섭의 크기가 무한정 커질 수 있다는 점이다. 결국 건물 밖의 사용자들의 간섭 수준에 대한 제한 조건이 반드시 필요하며, 이러한 부분을 수식으로 표현하기 위해 SC-RAS들과 외부 사용자들의 간단한 표현으로 볼 수 있는 ETP들 사이의 채널 계인을 바탕으로 SC-RAS 설치 후의 각 ETP에서의 SINR의 감소 정도가 일정 문턱값보다 작도록 제한한다 (e.g., 3 dB). 이 제약조건을 식으로 표현하면 (3.2.1)과 같다. 이러한 제약 조건을 포함시킴으로써, 내부의 성능을 높이기 위해 최대한 전송 파워는 높이고 외부에 미치는 영향은 제한함으로써 내부 성능과 외부로의 악영향 사이의 균형을 이룬다.

결론적으로, 외부로의 악영향을 제한하는 영역 내에서 가능한 전송 파워의 합을 최대화하는 최적화 문제는 (3.2.2)와 같은 MIP 형태로 표현된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\max_{c \in E} (g'_{j'cf} P_{Macro}) + Inf (1 - y_{j'f})}{N_0 + \sum_{a \in E / \arg \max_{a'} (g'_{j'cf} P_{Macro})} g'_{j'cf} P_{Macro} + \sum_{a \in A} g_{j'af} P_{max} P_{af}} \geq \kappa_{j'} \quad \forall j', f \\ & \sum_{j \in F} y_{j'f} = 1 \quad \forall j' \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

(3.2.2)의 최적화 문제 중 첫 번째 제약조건은 SC-RAS의 설치 후보 위치 중에 최대 M개의 SC-RAS를 설치를 하도록 제한하는 조건이며, 두 번째 제약조건은 'a'라는 위치에 SC-RAS가 설치되었다면 그 SC-RAS는 하나의 FA에서 동작해야 한다는 것을 표현한다. 세 번째와 네 번째 제약 조건은 전송 전력 대한 조건을 표현하고 있는데, 여기서 파워의 값은 0에서 1 사이로 정상화된 값이다.

$$\begin{aligned} & \max \sum \sum P_{af} \\ & S.T. \\ & \sum_{a \in A} \sum_{f \in F} z_{af} \leq M \\ & \sum_{f \in F} z_{af} \leq 1 \quad \forall a \\ & C' z_{af} \leq p_{af} \leq z_{af} \quad \forall a, f \\ & 0 \leq p_{af} \leq 1 \quad \forall a, f \\ & \sum_{a \in A} x_{ja} = 1 \quad \forall j \\ & x_{ja} \leq \sum_{f \in F} z_{af} \quad \forall j, a \\ & \frac{(1 - x_{ja}) Inf + g_{jaf} P_{max} (1 - z_{af}) + g_{jaf} P_{max} P_{af}}{N_0 + I_{Macro,j}} \geq \mu \quad \forall j, a, f \\ & \frac{(1 - x_{ja}) Inf + g_{jaf} P_{max} (1 - z_{af}) + g_{jaf} P_{max} P_{af}}{N_0 + I_{Macro,j} + \sum_{b \in A/a} g_{jbf} P_{max} P_{bf}} \geq \gamma \quad \forall j, a, f \\ & \frac{\max_{Macro} (g'_{Macro,i',f} P_{Macro}) + Inf y_{j'f}}{N_0 + I_{otherMacro,j'} + \sum_{b \in A} g_{jbf} P_{max} P_{bf}} \geq \kappa_{j'} \quad \forall j', f \\ & \sum_{j \in F} y_{j'f} \leq |F| - 1 \quad \forall j' \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

기본적으로 SC-RAS가 설치되지 않았다면 ($Z_{af}=0$) 파워는 0이 되어야 하며, 만약 설치가 되었다면 ($Z_{af}=1$) 파워는 0과 1사이의 최소/최대값을 갖

는다. 다섯 번째 제약 조건에서는 모든 ITP들은 어느 하나의 SC-RAS에 접속이 되어야 하며, 하나 이상의 접속을 유지할 수 없다는 것을 나타낸다. 여섯 번째 제약 조건은 ITP는 설치가 되어 있는 SC-RAS에만 접속이 가능함을 의미한다. 일곱 번째 제약 조건은 SNR 기반의 제약 조건으로써, SNR이 낮아서 접속될 가능성이 거의 없는 SC-RAS에 대한 association은 아예 제외함으로써 문제 해결의 속도 향상을 도모한다. 여덟 번째 제약 조건의 경우 full coverage, 또는 seamless 핸드오버를 가능하도록 하는 요구 사항을 반영한 것으로써, SC-RAS가 설치 되면서, 서로간의 간섭을 미치는 상황에서 모든 ITP가 serving SC-RAS로부터 받는 SINR이 특정 값 이상 이 되도록 조건이다. 아홉 번째 제약조건으로 식 (3.2.1)이 포함되어 있는데, 앞서 설명한 대로 이 제약조건이 ETP들에 미치는 간섭의 제한한다.

이 문제의 경우 내부의 full coverage를 보장하고 외부에 미치는 부작용을 제한하는 조건을 만족 하고는 있으나, 앞서 언급한 대로 SINR관점에서의 내부 성능 향상을 보장하지 못하기 때문에 설치 결과에 따라 내부의 성능을 최대화 하는 결과와 큰 차이를 보일 수 있는 한계가 존재한다. 이 문제를 통해 도출된 SC-RAS 설치 결과의 성능에 대해서는 4장에서 자세히 분석한다.

3.3 근사된 Shannon capacity를 최대화하는 최적화 문제 (MAX_SUM_CAP)

앞서 제시한 전송 전력의 합을 최대 화 하는 문제는 SINR 관점의 내부 성능을 향상시키는 문제와 명확한 상관관계가 밝혀지지 않는다는 단점이 존재한다. 다시 말해서 전송 전력의 합이 크면 명확히 내부 성능이 좋아 진다고 말할 수 없다는 것이다. 이러한 단점을 해결하고 좀 더 내부 성능을 최대화 하는 문제에 다가가기 위해서 이 장에서는 Shannon capacity 식을 목적 함수로 도입하고자한다. 그러나 Shannon capacity 식은 log의 형태로 이루어져 있기 때문에 MIP형태의 접근이 사실상 불가능하다. 따라서 저자는 이를 해결하고자 log의 선형 근사화를 바탕으로 Shannon capacity를 선형화한 후 MIP 최적화 문제를 정의한다.

우선 Shannon capacity 식은 (3.3.1)과 같이 표현될 수 있다. 식 (3.3.1)를 선형화하기 위해서는 수식에 들어 있는 비선형 함수인 log를 선형화하면 된다. 선형 근사화의 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나 여기에서는 다수의 직선의 합을 이용하여

비선형 함수를 근사하는 불연속 선형 근사화 (piecewise linear approximation) 방법을 이용한다.

$$\begin{aligned} \log(1 + SINR) &= \log\left(1 + \frac{g_{jef} P_{\max} P_{ef}}{N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef}}\right) \\ &= \log\left(\frac{N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef}}{N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef}}\right) \\ &= \log\left(N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef}\right) - \log\left(N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef}\right) \end{aligned} \tag{3.3.1}$$

log 및 -log 함수는 단조함수의 형태를 갖기 때문에 선형 근사화를 하여도 증/감의 성질이 유지되며, 최적화 문제의 결과의 오차가 선형 근사화의 정확도와는 관련이 있어도 최적의 결과에서 완벽히 동떨어지지는 않음을 의미한다. 이 논문에서는 근사된 직선과 고유 함수의 오차가 특정 값 이하가 되도록 직선의 기울기를 정하는 방법을 이용하였다.

설명한 바와 같이 식 (3.3.1)을 선형화하기 위하여 식 (3.3.2)를 제약 조건에 추가하였다.

$$\begin{aligned} S_j &\leq c_n \left(N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef} \right) + d_n + \alpha(3 - x_{ji} - z_d) \quad \forall j, a, f, n \\ Q_j &\leq -c_n \left(N_0 + \sum_{e \in E} g'_{je} P_{Macro} + \sum_{b \in A_{fu}} g_{jbf} P_{\max} P_{ef} \right) - d_n + \text{Inf}_j(3 - v_{joff} - x_{ji} - z_d) \quad \forall j, a, f, n \\ \sum_{n \in N} v_{joff} &= 1 \quad \forall j, a, f \\ 0 &\leq S_j \leq 1 \quad \forall j \\ 0 &\leq Q_j \leq 1 \quad \forall j \end{aligned} \tag{3.3.2}$$

보조 변수 S는 log10(x)의 선형 근사화 영역을 나타내며, 보조 변수 Q는 -log10(x)의 근사 영역을 나타낸다. 여기서 주의 하여야 할 부분은 오목 함수인 log10(x)는 직선의 조합을 이용하는 것만으로 최대화 시키는 것이 가능하지만 볼록 함수인 -log10(x)는 그것이 불가능하다는 점이다. 따라서 이를 해결하기 위한 새로운 노력이 필요하다. 자세히 설명을 하자면, (3.3.2)의 Q에 관한 수식 중 Inf 값을 더한 부분으로, Q를 최대화 하는데 필요한 한 직선만을 제외한 나머지 직선들에 항상 Inf 값을 더함으로써 제약 조건에 영향을 주지 못하도록 만든 부분이다. 다시 말해서 항상 한 직선만이 경계 값을 위한 조건으로 남게 된다.

결론적으로 근사된 Shannon capacity 값을 최대화하는 최적화 문제는 다음 수식 (3.3.3)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{a \in A} \sum_{f \in F} S_{af} - \sum_{a \in A} \sum_{f \in F} Q_{af} \\
 & ST. \\
 & \sum_{a \in A} \sum_{f \in F} z_{af} \leq M \\
 & \sum_{f \in F} z_{af} \leq 1 \quad \forall a \\
 & C z_{af} \leq p_{af} \leq z_{af} \quad \forall a, f \\
 & 0 \leq p_{af} \leq 1 \quad \forall a, f \\
 & \sum_{a \in A} x_{ja} = 1 \quad \forall j \\
 & x_{ja} \leq \sum_{f \in F} z_{af} \quad \forall j, a \\
 & \frac{(1-x_{ja})I_{rf} + g_{jaf} P_{\max}(1-z_{af}) + g_{jaf} P_{\max} p_{af}}{N_0 + I_{Macro,j}} \geq \mu \quad \forall j, a, f \\
 & \frac{(1-x_{ja})I_{rf} + g_{jaf} P_{\max}(1-z_{af}) + g_{jaf} P_{\max} p_{af}}{N_0 + I_{Macro,j} + \sum_{b \in A} g_{bjf} P_{\max} p_{bf}} \geq \gamma \quad \forall j, a, f \\
 & \frac{\max_{Macro} (g'_{Macro,j',f} P_{Macro}) + I_{rf} y_{j',f}}{N_0 + I_{otherMacro,j'} + \sum_{b \in A} g_{bjf} P_{\max} p_{bf}} \geq \kappa_{j'} \quad \forall j', f \\
 & \sum_{f \in F} y_{j',f} \leq |F| - 1 \quad \forall j' \\
 & S_{af} \leq c_m (N_0 + I_{otherMacro,j} + g_{jaf} P_{af} + (1-z_{af}) C_{\max}) + d_m \quad \forall a, f, m \\
 & Q_{af} \geq -c_m (N_0 + I_{otherMacro,j} + \sum_{b \in A} g_{bjf} P_{bf} + (1-z_{af}) C_{\max}) - d_m \quad \forall a, f, m
 \end{aligned} \tag{3.3.3}$$

IV. 성능 평가

4.1 성능 평가 환경

이 장에서 앞서 개발한 문제를 풀고 성능을 평가하기 위해 가정한 시스템 모델은 다음과 같다. 우선, Macro cell들이 그림 4.1 과 같이 2-tier까지 간섭을 미치고 각각의 셀은 3개의 섹터를 가지며 각 섹터별로는 다른 FA를 사용하는 것으로 가정하였다. 이 때 Macro RAS는 방향성 안테나를 사용하여 각도 별로 다른 안테나 계인을 가진다고 가정하였으며, 그를 표현 하는 식은 (4.1)과 같다.

$$A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad \text{where } -180 \leq \theta \leq 180 \tag{4.1}$$

여기서 A_m 은 안테나 계인 값으로, 표 4.1.1에 표기된 바와 같이 14 dBi가 사용되었다.

Macro-RAS와 사용자, 또는 SC-RAS와 사용자간의 채널 계인은 ITU-R M.1225 채널 모델을 기

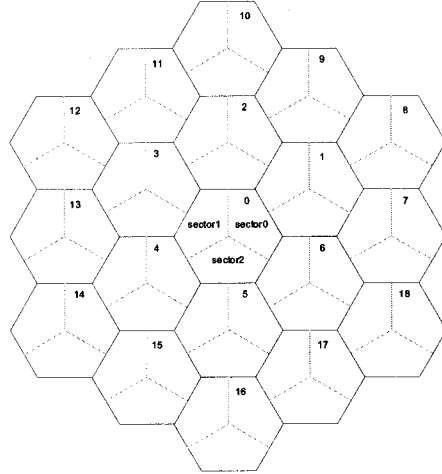


그림 4.1 Macro cell의 구조

표 4.1.1 Simulation 환경 파라미터

Parameter	Value
Center Frequency	2.5 GHz
Number of FA	3
Sampling Rate	11.2 MHz
Macro Cell Radius	800 m
Building Width	50 m or 100 m
Building Length	50 m or 100 m
Street Width	30 m
Number of Floor in Building	3
Macro Tx Power	20 W
Macro Antenna Gain	14 dBi
Number of SC-RAS per floor	1 or 3 (variable)
SC-RAS Antenna Gain	2 dBi
SC-RAS Noise Figure	4 dB
TxP_{\max}	100 mW
TxP_{\min}	0 mW
User Antenna Gain	-1 dBi

반으로 위에서 언급한 안테나 패턴을 더하여 사용하였으며, 채널 환경을 나타내는 데에 사용된 파라미터들은 표 4.1.1과 같다⁴⁾.

제안한 알고리즘들의 성능 평가를 위해 그림 4.2에 표시된 바대로 0번 셀 내의 (0 m, 520 m), (0 m, 200 m), 두 위치에서 선택한다. 위의 건물 위치들이 선택된 이유는 각 위치들이 특징적인 채널 환경을 가지기 때문이다. (0 m, 520 m) 위치의 경우

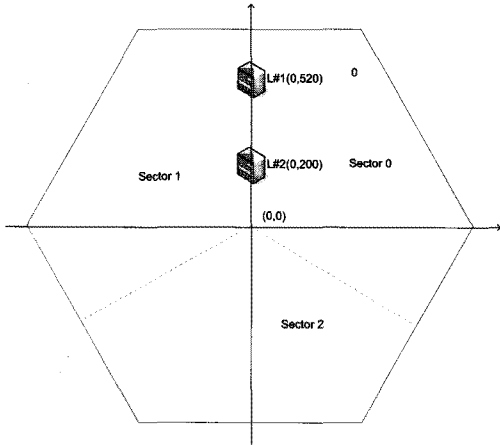


그림 4.2 Simulation 환경

0번 셀의 1번 섹터와의 채널 게인, 2번 섹터와의 채널 게인, 그리고 바로 위에 존재하는 2번 셀의 0번 섹터로부터의 세 개의 채널 게인 값이 모두 비슷한 값을 가지는 지역이다. 따라서 이 영역에서는 3개의 FA 모두에 비슷한 세기의 Macro RAS 신호가 전달되며, 건물 주위에는 세 FA 상에서 동작하는 건물 밖의 사용자들이 모두 존재하고 있다. (0 m, 200 m) 위치의 경우 0번 셀의 1번 섹터와의 채널 게인, 2번 섹터와의 채널 게인이 지배적인 환경으로, 건물 주위에 0번 FA에서 동작하는 사용자들이 없을 가능성이 크다.

4.2 성능 평가 결과

성능평가는 다음과 같이 진행하였다. 그림 2.2에서와 같이, 건물 내부와 주변 거리를 1 m x 1 m 단위 TP로 나누었다. 그리고 최적화 문제를 통해 SC-RAS 설치위치 및 해당 무선 파라미터 값들을 이용하여, 건물 내부와 건물 주변의 SC-RAS 설치 전/후 SINR 분포를 CDF와 컬러맵으로 나타내었다. 본 성능평가에서는 50 m x 50 m 크기의 3층 건물을 고려하였으며, 건물 주변은 건물로부터 15 m 떨어진 곳까지 고려하였다. 이때 각 층의 SC-RAS는 고정된 4개의 위치에 설치되도록 제한하였고, 논문의 분량을 고려하여 2, 3층의 결과는 생략하고 1층 결과만을 중심으로 서술하였다.

4.2.1 (0 m, 520 m)에서 성능평가

제시된 위치에서 SC-RAS 설치 전의 빌딩 내부 및 주변 거리의 SINR 분포는 그림 4.3과 같다.

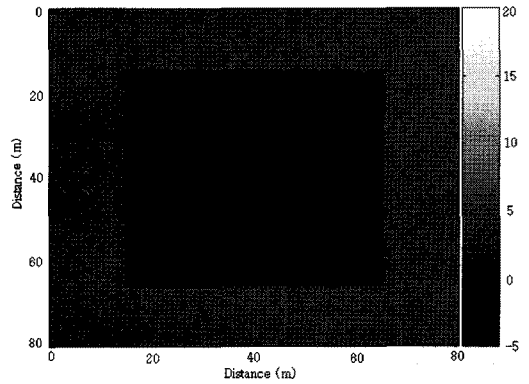


그림 4.3 SC-RAS 설치 전 1층 및 빌딩 주변 SINR 분포

표 4.2.1 설치된 SC-RAS의해 (MAX_SUM_PWR/MAX_SUM_CAP)

index	2	4	6	8
FA	3/3	1/1	2/2	2/2
Power	0.01/0.07	0.01/0.06	0.01/0.01	0.01/0.05
index	11	13	15	17
FA	3/1	1/1	2/2	2/2
Power	0.01/0.01	0.02/0.08	0.02/0.02	0.01/0.01
index	20	22	24	26
FA	3/3	1/1	3/2	2/2
Power	0.13/0.05	0.18/0.06	0.05/0.01	0.13/0.05

건물 내부는 건물 외벽의 침투감쇄로 인해 심각한 통신장애가 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 건물 내부의 모든 TP에서 -3 dB 미만의 SINR을 갖는다.

표 4.2.1은 해 중 MAX_SUM_POWER의 해를 바탕으로 SC-RAS가 설치된 환경에서의 SINR분포는 그림 4.4와 같다. 표의 index는 그림 2.2에서 보이는 SC-RAS의 후보 위치를, 층, x축, y축 순의 우선순위로 하여 작은 값을 갖는 후보부터 index를 증가시킨다. 이때 후보 위치들은 등 간격으로 건물에 배치되어 매 층 9개의 후보 위치가 정해진다. 모든 영역에서 제약조건들을 만족시키며, SINR성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 그리고 해를 적용한 전 후의 SINR의 CDF분포는 그림 4.5와 같다.

설치 전에 비해, SINR이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 그림 4.5를 통해, 목적함수가 MAX_SUM_CAP 일 경우 내부 SINR성능이 MAX_SUM_POWER 보다 좀 더 향상됨을 확인할 수 있다.

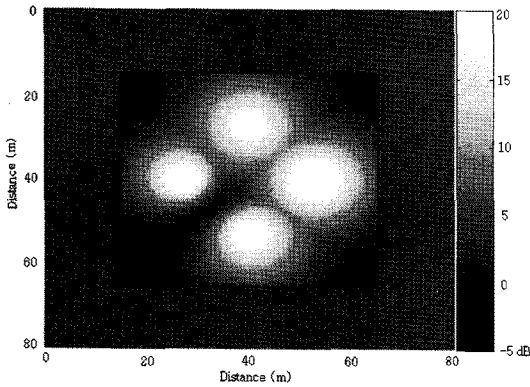


그림 4.4 SC-RAS 설치 후 1층 및 건물 주변 SINR 분포

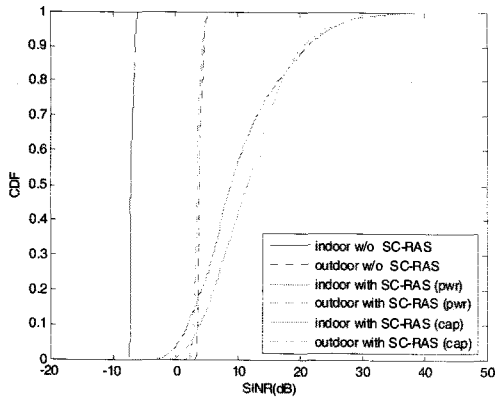


그림 4.5 SINR의 CDF

이는 MAX_SUM_POWER의 결과가 상당히 MAX_SUM_CAP의 결과에 근접한 결과를 도출함을 의미하며, 실험의 위치 및 여러 상수 값의 조합이 유연히 이를 가능하게 한 것으로 보인다. 다시 말해서 현재의 실험 상황이 제약조건을 만족시키는 것만으로도 빠듯하여 내부 성능의 최적화 여지가 별로 없다는 것으로 해석될 수 있다. 결과적으로 두 목적 함수 사이의 차이가 크게 드러나지 못하는 결과를 가져온 것이다.

4.2.2 (0 m, 200 m)에서 성능평가

표 4.2.2와 그림 4.6에서 확인 할 수 있듯, MAX_SUM_POWER와 MAX_SUM_CAP 모두에 대해, SC-RAS 설치 후 외부 성능의 큰 열화 없이 내부 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 그러나 (0m, 520m)의 결과에서와는 다르게, MAX_SUM_CAPACITY의 경우 더 큰 성능향상이 있음을 확인할 수 있다.

이는 MAX_SUM_POWER의 한계를 잘 보여주는

표 4.2.2 설치된 SC-RAS의 해 (MAX_SUM_PWR/MAX_SUM_CAP)

index	2	4	6	8
FA	3/1	1/1	1/1	2/2
Power	0.01/100	0.01/0.01	20.11/0.01	0.22/0.04
index	11	13	15	17
FA	3/3	1/2	1/2	3/1
Power	0.03/0.08	0.01/0.01	100/0.01	0.01/0.04
index	20	22	24	26
FA	1/1	1/1	1/2	1/1
Power	60.97/0.01	59.95/0.06	100/0.01	60.98/14.74

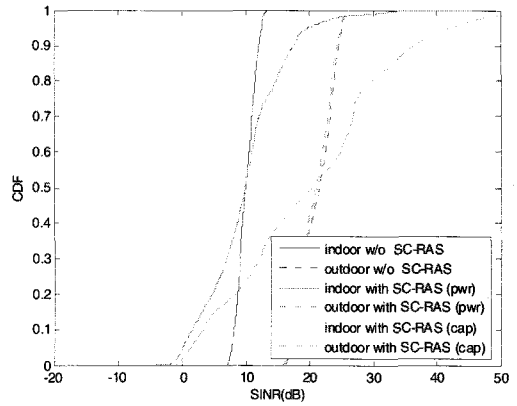


그림 4.6 SINR의 CDF

결과가 이며, SINR 관점의 내부 성능의 향상을 위해서는 반드시 MAX_SUM_CAP 등과 같이 직접적인 내부 성능에 대한 고려가 들어있는 목적함수의 개발이 필요함을 말한다.

V. 결론

본 논문에서는 실내 소형 와이브로 기지국인 SC-RAS를 다 층의 건물에 설치할 때 건물 내 전체 커버리지를 만족하면서 외부 와이브로 접속 사용자에 대한 간섭이 제약되도록 전송 전력 및 FA, 그리고 SC-RAS 설치 위치를 최적화하는 문제를 혼합 정수 계획법으로 서술하고 성능평가를 진행하였다. 이를 위해 고안된 두 목적함수 중에서 설치된 SC-RAS들의 전송 전력의 합을 최소화하는 것은 주어진 상황에 따라 내부성능을 최대화 하는 문제에 근접한 결과를 줄 수는 있으나 내부 SINR 성능과의 명확한 상관관계를 밝히기 어렵다는 한계점이

있으며, 선형 근사된 Shannon capacity를 이용하는 목적함수는 근사 오류 및 느린 수행 속도의 단점은 있지만 채널 용량 관점에서 좀 더 최적화된 SINR 분포를 만들어 준다는 장점이 있다.

참 고 문 헌

[1] TTA, TTAS.KO-06.0065, Specifications for 2.3 GHz band Portable Internet Service-Medium Access Control Layer

[2] <http://www.ktwibro.com/>

[3] H. Claussen, L. T. W. Ho, L. G. Samuel, "Financial Analysis of a Pico-Cellular Home Network Deployment," *IEEE ICC*, 2007.

[4] <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1225/en>

[5] A. Eisenblatter, H. Geerdes, I. Siomina, "Integrated Access Point Placement and Channel Assignment for Wireless LANs in an Indoor Office Environment," *WoWMoM 2007*, June 2007.

[6] K. Aardal, S. V. Hoesel, A. M. C. A. Koster, C. Mannino, A. Sassano, "Models and solution techniques for frequency assignment problems," *A Quarterly Journal of Operations Research*, Vol.1, No.4, pp.261-317, Dec. 2003.

[7] G. Cornuejols, R. Sridharan, J. M. Thizy, "A comparison of heuristics and relaxations for the capacitated," *European Journal of Operational Research*, Vol.50, No.3, pp.280-297, Feb. 1991.

[8] S. Hurley, "Planning Effective cellular mobile radio networks," *IEEE Trans. of Vehicular Technology*, Vol.12, No.5, pp.243-253, 2002.

[9] Y. Lee, K. Kim, Y. Choi, "Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs," *Local Computer Networks*, pp.831-836, Nov. 2002.

[10] K. Leung, B. Kim, "Frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks," *VTC 2003-Fall*, Oct. 2003.

[11] X. Ling, K. Yeung, "Joint access point placement and channel assignment for 802.11 wireless LANs," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Mar. 2005.

[12] J. Riihijarvi, M. Petrova, P. Mahonen, "Frequency allocation for WLANs using graph

colouring techniques," *Wireless On-demand Network Systems and Services*, Jan. 2005.

[13] E. G. Villegas, R. V. Ferro, J. P. Aspas, "Implementation of a Distributed Dynamic Channel Assignment Mechanism for IEEE 802.11 Networks," *PIMRC*, Sep. 2005.

[14] P. Wertz, M. Sauter, F. A. Landstorfer, G. Wolfle, R. Hoppe, "Automatic optimization algorithms for the planning of wireless local area networks," *VTC-2004-Fall*, Sep. 2004.

한 광 훈 (Kwanghun Han)

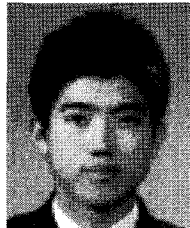
정회원



2004년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업
 2004년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사통합과정
 <관심분야> 무선통신공학, 무선자원관리

나 민 수 (Minsoo Na)

정회원



2007년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업
 2007년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
 <관심분야> 무선통신공학

최 영 규 (Youngkyu Choi)

정회원



2003년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업
 2003년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사통합과정
 <관심분야> 무선통신공학, 네트워크 최적화

김 동 명 (Dongmyoung Kim)

정회원



2005년 2월 서울대학교 전기공학
부 졸업
2005년 3월~현재 서울대학교 전
기컴퓨터공학부 석박사통합과정
<관심분야> 무선통신공학, 무선
자원관리

한 기 영 (Kiyoung Han)

정회원



1997년 8월 서울대학교 전기공학
부 졸업
2000년 2월 서울대학교 전기공학
부 석사
2004년 8월 서울대학교 전기공학
부 박사
2004년 9월~현재 삼성전자 통신
연구소 책임연구원

<관심분야> 이동통신공학

최 성 현 (Sunghyun Choi)

종신회원



1992년 2월 KAIST 전기및전자공
학과 졸업
1996년 2월 KAIST 전기및전자공
학과 석사
1999년 9월 The University of
Michigan 박사
1999년 8월~2002년 8월 Philips

미국 연구소 선임연구원 및 프로젝트 리더

2002년 9월~현재 서울대학교 전기공학부 부교수

<관심분야> 무선네트워크

윤 순 영 (Soonyoung Yoon)

정회원



1988년 2월 서울대학교 전자공학
과 졸업
1990년 2월 카이스트 전기및전자
공학과 석사
1995년 2월 카이스트 전기및전자
공학과 박사
1995년 3월~현재 삼성전자 통신연
구소 수석연구원

<관심분야> 이동통신공학