

셀룰러 망의 에너지 소모 최적화 기법

이 중걸*, 백주훈*, 최용훈^o

Optimization of Energy Consumption in Cellular Access Networks

Jung-girl Lee*, Ju-hoon Back*, Yong-hoon Choi^o

요 약

최근 전력난으로 인해 각 분야에서 에너지 절감을 위한 기술에 대한 연구가 활발하게 진행됨에 따라 네트워크 분야에서도 에너지 절감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 변화하는 트래픽 밀도에 따라 기지국의 전송파워를 조절하여 트래픽이 없거나 적은 경우 발생하는 불필요한 기지국의 에너지 소모를 줄임으로서 기지국의 소모 에너지를 절감하는 셀 주밍 기법을 제안하고, 트래픽의 변화에 따른 기지국의 서비스 시나리오를 비교하여 에너지 절감을 확인하였다.

Key Words : green networks, cell zooming, energy saving

ABSTRACT

The recent electric power shortage has led to the vigorous study for energy conservation in the many different fields. In this paper, cell zooming technology, which can reduce the energy loss at the base stations controlling the transmission power of the stations depending on the changing traffic density for reduce energy consumption that occurs when there is little or no traffic in the service area, is proposed and energy conservation is confirmed by comparing base stations' service scenario depending on traffic change.

I. 서 론

최근 전력난으로 인해 각 분야에서 에너지 절감을 위한 기술들에 대한 연구가 활발하게 진행됨에 따라 네트워크 분야에서도 에너지 절감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

셀룰러 네트워크 분야에서의 에너지 소모는 기지국의 소모 에너지, 모바일 단말의 정보 교환에 따른 소모 에너지, 코어 네트워크의 소모 에너지, 데이터 센터의 소모 에너지로 크게 네 가지 부분으로 나뉜다.

그 중, 기지국의 에너지 소모가 전체 모바일 네트워크의 에너지 소모 비율 중 57%를 차지하며, 가장 큰 비율을 차지하고 있다^[1]. 최근 스마트 기기의 대대적인 보급으로 인해 트래픽이 폭증함에 따라 많은 기지국이 설치되었다. 하지만 기존의 기지국 서비스 방법은 트래픽의 변화와는 무관하게 항상 모든 기지국이 서비스를 함으로서 트래픽이 없거나, 혹은 적은 경우 불필요한 에너지 소모를 발생시켰다. 이러한 에너지 소모를 줄이기 위하여 전송파워를 조절하여 기지국의 서비스 범위를 조절하거나 기지국을 off 시킴으로서 기

* 본 연구는 2012년 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응솔루션> 글로벌프론티어 사업으로 수행된 연구임(2012M3A6A3057162).

* 본 연구는 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2012R1A1A2044107).

• First Author : 광운대학교 제어계측공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, dlwndrjf8712@gmail.com, 학생회원

o Corresponding Author : 광운대학교 제어계측공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, yhchoi@kw.ac.kr, 중신회원

* 광운대학교 제어계측공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실

논문번호 : KICS2013-07-307, 접수일자 : 2013년 7월 25일, 심사일자 : 2013년 9월 25일, 최종논문접수일자 : 2014년 2월 7일

지국의 에너지 소모를 절감하는 셀 주밍 기법(cell zooming)이 제안되었다²⁾.

셀 주밍 기법에 대한 연구는 발생하는 트래픽의 양에 따라 기지국의 전송파워를 조절하고, 기지국의 전원을 on/off함으로써 기지국의 소모 에너지를 절감하는 셀 주밍 기법의 방법론에 대한 연구³⁾에서, 셀 주밍 기법의 적용을 전제로 네트워크 기획 단계에서 결정되는 기지국의 배치를 고려한 셀 주밍 기법의 효율성에 대한 연구⁴⁾까지 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 단순히 트래픽의 양에 따라 기지국의 전송파워를 조절하여 셀의 크기를 조절한다면 커버리지 홀의 발생할 가능성이 있고, 또한 이미 설치되어 있는 기지국들의 위치를 변화시키는 것 역시 금전적인 문제 등으로 실제 적용하기에는 많은 문제점이 있다.

셀 주밍 기법과 유사한 기술로는 셀 호흡(cell breathing) 기법이 있다. 셀 호흡 기법은 트래픽의 양이 증가하면 기지국의 전송파워를 조절하여 기지국의 서비스 범위를 이웃 기지국으로 단말의 서비스를 넘겨주는 방법이다. 셀 호흡 기법은 현재 CDMA 네트워크에 적용되고 있다⁵⁻⁷⁾.

셀 주밍 기법과 셀 호흡 기법은 유사하지만 서로 다른 목적을 위하여 제안되었다. 셀 호흡 기법은 트래픽 로드의 밸런스를 위하여 제안된 반면에 셀 주밍 기법은 소모 에너지 절감이 목표이다. 또한 셀 호흡 기법은 평소에는 기지국 커버리지를 일정하게 유지하고 트래픽 로드가 높아졌을 때 기지국의 커버리지를 줄여 트래픽 로드를 낮춰주지만, 셀 주밍 기법은 트래픽의 양에 따라 기지국 스스로가 커버리지를 유동적으로 조절하며 해당 기지국의 서비스가 필요 없을 경우 기지국을 off시킴으로써 트래픽에 따른 소모 에너지 절감을 최대화 한다. 이때, 기지국을 off시키기 위해서는 많은 제약사항들을 고려해야 한다. 커버리지 홀이 생기지 않아야 하고, 기지국을 off함으로써 다른 기지국에 인가되는 트래픽이 기지국 서비스율을 넘지 않아야 한다. 이러한 이유로 기지국을 on/off 시키기 위한 방법에 대한 연구들도 진행되고 있다⁸⁻¹⁰⁾. 또한 셀 호흡 기법은 단순히 기지국에 인가된 트래픽 로드 에 근거하여 기지국의 커버리지를 조절하지만, 셀 주밍 기법은 트래픽 로드, 트래픽 밀도, 혹은 전체 네트워크의 소모 에너지 등, 다른 제약사항들을 고려하여 기지국의 커버리지를 조절할 수 있다.

본 논문에서는 변화하는 트래픽 밀도에 따라 기지국의 전송파워를 조절하여 기지국들의 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 셀 주밍 기법을 제안하고 이를 소모 에너지 최소화 문제로 정의하고 실제 최적의 기지

국 서비스 시나리오를 찾아낸다. 그리고 다양한 트래픽 환경에서의 실험을 통하여 제안한 셀 주밍 기법의 성능을 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 논문 2장에서는 제안하는 셀 주밍 기법의 방식을 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 방식의 에너지 절감 성능을 평가한다. 그리고 4장에서는 논문을 결론짓는다.

II. 본 론

2.1 제안하는 셀 주밍 기법

기지국의 소모 전력 $P_i(t)$ 는 식(1)과 같이 구할 수 있다¹¹⁾. 각 장비들의 소모 전력은 전송파워 P_{Tx} 와 P_{amp} 외에는 모두 일정한 값을 가지고, P_{amp} 는 식(2)와 같이 전송파워 P_{Tx} 에 의해 결정된다.

$$P_i(t) = n_s^* (n_{Tx} * P_{amp} + P_{trans} + P_{dsp} + P_{conv} + P_{gen}) + P_{link} + P_{aircon}, \quad (1)$$

$$where P_{amp} = \frac{P_{Tx}}{\eta}, \quad (2)$$

이때, LTE(long term evolution) 기지국 내의 각 장비들의 소모 전력은 표 1과 같다¹¹⁾.

본 논문에서는 트래픽 밀도와 커버리지 제약을 고려하여, 네트워크의 총 에너지 소모량 E_{net} 을 최적화 문제로 공식화 하였다.

$$Minimize E_{net} = \sum_{i=1}^n P_i(t)dt, \quad (3)$$

$$subjectto 0 \leq P_i(t) \leq P_{max}, \quad (4)$$

$$0 \leq \rho_i(t) \leq \rho_{max}, \quad (5)$$

$$\bigcup_{i=1}^n S_i = U, \quad (6)$$

$$\iint_{S_i} \lambda(t;x,y)dx dy \leq \mu_i, \quad (7)$$

$$variable \{P_i(t)\}, \quad (8)$$

$$where \rho_i(t) = \iint_{S_i} \frac{\lambda(t;x,y)}{\mu_i(t)(SINR(x,y))} dx dy, \quad (9)$$

표 1. LTE 기지국 내 장비들의 소모 전력
Table 1. Power consumption of equipment in LTE base station

Equipment	Description	Value(unit)
n_s	The number of sector	3
n_{Tx}	The number of antenna	1
P_{amp}	Energy consumption of power amplifier	- (W)
P_{trans}	Energy consumption of transceiver	100(W)
P_{dsp}	Energy consumption of digital signal processing	100(W)
P_{conv}	Energy consumption of AC-DC converter	100(W)
P_{gen}	Energy consumption of signal generator	384(W)
P_{link}	Energy consumption of microwave link	80(W)
P_{aircon}	Energy consumption of air conditioning	690(W)
η	Efficiency of power amplifier	6.67(%)
$P_{Tx,i}$	Transmission power of BS(base station) i	- (W)

$$SINR(x,y) = \frac{g_i(x,y)P_{Tx:i}}{\sum_j g_j(x,y)P_{Tx:j} + P_{Noise}} (i \neq j). \quad (10)$$

식(6)은 기지국이 셀 주밍을 진행하였을 때 기존의 서비스 범위 내에 커버리지 홀이 생기지 않아야 한다는 제약사항을 의미한다. 그리고 식(4)-식(10)의 기호들이 의미는 표 2와 같다.

본 논문의 목적은 네트워크 총 에너지 소모량 E_{net} 을 최소화하는 셀 주밍 시나리오 $P=[P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)]$ 를 찾아내고 그 중 최적의 기지국 서비스 시나리오를 찾아내는 것이다. 이때, P 는 여러 개가 존재할 수 있으며 가능한 각 시나리오를 $P^{(i)}$ 로 나타내기로 한다.

본 논문에서 제안하는 셀 주밍 기법은 크게 5단계로 나뉜다. 첫 번째 단계는, 제안하는 셀 주밍 기법을 적용하였을 때, 기존의 기지국 서비스 방법에 따른 서비스 지역에 커버리지 홀 발생의 유무를 검사한다. 두 번째 단계는, 기지국들의 서비스 범위에 따른 $\rho_i(t)$ 를 계산한다. 세 번째 단계는, 커버리지 홀이 생기지 않고, 서비스를 제공할 기지국들의 $\rho_i(t)$ 가 모두 $\rho_{max}(t)$ 이하인 서비스 시나리오를 찾아낸다. 네 번째 단계는, 세 번째 단계를 만족시키는 서비스 시나리오 중 E_{net} 이 최소인 서비스 시나리오를 찾아낸다. 이때, 서비스 시나리오를 찾아내는 방법으로서 Exhaustive

표 2. LTE 기지국 내 장비들의 소모 전력
Table 2. Power consumption of equipment in LTE base station

Parameter	Description	unit
P_{max}	Maximum energy consumption of a BS	W(watt)
$\rho_i(t)$	Traffic density of BS i	-
ρ_{max}	Maximum traffic density allowed by the BS	-
$\lambda(t;x,y)$	Average traffic arrival rate at (x,y)	bps/km2
$\mu_i(t)$	Service rate of BS i	bps
S_i	Service area of BS i	-
U	Service area of the experimental environment	
$SINR(x,y)$	SINR at (x,y)	-
$g_i(x,y)$	Transmission gain of BS i at (x,y)	-
P_{noise}	Noise power	W(watt)

Search(ES)를 이용하였다.

III. 실험

3.1 실험 환경

본 논문에서 제안하는 셀 주밍 기법이 적용될 환경은 Urban, Suburban, Rural으로 3가지로 나뉜다. 이때, 기지국의 배치는 그림 1과 같고 실험환경은 표 3과 같다.

Path-loss(PL)는 3GPP TR 36.814 V9.0.0의 primary module path loss model^[12]의 line-of-sight (LOS)의 경우를 이용하여 표 4와 같이 계산하였다. 이때, d 는 단말과 기지국의 거리이고, d_{BP} 는 break point distance이다. 기지국들은 LTE Macrocell이라 가정하였고, 기지국은 0W, Low power, High power 중 하나의 전송파워로 서비스를 진행한다고 가정하였



그림 1. 실험공간과 기지국 배치
Fig. 1. Experimental environment and the base station deployment

표 3. 실험환경
Table 3. Experimental environment

Parameter	Urban	Suburban	Rural	
The number of BS	19			
Distance between BSs (km)	1.212	2.944	6.000	
Transmission gain	$g_i(x,y)=PL^{-1}$			
ρ_{max}	0.7			
Cell Range	0W	0km	0km	
	Low power	0.7km	1.7km	3.5km
	High power	1.913km	4.645km	9.560km

표 4. Path-loss 모델
Table 4. Path-loss model

Environment	Distance	Path-loss Model
Urban	10m<d<dBP	$PL = 22.01\log_{10}(d) + 28.0 + 20\log_{10}(f_c)$
	dBP<d<5,000m	$PL = 40\log_{10}(d) + 7.8 - 18\log_{10}(h'_{BS}) - 18\log_{10}(h'_{UT}) + 2\log_{10}(f_c)$
Suburban	10m<d<dBP	$PL_1 = 20\log_{10}(40\pi df_c / 3) + \min(0.03 h^{1.72}, 10)\log_{10}(d) - \min(0.044 h^{1.72}, 14.77) + 0.002\log_{10}(h)d$
	dBP<d<5,000m	$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40\log_{10}(d/d_{BP})$
Rural	10m<d<dBP	$PL_1 = 20\log_{10}(40\pi df_c / 3) + \min(0.03 h^{1.72}, 10)\log_{10}(d) - \min(0.044 h^{1.72}, 14.77) + 0.002\log_{10}(h)d$
	dBP<d<10,000m	$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40\log_{10}(d/d_{BP})$

고, 0W의 전송파워로 서비스를 진행하는 경우 기지국은 off상태가 된다고 가정하고 이때 기지국의 소모 전력은 0W라 가정하였다. 기지국 i의 서비스율 $\mu_i(t)$ 는 100Mbps라고 가정하였고, 주파수는 1.8GHz, 대역폭은 20MHz라고 가정하였다. 수신감도(receiver sensitivity)는 -95dBm이라 가정하였다. 서비스 지역이 증첩되는 지역에 위치하는 단말의 경우, 단말에서 가장 가까이 위치한 기지국이 서비스를 제공한다고 가정하였다.

트래픽은 실험 전체 환경에 균일한 트래픽을 발생하는 경우(Case 1), Cell 1에는 높은 트래픽을 발생하

고 나머지 지역에서는 낮은 트래픽을 발생하는 경우(Case 2), Cell 1, 2, 3에서는 높은 트래픽이 발생하고 나머지 지역에서는 낮은 트래픽이 발생하는 경우(Case 3)로 나누어 실험을 진행하였다.

3.2 실험 결과

셀 주밍 기법을 사용하지 않는 경우 세 실험환경 모두에서 그림 2와 같이 19개의 기지국이 모두 전송 파워를 Low power로 zoom in하여 서비스한다.

발생하는 트래픽과는 무관하게 19개의 기지국이 모두 서비스를 진행하게 되고 이때 네트워크 총 소모 에너지는 Urban에서의 경우 약 53,624W, Suburban에서의 경우 53,635W, Rural에서의 경우 53,762W이다.

따라서 트래픽이 없거나 적은 경우에도 모든 기지국들이 서비스를 하게 됨으로서 불필요한 에너지 소모가 발생한다. 이때, 그림 2의 점들은 기지국, 원은 기지국들의 커버리지 이다.

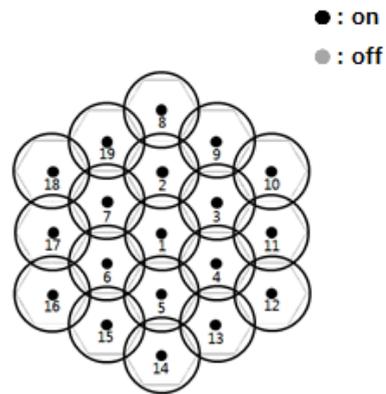


그림 2. 셀 주밍 기법을 사용하지 않은 서비스 시나리오
Fig. 2. Typical service scenario without applying cell zooming strategy

3.2.1 실험 환경이 Urban인 경우의 결과

Urban 환경의 실험 결과를 표 5로 요약하였다. 트래픽 부하 λ 가 0-1,689Kbps/km²인 경우, 그림 3과 같이 4개의 기지국을 zoom out하고 나머지 15개의 기지국을 off하는 시나리오들이 나타난다. 여기서 각 시나리오에 따라 서비스 기지국 간의 거리가 다르므로 서비스 기지국들이 받는 간섭의 영향도 다르기 때문에 시나리오에 따라 서비스 가능한 트래픽의 양이 다르다. 실제 λ 를 0Kbps/km²에서 1,689Kbps/km²까지 증가시켜보면, λ 가 0-1,163Kbps/km²인 경우엔 서비스 시나리오가 9개, 1,164-1,684Kbps/km²인 경우엔 6개, 1,685-1,686Kbps/km²인 경우 4개가 나타나고, 이

표 5. Urban에서의 실험결과
Table 5. Result of experiment in Urban Area

Traffic (Kbps/km ²)		The number of BS			E _{net} (W)	G (%)
		Off	zoom in	zoom out		
Case 1	0-1,688	15	0	4	11,350	80
	1,689-8,381	14	1	4	14,173	74
	8,382-8,625	10	6	3	25,447	53
	8,626-49,356	0	19	0	53,624	
Case 2	Cell 1: 43,300 Else: 8,300	14	1	4	14,173	74
Case 3	Cell 1,2,3: 43,300 Else: 8,300	10	6	3	25,447	53

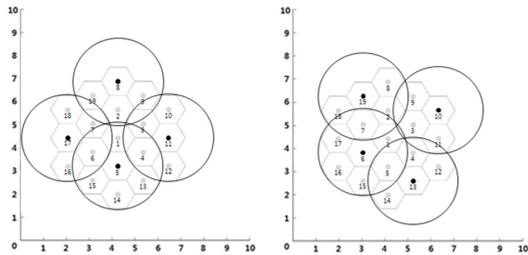


그림 3. Urban-Case 1의 서비스 시나리오 중 일부
(λ: 0-1,688Kbps/km²)
Fig. 3. Selective service scenarios in Urban-Case 1
(λ: 0-1,688Kbps/km²)

후에도 λ가 높아질수록 서비스 기지국들 간 간섭의 영향이 큰 서비스 시나리오들은 트래픽 밀도 제약을 만족시키지 못하여 제외된다. 표 5에서 Gain (G)은 셀 주밍을 하지 않은 시나리오 (그림 2)에 대비한 에너지 소모량을 백분율로 표현한다.

λ가 1,687Kbps/km²가 되면 표 6과 같은 하나의 서비스 시나리오 P가 남는데, 이는 4개의 기지국이 zoom out하고 15개의 기지국이 off되는 서비스 시나

리오들 중 표 6의 서비스 시나리오가 서비스 기지국 간 간섭의 영향이 가장 작다는 것을 의미한다. 이 후, λ가 1,689Kbps/km²에 이르면 그림 4와 같은 서비스 시나리오가 나타난다. 이때, 1번 기지국의 전송파워가 낮아 zoom out 상태인 나머지 4개의 기지국에 적은 간섭 영향을 주게 되고, zoom out상태인 4개의 기지국들 간 거리는 표 6의 서비스 시나리오보다 멀어짐으로서 간섭의 영향이 줄어 표 6의 서비스 시나리오보다 더 많은 트래픽을 서비스 할 수 있다. λ가 1,689-8,381Kbps/km²인 경우에도 역시 처음에는 15개의 서비스 시나리오가 나타나지만 λ가 커짐에 따라 최종적으로 그림 4가 나타내는 두 개의 서비스 시나리오만 남는다.

이 후, λ가 8,382Kbps/km²이 되면 그림 5와 같은 서비스 시나리오가 나타난다. λ가 8,382-8,625Kbps/km²일 때 나타나는 서비스 시나리오는 총 6개이다. 해당 6개의 서비스 시나리오는 zoom in, zoom out된 서비스 기지국들만 바뀌었을 뿐, 서비스 기지국의 배치와 같은 유형을 띄고 있고, 따라서 모든 시나리오가 같은 양의 트래픽을 소화할 수 있다. 이 후, λ가 8,626Kbps/km²이 되면 기존의 서비스 시나리오와 같은 서비스 시나리오가 나타나고, λ가 49,356Kbps/km²을 넘어서면 본 논문에 주어진 실험환경으로는 서비스할 수 없게 된다.

그림 6은 λ가 Case 2인 경우 가능한 서비스 시나리오 중 일부이다. λ가 높은 Cell 1에 위치한 기지국은 zoom in하고, 그 외 지역은 4개의 기지국이 zoom out하여 서비스한다.

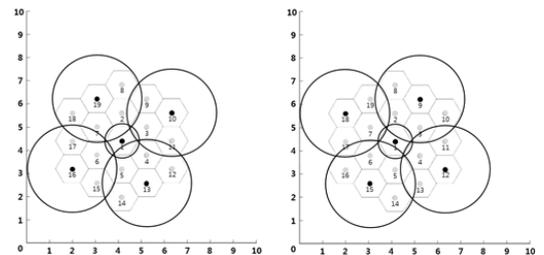


그림 4. Urban-Case 1의 서비스 시나리오 중 일부
(λ: 1,689-8,381Kbps/km²)
Fig. 4. Selective service scenarios in Urban-Case 1
(λ: 1,689-8,381Kbps/km²)

표 6. Urban-Case 1의 서비스 시나리오 P (λ: 8,382-8,625Kbps/km²)
Table 6. Service scenario P in Urban-Case 1 (λ: 8,382-8,625Kbps/km²)

P	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉
P ⁽¹⁾	0	0	0	0	H	0	0	H	0	0	H	0	0	0	0	0	H	0	0

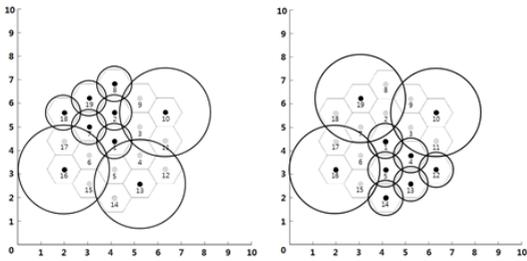


그림 5. Urban-Case 1의 서비스 시나리오 중 일부
 (λ: 8,382-8,625Kbps/km²)
 Fig. 5. Selective service scenarios in Urban-Case 1
 (λ: 8,382-8,625Kbps/km²)

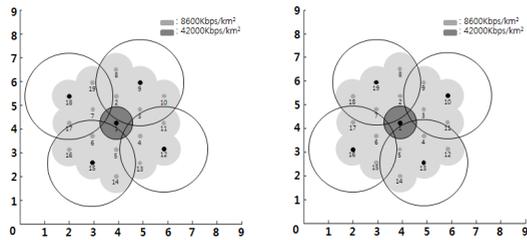


그림 6. Urban-Case 2의 서비스 시나리오 중 일부
 Fig. 6. selective service scenarios in Urban-Case 2

그림 7은 λ가 Case 3인 경우 가능한 서비스 시나리오이다. 이때, 높은 트래픽이 발생하는 Cell에 위치한 1, 2, 3번 기지국은 zoom in을 하여 서비스한다. Cell 8, 9, 10의 경우 9번 기지국을 zoom out하여 하나의 기지국으로 서비스할 수 있지만, 이 경우 중첩되는 2, 3번 기지국으로부터 받는 간섭 영향으로 인해 8,300Kbps/km²의 트래픽을 서비스하지 못하게 된다.

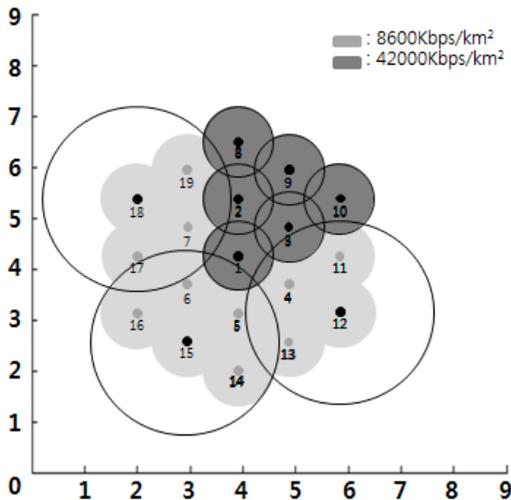


그림 7. Urban-Case 3의 서비스 시나리오
 Fig. 7. Service scenario in Urban-Case 3

따라서 8, 9, 10번 기지국 역시 zoom in하여 서비스해야 한다. 그 외의 지역은 12, 15, 18번 기지국이 zoom out하여 서비스한다.

3.2.2 실험 환경이 Suburban인 경우의 결과

Suburban에서의 실험결과는 표 7과 같다. Urban에서의 실험 결과와 유사한 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 다만 실험 전체 환경에서 균일한 트래픽이 발생하고 λ가 474-495Kbps/km²일 때 Urban에서의 실험결과와는 다르게 서비스 기지국이 각각 12, 15, 16개인 기지국 서비스 시나리오가 나타나는데 이는 실험환경에 따라 다른 Path loss모형을 사용하여 기지국간 간섭의 영향이 달라짐에 따라 나타난 결과이다.

표 7. Suburban에서의 실험결과
 Table 7. Result of experiment in Suburban Area

Traffic (Kbps/km ²)	The number of BS			E _{net} (W)	G (%)
	Off	zoom in	zoom out		
0-245	15	0	4	11,486	79
246-470	14	1	4	14,307	74
471-473	10	6	3	25,551	53
474-480	7	10	2	33,971	37
481-493	4	14	1	42,392	21
494-495	3	15	1	45,215	17
496-2,858	0	19	0	53,635	0
Case 2 Cell 1: 2,400 Else: 470	14	1	4	14,307	74
Case 3 Cell 1,2,3: 2,400 Else: 470	10	6	3	25,551	53

3.2.3 실험 환경이 Rural인 경우의 결과

Rural에서의 실험결과는 표 8과 같다. Rural에서의 실험결과는 Urban과 λ의 범위만 다를 뿐, 동일한 기지국 서비스 시나리오가 나타난다.

IV. 결론

본 논문에서는 트래픽 밀도의 변화에 따라 기지국

표 8. Rural에서의 실험결과
Table 8. Result of experiment in Rural Area

Traffic (Kbps/km ²)	The number of BS			E _{net} (W)	G (%)	
	Off	zoom in	zoom out			
Case 1	0-37	15	0	4	12,977	76
	38-301	14	1	4	15,806	71
	302	10	6	3	26,710	50
	303-1,264	0	19	0	53,762	0
Case 2	Cell 1: 1,200	14	1	4	15,806	71
	Else: 300					
Case 3	Cell 1,2,3: 1,200	10	6	3	26,710	50
	Else: 300					

의 전송파워를 제어하여 셀의 범위와 서비스 상태를 조절함으로써 셀룰러 네트워크의 에너지를 절감하는 셀 주밍 기법을 제안하였다.

Urban, Suburban, Rural에서의 실험 모두에서 트래픽이 적게 발생하는 경우 제안한 셀 주밍 기법이 기존의 기지국 서비스 방법보다 소모 에너지 절감 측면에서 더 유리하다는 것을 확인할 수 있었고, 지역에 따라 발생하는 트래픽이 다른 경우에도 제안한 셀 주밍 기법이 기존의 기지국 서비스 방법보다 소모 에너지 절감 측면에서 더 유리하다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 많은 트래픽이 발생하는 경우에는 기존의 기지국 서비스 방법과 동일한 에너지를 소모하는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 셀 주밍 최적화 문제를 해결하기 위해, Exhaustive Search를 사용하였으나, 향후 계산 복잡도를 낮출 수 있는 최적화 알고리즘을 개발할 예정이다.

References

[1] C. Han, "Green radio: Radio techniques to enable energy-efficient wireless networks," *IEEE, Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 46-54, Jun. 2011.

[2] K. Jun, "Management of base stations having cell zooming capability for green cellular networks," *J. KICS*, vol. 36, no. 8, pp. 904-909, Aug. 2011.

[3] Z. Niu, "Cell zooming for cost-efficient green cellular networks," *IEEE, Commun. Mag.*, vol.

48, no. 11, pp. 74-49, Nov. 2010.

[4] X. Weng, D. Cao, and Z. Niu, "Energy-efficient cellular network planning under insufficient cell zooming," *Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)*, pp. 1-5, Yokohama, Japan, May 2011.

[5] Y. Bejerano and S.-J. Han, "Cell breathing techniques for load balancing in wireless LANs," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 8, no. 6, pp. 735-749, Jun. 2009.

[6] J.-M. Kelif and M. Coupechoux, "Cell breathing, sectorization and densification in cellular networks," *7th Int. Symp. In Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, 2009*. pp. 1-7, Seoul, Korea, Jun. 2009.

[7] A. Jalali, "On cell breathing in CDMA networks," *IEEE Int. Conf. Commun., ICC 98. Conf. Record*, vol. 2, pp. 985-988, Atlanta, GA, Jun. 1998.

[8] M. A. Marsan, "Optimal energy savings in cellular access networks," *IEEE Int. Conf. Commun. Workshops 2009*, pp. 1-5. Jun. 2009.

[9] L. Chiaraviglio, "Energy-aware UMTS access networks," in *Proc. IEEE W-GREEN*, pp. 1-8, Sept. 2008.

[10] S. Zhou, et. al., "Green mobile access network with dynamic base station energy saving," in *Proc. ACM MobiCom*, vol. 9, no. 262, pp. 10-12, Beijing, China, Sept. 2009.

[11] M. Deruyck, et al., "Comparison of power consumption of mobile WiMAX, HSPA and LTE access networks," *2010 9th Conf. Telecommun. Internet and Media Techno Economics (CTTE)*, pp. 1-7, Ghent, Belgium, Jun. 2010.

[12] 3GPP, *3GPP TR 36.814 V9.0.0(2010-03)*, Retrieved Oct. 5, 2013, from <http://www.3gpp.org>.

이 중 길 (Jung-girl Lee)



2012년 2월 : 광운대학교 정보
제어공학과 졸업
2012년 3월~현재 : 광운대학교
제어계측공학과 석사과정
<관심분야> 셀 주밍 기술,
Green Networks

백 주 훈 (Ju-hoon Back)



1997년 2월 : 서울대학교 기계
설계학과 졸업
1999년 2월 : 서울대학교 기계
설계학과 석사
1999년 2월 : 서울대학교 전기
공학부 박사
2008년 9월~현재 : 광운대학교
로봇학부 부교수

<관심분야> 비선형 제어, 다개체 시스템, 풍력발전
제어 시스템

최 용 훈 (Yong-hoon Choi)



1995년 2월 : 연세대학교 전자
전자공학과 공학사
1997년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 공학석사
2001년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 공학박사
2001년 4월~2002년 3월 : (미)

매릴랜드 주립대 Postdoctoral Research Associate
2002년 6월~2002년 8월 : LG전자 정보통신사업부
네트워크 연구소 책임연구원
2005년 9월~현재 : 광운대학교 정보제어공학과/로봇
학부 부교수
<관심분야> 차량 통신 시스템, 실감교류, 네트워크
관리