

그린 셀룰러 네트워크를 위한 Cell Zooming 기능을 가진 기지국들의 관리

정회원 전 경 구*

Management of Base Stations having Cell Zooming Capability for Green Cellular Networks

Kyungkoo Jun* *Regular Member*

요 약

셀 주밍은 트래픽 변화에 따라 기지국의 셀 범위를 적응적으로 변화시킬 수 있도록 한다. 이러한 셀주밍은 안테나 각도 조절, 기지국 클러스터링 혹은 셀 릴레이를 통해 구현될 수 있다. 셀룰러 네트워크는 셀주밍을 이용하여 에너지 효율적으로 셀 범위를 조절하여 기지국에 소비되는 에너지를 절감할 수 있다. 하지만 기지국의 소비 에너지 절감과 사용자 측면에서의 호 단절 확률 간에는 trade-off가 있어 적절한 관리방법이 필요하다. 이를 위해 주기적으로 기지국들의 셀 주밍을 조절하는 방식이 사용되었다. 그러나 이 방식은 일정주기에 따라 동작하기 때문에 동적 특성을 가지는 트래픽의 경우에 적절하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 트래픽 상황에 따라 반주기적 (semi-periodic)으로 기지국의 셀주밍을 관리하는 방식을 제안했다. 이와 관련하여 반주기적 셀주밍을 하는 기지국 선정방법과 그러한 기지국들의 동작방식도 제안했다. 시뮬레이션을 통한 성능평가에서 제안방식이 기존 방식보다 에너지 소비를 절감하면서도 비슷한 수준의 호 단절 확률을 유지할 수 있는 것을 확인하였다.

Key Words : cell zooming, handoff, energy saving, blocking probability, green cellular networks

ABSTRACT

Cell zooming adjusts the cell range of base stations depending on traffic condition. The cell zooming can be implemented by the adjustment of antenna angles, the clustering of the base stations, and the cell relay. The base stations can adjust the cell range in term of energy efficiency, which can then reduce the overall energy consumption of cellular networks. There is, however, a trade-off between the energy savings and the blocking probability of user calls. A periodic scheme that manages the cell zooming of the base stations was proposed but it was inadequate for dealing with the dynamic nature of traffic patterns. This paper proposes a semi-periodic cell zooming scheme along with the algorithms that select such base stations and define the operation procedure. Simulation results show that the proposed method outperforms the existing scheme in terms of the energy savings without the degradation of the blocking probability.

I. 서 론

에너지 효율이 중요시되면서 통신 분야에서도 그린 셀룰러 네트워크 (green cellular networks) 구현을 위

한 기술들에 관심이 모이고 있다. [1]에 따르면 이동통신망의 전체운영비용 중 60%를 차지하는 것이 기지국 관련한 전기료라고 한다. 따라서 기지국 전력관리의 효율성은 중요한 문제이다.

* 인천대학교 임베디드시스템공학과 (kjun@incheon.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-04-174, 접수일자 : 2011년 4월 11일, 최종논문접수일자: 2011년 7월 29일

이동통신 기지국망 가설 계획 (cell planning)이 피크타임 (peak time) 트래픽을 기준으로 기지국 셀의 범위와 용량을 결정하게 되면 에너지 효율 측면에서 적합하지 않다. 반대로 지나치게 에너지 효율성만을 고려하여 평균 트래픽을 기준으로 할 경우, 통화 단절 확률 (call blocking probability)이 증가되어 사용자의 불만이 높아지게 된다.

이동통신망의 에너지 절감방안에 대해 현재까지 대부분 연구들은 전송파워 (transmit power)를 최적화하는 쪽에 초점을 맞추어 왔지만, 그 효과는 제한적이었다. 반면에 기지국을 일시적인 슬립모드 (sleep mode)로 전환하는 방법들이 제안되어 에너지 절감 측면에서 어느 정도 성과를 거두었다. 특히, 트래픽 패턴이 시간에 따른 규칙성을 갖는 경우에 슬립모드를 적용하는 방법들이 시도되었다. [2]는 시간적으로 예측 가능한 트래픽 패턴에 대해 슬립모드를 적용하는 방법을 제안했으며, [3]은 사용자가 감소하는 야간에 마이크로 기지국의 전원을 차단하는 방법을 제시했다. 하지만 이러한 방법들은 트래픽 유동성 (traffic fluctuation)에 효과적으로 대응할 수 없고, 트래픽 예측이 빗나갈 경우 호 단절확률이 급격히 증가하는 단점이 있다. 또한 슬립모드 전환으로 인한 커버리지 공백 (coverage hole)이 발생하여 단절율이 증가되는 문제점도 가지고 있다.

또 다른 에너지 절감방안으로 셀줌밍(cell zooming) 방안^[4]이 제시되었다. 이는 트래픽 상황에 따라 기지국의 무선신호 전달 범위를 적응적으로 조절하는 방법이다. 셀 줌인(Cell zoom-in)과 셀 줌아웃(cell zoom-out)은 각각 도달범위를 감소하거나 증가시키는 것을 말한다. 최대상태의 셀 줌인에서 기지국은 슬립모드로 전환된다. 셀줌밍을 구현하는 방법에는 여러 가지가 있다. 전송파워조절이나 안테나 각도 조절같은 물리적 수단이 있고, 릴레이 스테이션 (relay station)^[5]을 이용하거나, 혹은 기지국 클러스터링 (clustering)^[6]을 사용할 수도 있다. 기존에 모바일이나 기지국 단위의 전송파워제어가 개별 단위에서의 에너지 효율향상을 목표로 하고 있는 반면, 셀줌밍은 전체 망 네트워크 관점에서 에너지 절감방안에 접근하고 있다.

셀줌밍을 하게 되면 에너지 절감을 하면서도 호 단절확률에 끼치는 영향을 줄일 수 있다. 예를 들어 처리하는 트래픽 양이 적은 기지국을 슬립모드로 전환하면 전력소모를 감소시킬 수 있고, 그로 인한 커버리지 공백은 이웃 기지국들이 셀 줌아웃 하여 담당할 수 있다. 또한 로드 분산에 의해 호 단절확률을 개선할 수도 있다. 오버 로드된 기지국의 트래픽을 분산시켜

처리하기 위해 이웃 기지국들이 셀 줌아웃 하여 트래픽의 일부를 할당받아 처리함으로써 단절확률을 줄일 수 있다.

하지만 일반적으로 에너지 절감과 호 단절확률 개선은 반비례하는 관계에 있다. 에너지 절감을 위해서는 슬립모드로 동작하는 기지국 개수를 최대로 해야 하지만, 이는 호 단절 확률을 증가시킨다. 반대의 경우도 이러한 대립되는 문제가 생긴다.

셀줌밍 기능을 가진 기지국들로 구성된 셀룰러 네트워크 관리를 위한 방법으로 [4]에서 중앙관리방식과 분산관리방식을 제안하였다. 중앙관리방식에서는 별도의 조정서버, CS (Coordination Server)에 의해 전체 네트워크가 조정단계 (coordination stage), 전환단계 (transition stage), 그리고 동작단계 (serving stage)를 일정주기로 반복해서 거치면서 운영된다. 조정단계에서 CS는 각 기지국들로부터 정보를 수집하여 슬립모드로 전환할 기지국을 선정한다. 이 정보에는 기지국과 현재 연계(association)된 모바일 단말들의 개수와 대역폭 사용률 (bandwidth utilization)이 포함된다. 연계된 단말이 없는 경우 그 기지국은 슬립모드로 결정된다. 또한 연계된 단말이 소수여서, 이웃 기지국으로 핸드오프 아웃 (handoff out)을 유도할 수 있을 경우에도 슬립모드로 결정될 수 있다. 조정단계에서 CS는 슬립모드로 결정되는 기지국 개수를 최대로 하는 것을 목표로 한다. 전환단계에서 기지국들은 정해진 모드로 전환하고, 동작단계 내내 그 모드를 유지한다. 동작단계의 지속시간은 조정단계와 전환단계보다 상대적으로 길다.

분산관리방식은 중앙관리방식과 유사하게 주기적인 단계로 동작하지만, CS가 관여하지 않는다. 단말들은 기지국들이 브로드캐스팅하는 연계 단말 개수와 대역폭 사용률 등의 정보를 이용하여 연계할 기지국을 직접 결정한다. 단말들이 트래픽 로드가 높은 기지국에 우선순위를 두고 차례로 연계를 시도한다. 그 결과 연계된 단말이 없는 기지국이 생길 수 있고, 그 기지국들은 슬립모드로 전환할 수 있다.

제시된 성능비교 결과를 보면 중앙관리방식이 에너지 절감과 호 단절확률 측면에서 분산방식보다 우수하다. 하지만, 두 방식 모두 주기적 동작의 한계 때문에 트래픽 로드의 유동성과 집중성 (concentration)에 효율적으로 대응하지 못한다. 조정단계에서만 슬립모드 전환결정을 할 수 있기 때문이다. 또한 조정단계의 지속시간이 동작단계에 비해 상대적으로 현저히 짧기 때문에 시간에 따른 변화폭이 클 경우 적절한 대처를 할 수가 없다. 변화에 대한 반응성을 좋게 하기 위해

주기를 짧게 할 경우 기지국의 슬립모드 전환에 따른 오버헤드로 인해 비효율적이 된다.

본 논문에서는 중앙관리방식을 개선한 방법을 제안한다. 기지국이 슬립모드 외에도 클로징 모드(closing mode)를 가질 수 있도록 한다. 이 모드의 기지국들은 동작단계에 있을지라도 연계된 단말이 모두 없다면 슬립모드로 전환할 수 있다. 또한 클로징 모드의 기지국들은 연계 단말 개수를 줄이기 위해 능동적인 노력을 한다. 이러한 클로징 모드의 추가로 인해 슬립모드로의 전환이 동작단계에서도 가능해짐에 따라 트래픽 상황변화에 보다 능동적으로 대처할 수 있게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 논문의 2장에서는 제안하는 방식을 설명하고, 3장은 시뮬레이션을 통해 제안방식의 에너지 절감 및 호 단절확률과 관련된 성능을 평가한다. 그리고 4장은 논문을 결론짓는다.

II. 셀주밍 기능을 가진 셀룰러 네트워크 관리

본 장에서는 셀주밍 기능을 가진 기지국들로 구성된 셀룰러 네트워크에서 에너지 소모를 개선할 수 있는 기지국 관리방법을 제안한다. 제안방법은 기존의 중앙관리방식과 동일하게 CS를 사용하여, 기지국들로부터 연계된 단말의 개수와 대역폭 사용률 정보를 수집한다.

기지국은 중앙관리 방식에서 사용한 기존의 활성모드(active mode)와 슬립모드 외에 클로징 모드를 갖는다. 활성모드의 기지국은 단말들의 연계 요청을 수락하고 데이터 전송을 처리한다. 슬립모드의 기지국은 단말들과 연계하지 않으면서, 스탠바이 상태 유지를 위한 최소 전력만 사용한다. 새로 추가된 클로징 모드의 기지국은 활성모드와 동일하게 동작하지만, 연계 중인 단말들의 모든 호가 종료되거나 핸드오프 아웃으로 인해 없어질 경우 그 즉시 슬립모드로 전환한다. 그리고 현재 연계 중인 단말들 외에 신규 단말로부터의 호 수락 요청이나 핸드오프 수락 요청은 제한적으로만 받아들인다. 또한 지속적으로 연계 단말들을 이웃 기지국으로 핸드오프 아웃시키고자 노력한다. 이 과정은 뒤에서 자세히 설명한다.

제안방식은 또한 기존 중앙관리방식과 같이 조정, 전환, 동작의 세 단계를 주기적으로 반복한다 하지만 조정단계는 수정되어 다음과 같은 순서로 수행된다.

순서 1: CS가 각 기지국들에게서 연계된 단말의 개수와 대역폭 정보를 수집한다.

순서 2: 연계된 단말이 없거나 핸드오프 아웃 유도에

의해 모든 단말들을 이웃 기지국으로 보낼 수 있는 기지국들을 슬립모드로 결정한다. 더 이상 슬립모드로 결정될 수 있는 기지국이 없을 때까지 반복한다. 중앙관리방식과 동일하기 때문에 자세한 설명은 생략한다.

순서 3: 순서 2에서 슬립모드로 결정되지 않은 기지국들 중 동작단계에서 슬립모드 전환이 가능할 확률이 높은 기지국들을 선정하여 클로징 모드로 선정한다. 선정 알고리즘에 대해서는 뒤에서 자세히 설명한다.

순서 4: 전환단계로 이동하여 기지국들을 결정된 모드로 전환시킨다.

클로징 모드로 기지국을 선정하는 과정을 설명하기 전에 다음 기호들을 정의한다. BS_i 를 기지국 I라 하고, 그와 연계된 단말들의 집합을 μ_i 라고 하며, $|\mu_i|$ 를 집합에 포함된 단말의 개수라 한다. 클로징모드의 기지국에 허용되는 최대 연계 단말의 개수를 η 라 한다. 이 값은 망운영자에 의해 설정된다. 그리고 BS_i 의 이웃 기지국들 중 슬립모드가 아닌 것들의 집합을 NB_i 라 한다. 각 모드의 기지국을 표시하기 위해, 클로징 모드의 기지국을 \overline{BS} , 슬립모드의 기지국을 \underline{BS} 로 표시한다. 그리고 \overline{BS} 와 연계된 단말 \overline{m}_i 들의 집합을 \overline{M} 으로 표기한다.

선정 과정에서는 슬립모드가 아닌 기지국들 중에 $|\mu_i|$ 가 작은 순서대로 다음 두 가지 요건을 모두 만족시키는지 확인하여, 만족시키는 기지국을 클로징 모드로 결정한다. 첫 번째 요건은 식 2.1과 같다.

$$|\mu_i| \leq MIN(\eta, |\mu_j|), j = \arg \min_{k \in NB_i} |\mu_k| \quad (2.1)$$

즉, 연계된 단말의 개수가 허용치 η 이하에서 이웃 기지국들 중 가장 적어야 한다. 이는 연계된 단말의 개수가 적을수록 모든 단말들을 핸드오프 아웃시킬 수 있는 확률이 높기 때문이다. 또한 \overline{BS} 는 \overline{m}_i 들에게 계속해서 핸드오프 아웃을 요구해야 하기 때문에 $|\mu_i|$ 가 작을수록 시그널링 오버헤드가 작다. 따라서 그러한 기지국을 클로징 모드로 선정하는 것이 유리하다.

두 번째 요건은 클로징 모드의 기지국이 슬립모드로 전환될 때 이웃 기지국에 의해 커버리지 공백이 당당될 수 있어야 하기 때문에, 식 2.2와 같다.

$$|\{j|j \in NB_i, BS_j \neq \overline{BS} \text{ and } BS_j \neq \widetilde{BS}\}| \geq 1 \quad (2.2)$$

NB_i 에 속한 기지국들 중 적어도 하나의 기지국 이 상은 다음 동작단계에서 슬립모드 혹은 클로징 모드 가 아니어야 한다. 그렇지 않다면 커버리지 공백에 의 해 단말들이 서비스를 받지 못하는 상황이 발생하기 때문이다.

\overline{BS} 는 동작단계에서 $\overline{M}=0$ 이 되면 슬립모드로 전 환해서 다음 조정단계까지 이를 지속한다. 그러나 만 약 다음 조정단계까지 남은 시간이 t_c 이하인 경우에는 슬립모드로 전환하지 않는다. 슬립모드에 따른 셋 다운과 그 후 재부팅에는 시간이 소요되고 시그널링 오버헤드가 발생하기 때문에 짧은 시간동안 지속되는 슬립모드의 경우에는 이득이 크지 않기 때문이다.

\overline{BS} 는 \overline{m}_i 들의 자발적인 호 종료나 핸드오프 아웃 을 기다리는 것 외에도 능동적으로 핸드오프 아웃을 요구하여, $\overline{M}=0$ 로 만들기 위해 노력한다. 이를 위해 \overline{m}_i 들에게 핸드오프 아웃을 요구하고 그리고 신규 단 말로부터의 호 수락요청은 매우 제한인 경우에만 수 락한다.

\overline{m}_i 에 대한 핸드오프 아웃요청은 시간 T_0 마다 이뤄 지는데, $\overline{m}_i \in \overline{M}$ 마다 평가함수 값을 계산하여 가장 큰 값을 갖는 것을 대상으로 한다. 평가함수는 세 가지 파라미터로 구성되는데, 첫 번째로 \overline{m}_i 가 연계할 수 있는 후보 기지국들의 대역폭 사용율의 평균 A_i 가 있다. \overline{BS} 가 \overline{m}_i 마다 핸드오프 후보 네트워크들을 알아 내어, CS로부터 제공받은 이들의 대역폭 사용율을 평균하여 A_i 를 계산한다. A_i 가 낮을수록 선정이 될 가능성이 높아지는데 이는 후보 기지국들의 대역폭 사용률이 낮을수록 \overline{m}_i 의 핸드오프 아웃 성공확률이 높 아지기 때문이다. 두 번째는 이전에 \overline{m}_i 에게 핸드오프 아웃을 요청했다가 실패한 적이 있는 경우, 그로부터 의 경과시간 t_f^i 이다. 만약 요청한 적이 없다면 $t_f^i = \max_j$ 로 설정된다. t_f^i 가 작을수록 선정하지 않는 데, 이는 너무 잦은 핸드오프 아웃 요청을 하지 않기 위해서이다. 마지막 세 번째로 \overline{m}_i 이 \overline{BS} 와 연계된 후 경과시간 t_g^i 이 고려된다. t_g^i 가 작을수록 선정하지 않 는데, 이는 짧은 시간간격 동안 잦은 핸드오프를 시도 하지 않기 위해서이다. t_g^i 가 가질 수 있는 최대값은 \max_a 이다. 세 가지 파라미터를 이용한 평가함수는 식 2.3와 같다.

$$E(\overline{m}_i) = \alpha e^{k(1-A_i)} + \beta e^{k \frac{t_f^i}{\max_f}} + \gamma e^{k \frac{t_g^i}{\max_a}} \quad (2.3)$$

여기에서, α, β, γ 는 가중치 값으로, 본 논문에서는 모두 1로 설정한다. k 는 평가함수 민감도를 결정하기 위한 상수로써, 값이 커질수록 평가함수 값이 인수들 의 작은 변화에도 크게 변경된다. 본 논문에서는 $k=8$ 로 한다.

신규 단말로부터의 호 수락요청에 대한 승인은 다 음 두 가지 경우에만 제한적으로 허락한다. 첫 번째는 신규 단말이 모든 다른 후보 기지국들과 연계에 실패 했을 경우이다. \overline{BS} 는 브로드캐스팅을 통해 단말들에 게 자신이 클로징 모드임을 알린다. 단말들은 후보 기 지국들에 호 수락 요청이나 핸드오프 수락 요청을 할 때 클로징 모드가 아닌 기지국들을 먼저 시도한다. 그 리고 모두 거절당했을 때만 \overline{BS} 에게 요청한다. 이 경 우, \overline{BS} 는 허용 가능한 대역폭 사용률 한도 내에서 수 락한다. 두 번째 경우는 이웃 기지국으로부터의 로드 분담요구가 있을 경우이다. 기지국들은 대역폭 사용률 이 일정 수준이상일 경우 이웃 기지국들에게 로드 분 담을 요청할 수 있다. 이때도 역시 클로징 모드가 아 닌 기지국들에게 먼저 요청하고, 이 후에도 사용률이 원하는 수준으로 감소되지 않았을 경우에만 \overline{BS} 에게 요청한다. 위와 같은 두 가지의 제한적인 허용은 에너 지 절감과 호 단절 확률간의 절충점을 찾기 위한 시도 이다.

\overline{BS} 는 상황에 따라 클로징 모드를 포기하고 일시적 으로 활성모드로 전환되기도 한다. 연계된 단말의 개 수 $|M| > \eta$ 가 되어 망운영자가 정한 기준보다 많아질 때이다. 핸드오프 아웃 요청을 해야 할 단말들이 많아 지면 관련 오버헤드가 커지기 때문에 클로징 모드를 일시적으로 포기한다. 또한 다음 조정단계 이전에 $\overline{M}=0$ 이 될 확률도 그만큼 낮아지기 때문이다. 또한, $|M| > \eta$ 은 그 지역의 네트워크 사용량이 전체적으로 증가했다는 것을 암시하기 때문에 활성모드의 기지국 을 늘리는 것이 필요하다. 활성모드로 일시 전환했던 \overline{BS} 는 $|M| \leq \eta$ 이 되면 다시 클로징 모드로 전환한 다. 그러나, 조정단계에서 활성모드로 결정되었던 기 지국들은 일시적으로 $|M| \leq \eta$ 이 되더라도 클로징 모 드로 전환할 수 없다. 커버리지 공백에 대한 고려가 되 어 있지 않기 때문이다. 앞서 설명한 바와 같이 조정 단계에서 기지국이 클로징 모드로 결정될 때는 커버 리지 공백에 대한 담당이 미리 고려된다.

제안 방법에 따르면 모든 기지국들이 클로징 모드로 결정될 수 없는 데, 두 가지 이유 때문이다. 하나는 커버리지 공백 때문이다. 기지국들이 이웃 기지국들과 동시에 슬립모드로 전환되면 복구될 수 없는 커버리지 공백이 발생하게 되고, 이로 인해 호 단절율이 증가한다. 두 번째 이유는 클로징 모드에서 수행해야 하는 핸드오프 아웃 요청에 따른 시그널링과 핸드오프 발생에 따른 오버헤드가 크기 때문이다. 따라서 제안 방법은 앞서 설명한 바와 같이 기지국을 클로징 모드로 결정하기에 앞서 위 두 가지 요소와 관련된 조건들을 검사한다.

III. 시뮬레이션을 이용한 성능평가

본 절에서는 트래픽 발생량이 동적으로 변하고, 일부 기지국에 집중되는 시뮬레이션 상황에서 제안방식의 성능을 평가한다. 시뮬레이션 맵은 가로세로 5x5로 배치된 육각형 셀들로 구성하고, 맵은 wrap-around 되어 경계선 효과를 없앴다. 셀 반경은 200미터이고, 최대로 셀 줌아웃 하면 400미터라고 가정하였다. 기지국이 사용하는 전력량은 활성모드와 클로징 모드에서는 400W, 최대 셀 줌아웃 상태에서는 450W이며, 슬립모드는 10W로 설정하였다. 기지국은 2.5 MHz 대역폭을 가지며, spectral efficiency는 기지국과 단말 간의 거리에 따라 50미터 이내에서는 4 bps/Hz, 200미터 이내는 2 bps/Hz, 그리고 이 이상은 1 bps/Hz로 하였다. 시뮬레이션은 120주기 동안 진행되었으며, 제안 알고리즘의 파라미터 들은 표 1과 같이 설정한다.

시뮬레이션 시작 시점에서 일정 개수의 모바일 단말들이 생성되어 맵에 균일하게 분산되어 배치된다. 단말들은 활동상태거나 비활동상태 이다. 활동상태 단말은 3 KM/h 속도로 random way point 모델에 따라 움직이며, 평균 30초의 지수분포를 따르는 시간 간격으로 신규 호를 요청한다. 호가 수락되면 평균 3분의

표 1. 제안알고리즘의 파라미터

파라미터	값
동작주기	1시간
k	8
\max_f	5분
\max_a	1분
η	15
t_o	30초
t_c	10분

지수분포를 따르는 지속시간을 가진다. 이 때 다운링크 트래픽만 발생하고, 전송율은 122 KB/s이다. 비활동상태 단말은 이동하지 않으며 신규 호 요청을 하지 않는다.

시뮬레이션 트래픽은 다음과 같이 동적으로 변한다. 1 주기를 1시간으로 가정하여, 24주기를 단위로 오전 11시 ~ 오후 7시에 해당하는 처음 8주기 동안은 $x\%$ 의 단말들을 동작상태로 설정하고, 그 다음 8주기에서는 $y\%$, 그리고 마지막 8주기에는 $z\%$ 의 단말들이 동작상태가 된다. 각 주기의 시작시점에서 확률에 따라 단말들의 상태를 결정한다. 본 논문에서는 [2]에 따라 x, y, z 를 각각 80%, 30%, 60%로 설정했다.

그리고 트래픽이 일부 기지국에 집중되는 현상을 만들어 내기 위해, 오전 11시 ~ 오후 7시에 해당하는 주기들의 시작 전에는 트래픽이 집중될 기지국을 전체 기지국 중 30% 이내에서 임의로 선정한다. 집중 기지국에 연계되는 단말들은 일정시간동안 해당 기지국 반경 내에서만 이동할 수 있다. 반경 내 체류시간은 평균 20분의 지수분포를 따르도록 한다.

그림 1은 에너지 절감 측면에서 제안방식을 평가한 결과이다. 단말들의 개수를 700개에서 1200개까지 100개씩 증가시켜 가면서 각각의 경우에 대해 시뮬레이션 시간 동안 기지국들의 전체 전력 소비량을 누적 측정하고, 최대 전력 소비량 450W를 지속적으로 사용한 경우를 100으로 하여 상대 값으로 표시하였다. 그래프에서 전체 기지국의 1/2, 1/3을 계속적으로 슬립모드로 유지하는 방식들은 '1/2 static', '1/3 static'이고, 중앙관리방식은 'Centralized'이다. 제안방식은 중앙관리방식대비 약 15%정도 에너지 소비가 개선되었음을 볼 수 있다. 이는 클로징 모드의 도입으로 인해 기지국들이 조정단계 이후에도 에너지 절감을 위

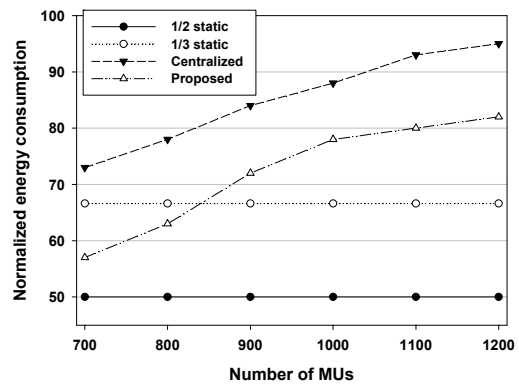


그림 1. 제안방식의 에너지 소비량 비교

해 슬립모드로 전환할 수 있기 때문이다.

그림 2는 단말들이 시도하는 모든 호 수락 요청 회수 N과 수락 성공된 회수 S를 누적하여 측정한 후 수락 거절 확률 (blocking probability) = S/N 를 계산했다. 제안방식의 호 단절확률이 1/2 static이나 1/3 static보다 낮으며, 중앙관리방식과는 유사한 수준이다. 제안방식이 중앙관리방식보다 더 적은 에너지를 사용한다는 것을 고려하면, 제안방식의 호 단절 확률 관리방식이 매우 효율적이라는 것을 알 수 있다.

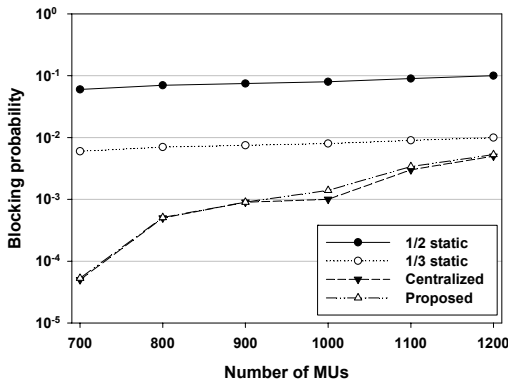


그림 2. 호 단절확률 비교

IV. 결 론

본 논문에서는 트래픽 상황에 따라 셀 범위를 적층적으로 조절할 수 있는 셀주밍 기능을 가진 기지국들로 이루어진 셀룰러 네트워크의 관리 방식을 제안하였다. 기존 관리 방식은 트래픽 변화에 적응적으로 대응하지 못한다는 단점을 가지고 있었다. 제안방식에서는 기지국이 슬립모드로 전환되는 시점을 유동적으로 결정할 수 있게 함에 따라 에너지 소비량을 개선하도록 하였다. 시뮬레이션을 통한 성능평가에서 기존 방식보다 에너지 소비를 절감하면서도 비슷한 수준의 호 단절 확률을 유지할 수 있는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J.T. Louhi, "Energy Efficiency of Modern Cellular Base Stations," in *Proc. of IEEE INTELEC '07*, Rome, Italy, Sept. 2007.
 [2] M. Marsan et al., "Optimal Energy Savings in Cellular Access Networks," *IEEE ICC*,

GreenCom Wksp., Dresden, Germany, June 2009.

[3] L. Chiaraviglio et al., "Energy-Aware UMTS Access Networks," in *Proc. of 11th Int'l. Symp. Wireless Pers. Multimedia Commun.*, Sept. 2008.
 [4] Z. Niu, Y. Wu, J. Gong, and Z. Yang, "Cell Zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks," *IEEE Comm. Mag.*, 48(11), Nov. 2010
 [5] R. Pabst, B. Walke, D. Schultz, et al., "Relay-based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," *IEEE Comm. Mag.*, 42(9), Sep. 2004
 [6] 3GPP TR 36.814 V1.2.1, "Further Advancements for EUTRA: Physical Layer Aspects," Jun. 2009

전 경 구 (Kyungkoo Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제34권 제6호 참조

현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 부교수