

이종 무선 환경에서 Load sharing을 이용한 Soft Load Balancing 기술

준회원 손혁민*, 정회원 이상훈*, 김수창**, 신연승**

Soft Load Balancing Using the Load Sharing Over Heterogeneous Wireless Networks

Hyukmin Son* *Associate Member*,

Sanghoon Lee*, Soochang Kim**, Yeonseung Shin** *Regular Members*

요 약

차세대 이동 통신망의 발전으로 상용 망과 이종 망이 서로 겹쳐진 다중 망 구조가 형성될 것이다. 이러한 여러 망이 겹쳐진 다중 망 구조에서 전체 무선자원의 사용 효율을 높이고 Eb/Io (bit energy-to-interference plus noise density ratio)를 개선하기 위해 이종망간 혹은 동종망간 상호 연동 기술이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 동종망과 이종망들이 서로 겹쳐져있는 다중 셀 환경에서 load를 효율적으로 분산 시킴으로써 무선 자원의 효율을 높이고 신호의 간섭량을 줄여 사용자의 QoS 보장 및 성능 개선을 위한 soft load balancing algorithm을 제안 및 분석한다. 본 논문에서는 수학적 분석을 통해 효율적인 load sharing을 위한 최적의 LBR (load balancing ratio)을 구하고 이를 이용하여 각 network에 traffic 양을 할당하여 서비스 한다. 그러므로 soft load balancing 알고리즘은 보다 안정적인 데이터 전송을 가능하게 한다.

Key Words : Load balancing, Load sharing, LBR, Soft load balancing, Loading factor

ABSTRACT

Start Ongoing next generation networks are expected to be deployed over current existing networks, in the form of overlaid heterogeneous networks, in particular, in hot spot areas. Therefore, it will be necessary to develop an interworking technique such as load balancing, to achieve increased overall resource utilization in the various heterogeneous networks. In this paper, we present a new load balancing mechanism termed 'soft' load balancing where the IP (Internet Protocol) traffic of a user is divided into sub-traffic, each of which flows into a different access network. The terminology of soft load balancing involves the use of both load sharing and handover techniques. Through a numerical analysis, we obtain an optimal LBR (Load Balancing Ratio) for determining the volume of traffic delivered to each network over an overlaid multi-cell environment. Using the optimal LBR, a more reliable channel transmission can be achieved by reducing the outage probability efficiently for a given user traffic.

* 연세대학교 전기전자공학과 무선네트워크 연구실 (sbpgood@yonsei.ac.kr, slee@yonsei.ac.kr),

** 한국전자통신연구원 이동통신연구단 개방형기초연구팀 (sckim@etri.re.kr and shinys@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2007-11-507, 접수일자 : 2007년 11월 12일, 최종논문접수일자 : 2008년 6월 9일

I. 서 론

무선 통신 시스템에서 사용자의 높은 QoS 요구 때문에 통신 시스템은 3G와 3.5G 시스템의 개발을 넘어 현재 4세대 통신기술까지 연구되고 있다. 최근에는 높은 spectral efficiency를 얻기 위해 WIMAX, 3GPP LTE 와 4G와 같은 차세대 무선 네트워크에서 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기반의 기술들이 연구 및 개발되고 있다. 이러한 차세대 이동 통신망의 발전으로 상용 망과 겹쳐진 다중 망의 구조가 형성될 것이다. 그러므로 전체 무선 자원의 사용 효율을 높이고 Eb/Io (bit energy-to-interference plus noise density ratio)를 개선을 위해 이 기종망간 혹은 동종망간 상호 연동 기술이 필요하다. 만약, 이러한 상호 연동의 필요성을 간과한다면 무선 자원의 낭비뿐 아니라 전체 시스템의 성능을 저해하는 요소로 작용할 것이다.

기존의 CDMA (code division multiple access) system에서 load의 재분배를 통하여 채널 용량을 최대화 시키는 알고리즘이 제안되었다^{[1][2]}. 그러나 이 논문들에서는 이기종망이 아닌 동종망간의 handover를 통한 load들의 재분배만을 다루었다. 최근 이기종망을 고려하거나 다양한 relay 혹은 ad-hoc과 융합된 무선환경에 대한 load balancing에 관한 연구가 이루어지고 있다^{[3][4]}. 하지만 이러한 논문들 역시 handover를 통한 load의 재분배가 load sharing의 핵심 내용이다. 하지만 각 논문들에서는 효율적인 load balancing을 이루기위한 새로운 load indicator 혹은 그것의 전달 방식에 대한 알고리즘이 구체적으로 고려되지 않았다.

최근 3GPP LTE에서는 load balancing 기술에 관한 논의가 이루어지고 있다^{[5][6][7]}. Load balancing이 이루어지기 위해 congestion 정보를 전달하기 위한 방식이 필요하다^{[5][6]}. 이 문서들에서는 각 nodeB 간에 서로의 load 정보의 효율적인 교환으로 handover의 실패를 최소화 혹은 방지하는데 그 목적이 있다. 또한 [7]에서와 같이 각 nodeB에 남은 자원의 양이 얼마인지 공유하기 위한 congestion indicator에 관한 논의도 진행되었다. 이러한 대부분의 문서들은 새로운 load balancing 알고리즘에 대한 논의 및 제안이 되지 않았다. 본 논문에서는 이러한 동종망과 이기종망들이 서로 겹쳐 있는 다중 셀 환경에서 load를 효율적으로 분산 시킴으로써 무선 자원의 효율을 높이고 신호의 간섭양을 줄여 사용자의 QoS 보장 및 성능을 개선하

기 위한 soft load balancing algorithm을 제안 및 분석한다. 이와 더불어 load의 양에 대한 indicator 및 그 전달 방식을 제안한다. Soft load balancing이란 한 사용자의 IP (Internet protocol) traffic을 여러 개의 sub-traffic으로 나누어 다른 access network를 통해 전달 받는 것을 의미 하며, load sharing 기술과 handover 기술의 결합으로 정의된다. 본 논문에서는 수학적 분석을 통해 효율적인 load sharing을 위한 최적의 LBR (load balancing ratio)을 구하고 이를 이용하여 각각의 network를 통해 traffic 양을 분산시켜 서비스 한다. 그러므로 soft load balancing 알고리즘은 보다 안정적인 데이터 전송을 가능하게 하며, 사용자의 traffic에 대한 outage probability를 줄이는 것을 가능하게 한다.

II. Problem Definition of Soft Load Balancing

기존의 load balancing과 유사한 개념들인 load control, load sharing 그리고 handover 들을 총칭하는 것을 load balancing으로 정의한다. 즉, 본 논문에서는 soft load balancing이란 각 이기종 망 혹은 동종망간의 load sharing 과 다른 기지국으로의 handover 기술을 총칭하는 의미로 정의 한다. 기존 연구된 논문들에서의 load sharing과는 다르게 두 기지국에서 LBR (load balancing ratio)에 따라 한 사용자의 data들을 나누어 서비스를 지원 받게 하는 것을 load sharing으로 정의한다. 그림 1 에서와 같이 기존의 CDMA에 기반한 3G 무선 통신시스템들과 현재 연구 개발 되고 있는 OFDMA 기반의 LTE 및 4G 무선 통신 시스템을 크게 두 개의 이기종 망으로 정의 하였다. 이 두 이기종 망 간의

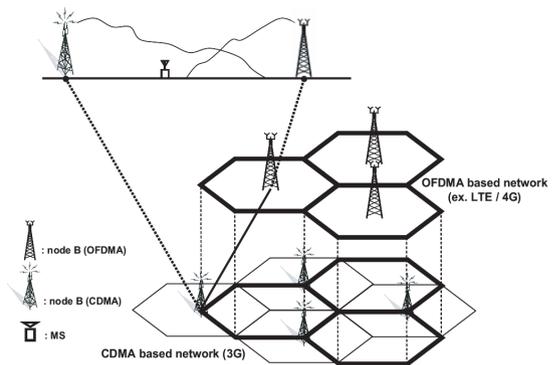


그림 1. Overlaid cell structure

특징으로는 우선 carrier frequency와 전체 bandwidth를 들 수 있다. 차세대 무선 통신 시스템은 광대역 망으로 기존의 무선 통신 시스템에 비해 더 높은 carrier frequency를 가지게 된다. 이에 따라 각 신호의 감쇄 현상도 주파수의 특성을 따르게 되며, 이러한 특성을 무선 통신 시스템에 이용하기 위한 load balancing 알고리즘, 그 중에서도 load sharing을 이용한 soft load balancing 알고리즘의 제안한다. Soft load balancing은 LBR에 의해 load sharing과 handover가 수행된다. 예를 들어, LBR이 0.5인 경우 각 기지국이 한 사용자의 데이터를 반씩 나누어 load sharing이 수행된다. 또한 LBR이 0인 경우 상대 기지국으로 handover가 수행된다. 즉, 상대 기지국으로 부터 모든 데이터를 서비스 받게 된다. 전체 셀의 용량을 최대화 시키기 위한 최적의 LBR은 다음과 같이 얻어진다.

$$\Phi_x^* = \arg \min_{\Phi_x} [P_{out}(\Phi_x)], 0 \leq \Phi_x \leq 1 \quad (1)$$

여기서 P_{out} 은 셀 전체의 평균적인 outage probability를 의미한다. 또한 이 outage probability는 각 거리에 'x'에 따른 LBR (Φ)에 대한 함수이므로 식(1)과 같이 표현되어 진다.

III. Soft Load balancing Algorithm

3.1 Congestion indicator를 위한 loading factor

성능 분석을 위해 MS들은 각 network에 균일하게 분포되어 있으며, 각 network에 있는 사용자의 밀도는 다르며, frequency reuse factor는 1로 가정한다. 또한 각 BS들은 자신에게 서비스 받고 있는 사용자들에게 할당된 모든 부반송파와 spreading code에 같은 power를 할당 함을 가정한다. Loading factor에 관한 정의를 위해 OFDMA 기반 시스템과 CDMA 기반 시스템에 관한 다음의 시스템 파라미터들을 표 1과 같이 정의한다. OFDMA 기반의 시스템에서 한 사용자에 대한 loading factor는 다음과 같이 정의 된다.

$$\rho_{oc}^j = \frac{n_{oc}^j}{N} \quad (2)$$

각 셀의 loading factor는 서로 독립적이므로, i번째 셀과 j번째 셀 간의 collision probability는 다음

표 1. system parameter 정의

Parameter	정의
N	전체 부 반송파의 개수
N_c	전체 spreading code 수
n_{oc}^j	j번째 셀에서 할당되어 사용되고 있는 부반송파의 개수
n_{uc}^k	k번째 셀에서 할당되어 사용되고 있는 spreading code의 개수

과 같이 정의 된다.

$$\rho_{ij} = \rho_{oc}^i \rho_{oc}^j \quad (3)$$

CDMA기반의 시스템에서 k번째 셀의 loading factor는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_k = \frac{n_{uc}^k}{N_c} \quad (4)$$

본 논문에서 loading factor의 값은 각 셀의 load의 양을 측정할 수 있는 척도가 된다. 이러한 congestion indicator의 기지국간에 공유를 통하여 load balancing을 수행하기 위해 필요한 남은 자원의 양 혹은 지원 가능한 traffic의 양 및 사용자 수를 알수 있게 된다.

3.2 Load reporting algorithm

본 절에서는 앞 절에서 살펴 보았던 congestion indicator를 각 기지국이 공유하기 위한 load reporting 알고리즘을 제안한다. 효율적인 load reporting 알고리즘이란 각 기지국이 정보를 교환하는 횟수를 최소화 시키면서 정확한 각 셀의 load 정보를 제공 해주는 것이다. 모든 기지국이 주기적으로 정보를 보내는 것이 가장 정확한 정보를 유지하는 방법이지만 이럴 경우 각 기지국의 정보 교환 횟수가 증가하게 되므로, load information의 특징에 맞게 특정 event 발생시 정보 전달을 하게 하는 알고리즘이 정확성 및 피드백 양을 줄이게 하는 방법이 될 것이다.

그림 2는 event triggered 방식을 개선한 방식으로서 loading factor의 변화량이 특정 threshold 이상으로 변할 때 그 변화량만을 전달하는 방식이다. 이 알고리즘의 특징은 전체 loading factor를 전달하

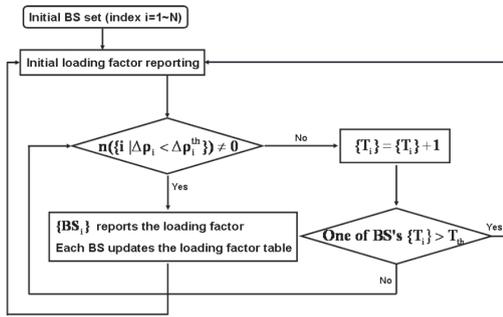


그림 2. Load balancing 을 위한 load reporting algorithm

지 않고 그 변화량만을 보내주기 때문에 loading factor 값 전체를 제공하는 것에 비하여 정보양(비트수)이 줄어 들게 된다. 또한 이기종망의 환경에서 congestion의 변화량의 정도에 따른 threshold의 값의 유연성 있는 설정으로 load information을 위해 사용되는 자원을 아낄 수 있는 효율적인 방식이라 할 수 있다. 예를들어 loading factor가 0.9인 경우 조그마한 변화에도 민감한 성능 차이를 보일수 있으므로 loading factor 변화량의 threshold를 낮게 잡아야 하며, 반대로 loading factor가 0.1인 경우 자원적인 여유가 있는 상황이므로 loading factor 변화량의 threshold를 좀더 높게 잡아 유연성 있는 load reporting이 이루어 질 수 있다. 실제로 각 셀에서 거의 full loading ratio(1)에 가까울 경우 변화량의 threshold값을 작은 값으로 설정해 주어야 하며, 거의 load가 없는 상황 즉, loading ratio가 0에 가까운 경우 변화량의 threshold를 크게 잡아 놓은 것이 reporting 횟수, 그 reporting 정보의 정확성 그리고 이용성에 있어서 이익이 극대화 되기 때문이다. 여기서 Δp_i 는 각 i 번째 셀의 loading factor의 변화량을 의미하며, Δp_i^{th} 는 i 번째 셀의 loading factor 변화량의 threshold를 의미 한다. T_i 는 i 번째 cell의 clock 수를 의미하며, BS_i 는 i 번째 기지국을 의미 한다. 이 알고리즘의 구체적인 동작을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 초기의 서로 load 정보를 교환할 BS set을 결정 하게 된다.
- ② 하나의 set 안에서의 각 BS는 각자의 loading factor를 서로에게 broadcasting 한다.
- ③ 각 BS들은 loading factor 변화량에 관한 threshold를 가지고 있게 되며, 이 기준보다 변화

량이 커졌을 경우 그 변화량을 reporting 하게 된다.

- ④ 제공된 정보에 따라 각 BS들은 자신이 가지고 있는 정보를 수정한다.
- ⑤ 만약, load reporting을 특정 clock 수만큼 전달 안 한 BS가 하나라도 생기는 경우 2번으로 돌아가서 알고리즘을 다시 시작한다.

3.3 Soft Load balancing algorithm

자원의 효율성을 높이고 ICI를 줄이기 위한 soft load balancing 알고리즘으로 그림 3과 같은 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘의 주요 특징으로는 가장 적은 load양 즉, 가장 적은 사용자를 서비스 하는 BS를 선택하는 것이다. 이 BS는 가장 많은 residual capacity를 가지는 BS가 될 것이다. 이러한 알고리즘으로 인해 load의 분배가 한쪽으로 몰리는 현상을 막아 채널 capacity를 증가 시키고, 자원의 효율성을 극대화 시키게 된다. 그 구체적인 방식은 다음과 같이 이루어 진다.

- ① 특정 MS의 outage probability가 threshold (target threshold)보다 커지면 soft load balancing의 수행을 알리게 된다.
- ② 그림 2에 제안되었던 방식으로 서로 load의 정보를 교환하게 되면, 가장 reporting을 안 한 BS들 (idle BS)이 자신의 loading factor를 broadcasting 하게 된다.
- ③ 이로써 각 BS 정보가 가장 최신의 정보로 update

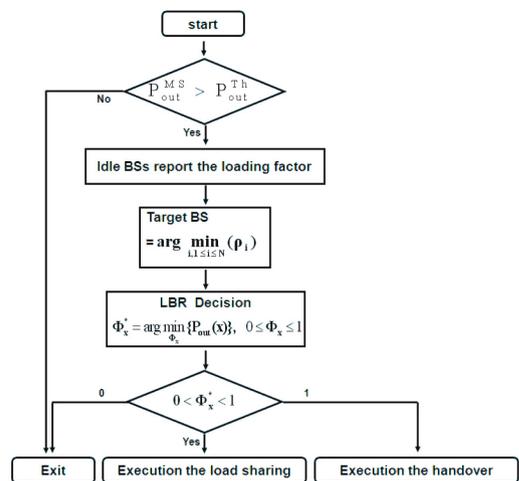


그림 3. Soft load balancing 알고리즘

되면, 이들 BS set들 중에서 가장 작은 loading factor을 가지는 BS를 soft load balancing 하기 위한 target BS로 설정 하게 된다.

- ④ Target BS와의 soft load balancing을 위해 셀에서의 outage probability를 최소화 시키는 최적의 LBR (load balancing ratio)를 구하게 된다.
- ⑤ 만약 이 값이 0과 1사이의 값이라면, 두 기지국 간에 load sharing이 이루어 지며, 1이 되는 경우는 target BS로 handover가 이루어 지게 된다. 만약 LBR이 0이 되는 경우는 soft load balancing의 수행이 종료되며, 자신의 현재 연결된 BS와 통신을 계속 하게 된다. 여기서 P_{out}^{MS} 과 P_{out}^{th} 는 각각 MS의 outage probability와 outage probability의 threshold값을 의미 한다. Idle BS 가 loading factor를 broadcasting하는 과정은 선택적으로 사용할 수 있다. 앞서 말 한대로 본 연구 에서는 soft load balancing을 handover와 load sharing 두 가지 기술의 결합으로 본다. 단 말이 한 BS에서 다른 BS로 이동 중이라면 일정 영역에서부터 load sharing이루어 지게 된다. 즉, 내가 이동하는 방향의 BS와 현재 연결된 BS 즉, 두 BS로부터 자신이 원하는 서비스를 나누어 받게 되는 것이다. 한 사용자를 기준으로 traffic 양의 분배를 살펴보면 셀의 경계로 갈수록 혹은 이동중인 BS에 가까워 질수록 이동 방향의 BS 에 더 많은 load의 분배가 이루어 질것이다. 그 이후 더 이상의 load sharing이 필요 없는 영역 에 도달하는 경우 그 단말은 handover를 하게 되는 것이다.

Load sharing 기술은 한 사용자를 기준으로 보았을 때 그 traffic의 양을 LBR에 맞추어 양쪽 BS로부터 서비스 받게 하는 기술이고, handover의 경우는 각 셀에 속한 사용자들의 이동을 통해 전체 셀의 load를 조절해 주는 방식이라 할 수 있다. 즉 soft load balancing은 load sharing 기술 과 handover 기술이 적절히 조화되어 전체 셀의 load를 해당 주위 셀들에게 분배 시키고 또한 사용자 개인의 traffic load를 해당 BS들에게 분배시켜 셀에서의 채널 용량을 최대화 시키는 기술이 될 것이다.

또 다른 알고리즘으로, load balancing을 통해서 얻을 수 있는 효과 중 ICI mitigation에 초점을 둔 그림 4 와 같은 방식의 load balancing 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘의 주요 특징은 load sharing을 할 정도의 자원이 있는 BS들 중에서 가

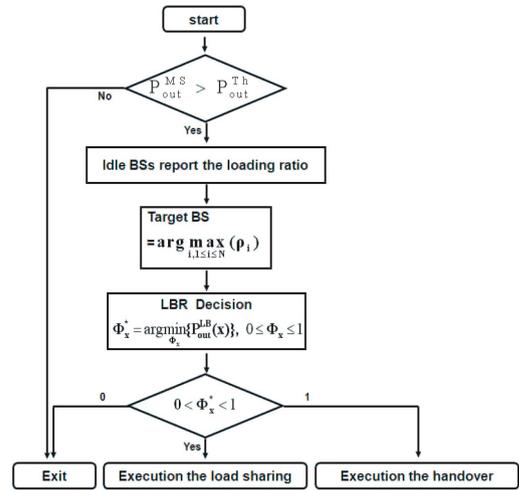


그림 4. ICI를 줄이기 위한 load balancing 알고리즘

장 loading ratio가 높은 BS를 target BS로 선택됨으로써 가장 크게 ICI를 주던 BS가 사라지고, 서비스를 해주게 됨으로서 ICI를 줄이는 효과가 발생하게 된다. 이러한 알고리즘을 썼을 경우 loading ratio가 큰 BS순서부터 차례대로 load가 분배 되게 될 것이다. 그 구체적인 방식은 다음과 같다.

- ① 특정 MS의 outage probability가 threshold (target threshold)보다 커지면 soft load balancing의 수행을 알리게 된다.
 - ② 그림 2에 제안되었던 방식으로 서로 load의 정보를 교환하게 되면, 가장 reporting을 안 한 BS들 (idle BS)이 자신의 loading factor를 broadcasting 하게 된다.
 - ③ 이로써 각 BS 정보가 가장 최신의 정보로 update되면, 이들 BS set들 중에서 가장 큰 loading factor을 가지는 BS를 soft load balancing 하기 위한 target BS로 설정 하게 된다.
 - ④ Target BS와의 soft load balancing을 위해 셀에서의 outage probability를 최소화 시키는 최적의 LBR (load balancing ratio)를 구하게 된다.
 - ⑤ 만약 이 값이 0과 1사이의 값이라면, 두 기지국 간에 load sharing이 이루어 지며, 1이 되는 경우는 target BS로 handover가 이루어 지게 된다. 만약 LBR이 0이 되는 경우는 soft load balancing의 수행이 종료되며, 자신의 현재 연결된 BS와 통신을 계속 하게 된다.
- 이 알고리즘의 특징은 load balancing을 요청한

단말을 지원할 충분한 자원이 있는 BS들 중에서 가장 높은 loading ratio를 가지는 BS를 선택하는 것이다. 이기중 망에서 특히, 상대 load sharing을 위한 OFDM 기반의 system에서 가장 높은 loading ratio를 가지는 BS에게 서비스를 받는 것은 가장 큰 ICI를 줄 BS를 제거 하는 효과를 발생 시키기 때문에 채널 용량을 향상 시킬 수 있다. 그림 3의 자원의 효율성을 높이기 위한 알고리즘과 그림 4의 ICI mitigation을 위한 알고리즘의 경우는 각자 알맞은 상황에 적용하였을 때 더 높은 성능 향상을 피할 수 있다. 즉 대부분의 load가 적은 경우는 ICI mitigation을 위한 알고리즘이 좋은 성능을 보일 것이고 각 셀의 load가 심할 경우는 예를 들어 부반송과 충돌에 의한 ICI를 피할 수 없으므로 resource utilization을 위한 알고리즘의 적용이 적당 할 것이다. 그렇다면 이러한 각 상황에 맞게 이러한 두개의 모드를 선택적으로 사용하는 알고리즘이 최적의 알고리즘이라 할 수 있겠다.

앞에서 언급하였듯이, 그림 3 과 그림 4 에 제안된 알고리즘은 각각의 목적에 맞게 제안된 알고리즘이다. 그림 5 는 이 두 알고리즘을 상황에 맞게 mode를 switching 할 수 있게 만든 알고리즘으로써 그 동작 절차는 위와 동일하고 단지 환경에 맞게 load의 분포가 너무 한쪽에 몰려 있어 load의 분배에 초점이 맞춰져 있는 경우는 가장 작은 loading ratio를 가지는 BS를 선택하는 R-mode로, ICI의 영향이 커서 성능 저하가 큰 원인이 되는 경우에는 가장 큰 loading ratio를 가지는 BS를 선택하는 I-mode로 mode를 switching 는 방식이다. 또한 모

든 BS들의 load가 거의 짝 찬 경우에도 ICI를 피할 수 없는 경우 R-mode로 동작하며, 대부분의 BS들의 load 가 거의 없는 경우 ICI를 피하는 것에 초점을 맞추어 I-mode로 동작하게 되는 것이다. 그 구체적인 동작 과정은 다음과 같다.

- ① 특정 MS의 outage probability가 threshold (target threshold)보다 커지면 soft load balancing의 수행을 알리게 된다.
- ② 그림 2 에 제안되었던 방식으로 서로 load의 정보를 교환하게 되면, 가장 reporting을 안 한 BS들 (idle BS)이 자신의 loading factor를 broadcasting 하게 된다.
- ③ 이로써 각 BS 정보가 가장 최신의 정보로 update되면 이들 BS set들 중에서 가장 작은 loading ratio를 가지는 BS를 load balancing 하기 위한 target BS로 설정하는 R-mode와 가장 큰 loading ratio를 가지는 BS를 load balancing 하기 위한 target BS로 설정하는 I-mode를 상황에 맞게 선택하게 된다.
- ④ Target BS와의 load balancing을 위해 셀에서의 outage probability를 최소화 시키는 최적의 LBR (load balancing ratio)를 구하게 된다.
- ⑤ 만약 이 값이 0과 1사이의 값이라면, 두 기지국 간에 load sharing이 이루어 지며, 1이 되는 경우는 target BS로 handover가 이루어 지게 된다. 만약 LBR이 0이 되는 경우는 load balancing의 수행이 종료되며, 자신의 현재 연결된 BS와 통신을 계속 하게 된다.

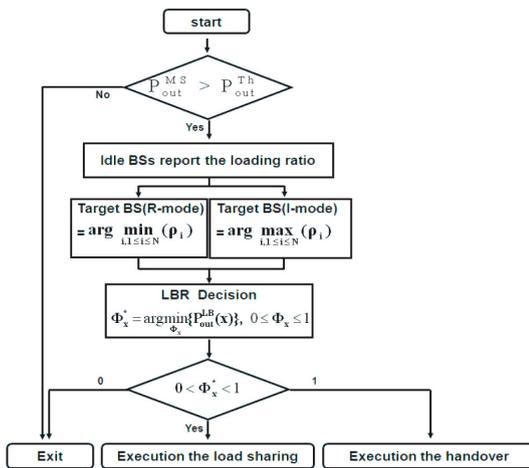


그림 5. Mode switching load balancing 알고리즘

IV. Analysis of Soft Load balancing

4.1 시스템의 Eb/Io

Path loss는 기지국과 단말기의 거리에 따라 증가한다. 본 논문에서 분석을 위해 path loss 모델을 그림 6 과 같이 cost 231 모델을 사용한다. Non-LOS (line of sight)의 경우 path loss는 다음과 같이 표현된다.

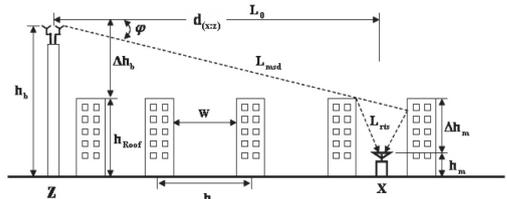


그림 6. path loss model-cost231 (Walfish-Ikegami model)

$$\tilde{L}_{(x:z)} = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & \text{for } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & \text{for } L_{rts} + L_{msd} \leq 0, \end{cases} \quad (5)$$

여기서 L_0 는 free space path loss이며, L_{rts} 는 diffraction loss이고, L_{msd} 는 multi screen loss 이다^[8]. 이때 $\tilde{L}_{(x:z)}$ 는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$\tilde{L}_{(x:z)} \simeq [a + b \log(d_{(x:z)}) + c \log(f_c) + df_c] \quad (6)$$

여기서 $d_{(x:z)}$ 는 기지국 z와 'x' 위치까지의 거리이다. 식 (6)에서의 a, b, c 그리고 d는 $w, \Delta h_m, \psi, h_{Roof}, h_b$ 그리고 도시 크기에 의해 결정되는 상수 값들이다. 그러므로 기지국 z와 'x' 위치에 있는 하나의 사용자 단말 간에 path loss와 shadowing의 크기 값은 original scale로 다음과 같이 주어진다.

$$L_{(x:z)} = \frac{10^{\xi_{(x:z)}/10}}{10^{\tilde{L}_{(x:z)}/10}} \quad (7)$$

여기서 $\xi_{(x:z)}$ 는 shadowing을 나타내는 기대값이 0인 Gaussian random variable이다. 일반적으로 이 Gaussian random variable의 standard deviation은 다른 셀로부터의 shadowing인 경우 6-10dB이고, 자신의 셀로부터의 shadowing인 경우 2-2.5dB가 된다.

Case 1 : OFDMA 시스템 기반에서의 Eb/Io

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_x = \frac{(P_t \cdot L_{(x:0)})/R}{\left(\sum_{i=1}^{N_{sc}} P_t \cdot L_{(x:S_i)} \cdot \rho_{0i}\right)/BW_s} \geq \gamma. \quad (8)$$

Case 2 : CDMA 시스템 기반에서의 Eb/Io

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_x = \frac{\left(\frac{P_t}{N_{ac}} \cdot L_{(x:0)}\right)/R}{\left(\sum_{i=0}^{N_{sc}} P_t \cdot L_{(x:S_i)} \cdot \rho_{0i} - \frac{P_t}{\rho_0 N_c} \cdot L_{(x:0)}\right)/BW_s} \geq \gamma. \quad (9)$$

여기서 N_{sc} (N_{oc})는 동중망 (이기종망)에서의 기지국의 수이며, P_t 는 전송 전력이다. R 은 데이터 전송율이며, n_0 는 noise density이다. BW_s 는 sub-band의 bandwidth이며, γ 는 target Eb/Io이다. 일반적으

로 간섭양이 ρ_{0i} 에 비해 많이 클 경우

n_0 는 값은 무시할 수 있다. $S = \{S_1, S_2 \dots S_{N_c-1}, S_{N_c}\}$ 는 현재 연결되어 있는 기지국 (home BS)과 동중망에 속한 기지국을 나타내며, $C = \{C_1, C_2 \dots C_{N_c-1}, C_{N_c}\}$ 는 이기종망에 속한 기지국들의 나타낸다. 0번째 기지국은 현재 자신이 연결된 기지국 (home BS)을 의미 한다. ρ_{0i} 와 ρ_0 는 식(2), (3) 그리고 (4)로부터 얻어진다. 이때, CDMA network에서의 $\rho_{0i} = 1$ 이다.

4.2 Outage probability 정의 및 분석

한 cell에서 'x' 위치에 있는 단말의 outage probability는 다음과 같이 정의한다.

$$P_x^{out} = Pr [(E_b/I_0)_x < \gamma] \quad (10)$$

Case 1 : 식 (7), (8) 그리고 (10)으로부터 'x' 위치에서의 outage probability는 다음과 같이 유도 된다.

$$P_x^{out} = Pr \left[I > \frac{BW_s}{\gamma R} \right] \quad (11)$$

Case 2 : 식(7), (9) 그리고 (10)으로부터 'x' 위치에서의 outage probability는 다음과 같이 유도 된다.

$$P_x^{out} = Pr \left[I > \frac{BW_s}{\gamma R} - \frac{1}{\rho_0 N_c} \right] \quad (12)$$

where

$$I = \sum_{i=1}^{N_{sc}} \rho_{0i} \cdot 10^{\left(\frac{\tilde{L}_{(x:0)} - \tilde{L}_{(x:S_i)}}{10}\right)} \left(\frac{10^{\xi_{(x:S_i)}/10}}{10^{\xi_{(x:0)}/10}} \right). \quad (13)$$

여기서 $I (= A/B)$ 는 두개의 random variable A와 B로 나누어 표현할 수 있다. 두 random variable A와 B는 다음과 같이 정의되어 진다.

$$A = \sum_{i=1}^{N_{sc}} \rho_{0i} \cdot 10^{\left(\frac{\tilde{L}_{(x:0)} - \tilde{L}_{(x:S_i)}}{10}\right)} \cdot 10^{\xi_{(x:S_i)}/10}$$

$$B = 10^{\xi_{(x:0)}/10}.$$

$I = Z = A/B = \exp(\beta a) / \exp(\beta b) = \exp(\beta z)$ 이며, $\beta = \ln 10 / 10$ 이다. Lognormal random variable의 합은 lognormal이 된다는 Wilkinson approximation을 이용하여 random variable A는 하나의 lognormal random variable이된다^[9]. 그러면 각 random

variable A, B 그리고 Z의 mean과 variance는 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 m_B &= E[\exp(\beta b)] = \exp\left(\frac{1}{2}\sigma_b^2\beta^2\right) \\
 \sigma_B^2 &= VAR[\exp(\beta b)] = \exp(\beta^2\sigma_b^2)[\exp(\beta^2\sigma_b^2) - 1] \\
 m_A &= \exp\left(\frac{1}{2}\sigma_a^2\beta^2\right) \cdot \sum_{i=1}^{N_{sc}} \left(\rho_{0i} \cdot 10^{\left(\frac{\tilde{L}(x;0) - \tilde{L}(x;S_i)}{10}\right)} \right) \\
 \sigma_A^2 &= \exp(\beta^2\sigma_a^2)[\exp(\beta^2\sigma_a^2) - 1] \\
 &\quad \cdot \sum_{i=1}^{N_{sc}} \left(\rho_{0i} \cdot 10^{\left(\frac{\tilde{L}(x;0) - \tilde{L}(x;S_i)}{10}\right)} \right)^2 \\
 m_z &= E[a] - E[b] = E[a] = \frac{1}{\beta} \ln(m_A) - \frac{1}{2}\sigma_a^2\beta \\
 \sigma_z^2 &= \frac{1}{\beta^2} \ln\left(\frac{\sigma_A^2}{m_A^2} + 1\right) + \sigma_b^2 \quad (14)
 \end{aligned}$$

여기서 m_a , m_b 그리고 σ_a^2 , σ_b^2 는 Gaussian random variable의 mean 과 variance 들이다. 그러면 random variable I 의 PDF (probability density function)는 다음과 같이 표현된다.

$$PDF_I(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z V} \exp\{-\ln V - m_z\} / 2\sigma_z^2.$$

그러므로 'x' 위치에서의 outage probability는 다음과 같이 표현되어 진다.

$$P_x^{out} = \int_{V_{th}}^{\infty} PDF_I(v) dv \quad (15)$$

where

$$V_{th} = \begin{cases} \frac{BW_s}{\gamma R} & \text{for Case1} \\ \frac{BW_s}{\gamma R} - \frac{1}{\rho_0 N_c} & \text{for Case2.} \end{cases}$$

4.3 이기종 망에서의 outage probability

식 (1)을 이용하여 구하여진 LBR를 이용한 각각의 Eb/Io는 home cell과 target cell에서 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_x^{hc} &= SINR \cdot \frac{BW_s}{R \cdot \Phi_x^*} \quad (16) \\
 \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_x^{tc} &= SINR \cdot \frac{BW_s}{R \cdot (1 - \Phi_x^*)}.
 \end{aligned}$$

식 (10)과 (16)으로 부터 soft load balancing이 수행되는 경우 평균적인 outage probability는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{out}(x) = P_{out}^{hc} \cdot \Phi_x^* + P_{out}^{tc} \cdot (1 - \Phi_x^*) \quad (17)$$

where

$$P_{out}^{hc} = Pr \left[\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_x < \gamma \cdot \Phi_x^* \right]$$

and

$$P_{out}^{tc} = Pr \left[\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_x < \gamma \cdot (1 - \Phi_x^*) \right].$$

V. Soft load balancing 알고리즘의 성능 검증

성능 분석을 위해 모든 MS는 cellular network상에 균일하게 분포되어있다고 가정한다. 그림 7에서 보여 지듯이, 셀 경계영역에서의 QoS 보장을 위해 두 이기종 망이 각 셀의 경계를 기준으로 겹쳐진 망 구조로 되어있다. 각 이기종망은 CDMA 기반의 network과 OFDMA 기반의 network이다. 이때 BS A와 BS B는 각 network의 중앙에 위치한 BS가 된다. 실험을 위한 환경은 다음과 같다. BS A(B)의 carrier frequency는 800Mhz(2GHz), BS A(B)의 BW_s/R 는 128(512), target Eb/Io는 4dB 그리고 frequency reuse factor는 1이다. 또한 BS A의 loading factor를 1로 가정하였다. 그림 7에서 보여 지듯이, 각 네트워크의 다중셀 구조에서 ICI를 주는 BS는 주위의 첫 번째 tier에 해당되는 6개의 BS로 모델링 하였다. 또한 path loss를 위한 geometry

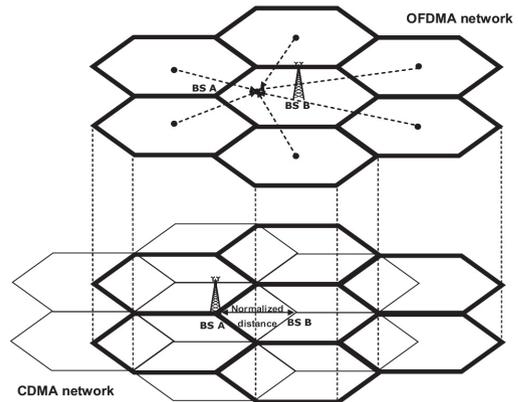


그림 7. Overlaid heterogeneous network structure and ICI

parameter들은 다음과 같다. 도시의 크기는 metropolitan area기준으로 $w=50m$, $\Delta h_m=80m$, $\psi=35^\circ$, $h_b > h_{Roof}$ 그리고 $h_b=20m$ 이라고 가정하였다. 여기서 각 정규화된 거리(normalized distance)는 두 BS 간의 거리가 된다.

그림 8는 BS B를 포함한 target 망의 loading factor가 0.8인 경우 LBR과 정규화된 거리에 따른 outage probability를 나타낸다. 여기서 BS B 주위의 같은 망의 BS들의 loading factor는 BS B와 같다고 가정하였다. LBR이 0인 경우 모든 MS traffic은 BS B를 통하여 전달 되는 것을 나타내며, 정규화된 거리가 0인 곳은 BS A의 위치를 나타낸다. 이러한 경우 BS A의 위치에 MS가 위치한다 하더라도 MS는 BS B에 연결되어 서비스 받게 되어 BS B(정규화된 거리가 1인곳)에 가까워 질수록 outage probability는 낮아지며, 반대로 BS A(정규화된 거리가 0인곳)에 가까워 질수록 outage probability는 높아 짐을 알수 있다. 위의 정규화된 거리와 LBR에 따른 outage probability 결과로부터 식 (1)을 이용하여 각 주어진 정규화된 거리에서 outage probability를 최소화 시키는 최적의 LBR을 구할수 있다.

Soft load balancing과의 성능 평가를 위해 두가지 경우에 대한 성능과 비교하였다. 그 중 하나는 hard load balancing으로 MS traffic이 하나의 망을 통하여 서비스 되는 방식이다. 즉 사용자의 traffic이 CDMA 혹은 OFDMA 망을 통하여 서비스 되어진다. 양쪽 망의 각 BS로 부터의 pilot 신호의 차가 3dB이상인 되는 경우 다른 망으로의 hard load balancing이 동작하게 된다. 이는 기존의 hard handover와 유사한 개념이라 할 수 있다. 또 다른 비교 대상으로 load balancing이 수행되지 않는 경우 즉 한쪽 망에 연결되어진 상태에서의 성능을 측정하였다. 그러므로 본 실험 환경에서는 CDMA 망에 연결되어진 상태에서의 성능 평가를 의미한다.

그림 9에서는 OFDMA 망의 loading factor가 0.8인 경우 정규화된 거리에 따른 위 세가지 경우에 대한 outage probability를 나타낸다. 그림에서 보여 지듯이 정규화된 거리 0.4까지는 load balancing이 동작하지 않음을 볼 수 있다. 그러므로 정규화된 거리 0-0.4까지 각 세가지 경우에 대한 outage probability가 같음을 볼 수 있다.

Soft load balancing은 정규화된 거리 0.4인 지점에서 부터 동작하기 시작하며, 정규화된 거리 0.5인

지점 부근에서 다른 경우에 비해 상대적으로 낮은 outage probability를 나타내고 있다. Hard load balancing의 경우 BS B의 pilot 신호의 세기가 BS A로 부터의 pilot 신호의 세기보다 3dB이상 커지는 지점에서 부터 동작을 시작하게 됨으로 soft load balancing에 비하여 중간 지점에서 outage probability는 더 높게 된다. 정규화된 거리 0.55지점에서 부터 hard load balancing이 동작하게 되며, outage probability는 이 지점 이후부터 soft load balancing과 같게 된다. 어떤 load balancing도 수행되지 않는 non-load balancing의 경우 MS가 BS 기준에서 셀의 경계 영역으로 갈수록 outage probability는 급격히 증가됨을 알 수 있다.

그림 10은 target BS(BS B)의 loading factor에 변화에따른 soft load balancing 의 outage probability를 나타낸다. 그림에서 보여 지듯이

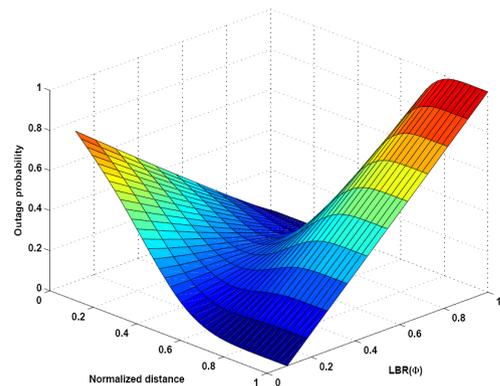


그림 8. Outage probability according to normalized distance and LBR

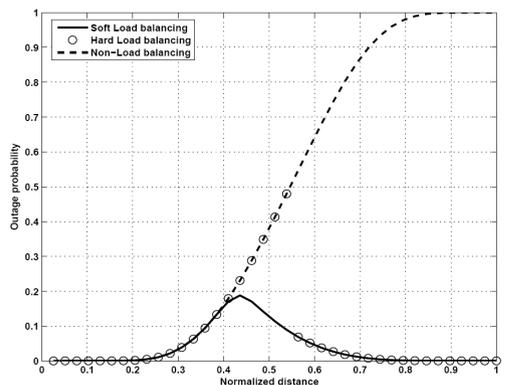


그림 9. Outage probability using the optimal LBR value when the loading factors of BS A and BS B are 1 and 0.8, respectively.

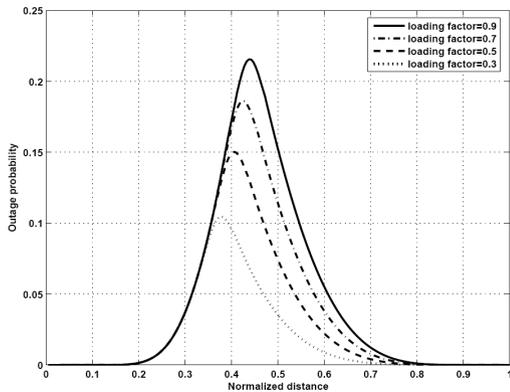


그림 10. Outage probability according to the loading factor of BS B

loading factor가 작아질수록 outage probability도 낮아 짐을 관찰할 수 있다. 또한 BS A의 loading factor를 1로 가정하였으므로, BS B의 loading factor가 작아질 수록 load sharing이 BS A와 가까운 지역에서 동작함을 알 수 있다. Load sharing 영역은 그림의 각 그래프에서 보이는 최고점 부분이 된다. Loading factor가 0.9-0.3으로 감소할 수록 load sharing 영역이 BS A에 가까워 짐을 알 수 있다. 이는 load sharing을 이용한 soft load balancing 알고리즘이 효과적으로 ICI를 줄여주게 됨을 알 수 있다. 특히 target BS 망의 loading factor가 상대적으로 낮을때 그 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서 연구된 soft load balancing 알고리즘을 요약하면 다음과 같다. 우선 각 셀의 loading factor를 이용한 congestion indicator의 정의 및 load reporting을 하기 위한 방식을 제안하였다. 이는 load information의 정보양을 최소화 하면서 정확히 전달하기 위한 것을 목적으로 알고리즘을 설계하였다. 이러한 congestion indicator 및 load reporting 방식을 고려하여 새로운 load balancing 방식으로 soft load balancing 알고리즘을 제안하였다. Load balancing 알고리즘의 목적은 자원의 효율적인 활용 및 배분을 통한 load의 과부하를 막고, ICI를 줄이는 것이다. 앞서 정의한 soft load balancing이 load sharing 과 handover의 두 가지 기술로 요약된다면, 본 논문에서는 load sharing에

중점을 두어 연구되었다. 실험 결과에서도 확인 하였듯이 soft load balancing을 통한 성능 향상은 어떤 망의 구조에서도 각 BS간의 경계에서 나타날 것임을 알 수 있다. 또한 이기종 망간 망 구조와 현재 활발히 연구 되고 있는 ICI mitigation 기술, 그리고 handover 기술과의 연동이 이루어 진다면 이기종 망에서의 성능 향상은 더 높아질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J. X. Qiu and J. W. Mark, "A Dynamic Load Balancing Algorithm Through Power Control in CDMA," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol.3, pp.1280-1284, Sept. 1998.
- [2] E. Yanmaz and O. K. Tonguz, "Dynamic Load Balancing Performance in Cellular Networks with Multiple Traffic Types," IEEE Conf.(VTC2004-Fall), Vol.5, pp.3491-3495, Sept. 2004.
- [3] E. Yanmaz and O. K. Tonguz, "Dynamic Load Balancing and Sharing Performance of Integrated Wireless Networks," IEEE JSAC, Vol.22, pp.862-872, June. 2004.
- [4] K. Kim, Y. Han, and J.-R. Lee, "Load Sharing in Heterogeneous Wireless Systems Using Dynamic Load Measures, IEEE Conf.(VTC 2006 Spring), Vol.1, pp.368-372, 2006.
- [5] Ericsson, "Load balancing between E-DCH and DCH(R3-060223)," 3GPP LTE, Feb. 2006.
- [6] Ericsson, "Congestion Status Indication in E-UTRA(R3-061197)," 3GPP LTE, Sept. 2006.
- [7] Motorola, "Mechanisms to achieve distributed load balancing in LTE(R3-061550)," 3GPP LTE, Oct. 2006.
- [8] A. F. Molisch, "Wireless Communications," WILEY, 2005.
- [9] N. C. Beaulieu, A. A. Abu-Dayya, and P. J. McLane, "Comparison of methods of computing lognormal sum distributions and outages for digital wireless application," IEEE ICC, pp.1270-1275, June, 1994.

손혁민 (Hyukmin Son)

정회원



2004년 8월 연세대학교 전기 전자 공학부 졸업 (학사)
2006년 2월 연세대학교 전기 전자 공학과 석사과정 졸업
2006년 3월~현재 연세대학교 전기 전자 공학과 박사 과정

김수창 (Soochang Kim)

정회원



1986년 2월 홍익대학교 컴퓨터 공학부 졸업 (학사)
1995년 2월 충남대학교 컴퓨터 공학과 석사 과정 졸업
2006년 2월 충북대학교 컴퓨터 및 통신 공학과 졸업
현재 principal engineer in Mobile Access Research Group at Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

이상훈 (Sanghoon Lee)

정회원



1989년 2월 연세대학교 전기 전자 공학부 졸업 (학사)
1991년 2월 Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST) 전기 전자 공학과 석사과정 졸업
2000년 2월 University of Texas at Austin 전기 전자 공학과 박사과정 졸업

2000년 3월~ 2002년 12월 Member of Technical Staff, Lucent Technologies (developing real-time embedded software and communication protocols for 3G wireless networks)
2003년 3월~현재 연세대학교 전기 전자 공학부 부교수

신연승 (Yeonseung Shin)

정회원



1984년 2월 강원대학교 통계학과 졸업 (학부)
1987년 2월 고려대학교 통계학과 석사과정 졸업
현재 team leader in Mobile Access Research Group at Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)