

LTE-WLAN 이종 네트워크 환경에서 자원예약률 변화에 따른 통합 호 수락 제어의 성능 분석

준회원 김 이 강*, 정회원 김 승 연**, 종신회원 류 승 완***°, 조 충 호*

Performance Analysis of Joint Call Admission Control(JCAC) According to Resource Reservation Rate Changes in LTE-WLAN Heterogeneous Network Environment

Yi-Kang Kim* *Associate Member*, Seung-Yeon Kim** *Regular Member*,
Seung-Wan Ryu***°, Choong-ho Cho* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 LTE와 WLAN이 존재하는 이종 네트워크 환경에서 네트워크 선택과 자원 예약 기반의 호 수락 제어 기법을 결합한 통합 호 수락 제어 기법을 제시하고 성능을 분석한다. 이를 위해 LTE와 WLAN이 중첩된 네트워크 환경에서 단말이 네트워크를 선택할 때의 네트워크 결정률과 자원예약기법이 적용된 통합 호 수락 제어 시스템을 제안하고 마코프 체인(Markov Chain) 모델링을 통해 제안된 시스템의 성능을 분석한다. 본 논문에서는 성능지표로서 LTE와 WLAN 각 네트워크 신규호 차단률(New call Blocking Probability), 핸드오프호의 절단률(Handoff call dropping Probability), RB 사용률(Resource Block utilization)을 사용한다.

본 논문의 분석결과로서 통합 호 수락 제어 기법을 적용한 시스템이 적용되지 않은 시스템에 비해 나은 성능을 보였고, 통합 호 수락 제어 기법을 적용할 경우에는 전체의 10%를 자원예약비율로 선택하는 것이 적합함을 보였다. 본 논문의 결과는 향후 LTE와 WLAN의 중첩된 네트워크 환경에서 자원예약기법이 적용된 통합 호 수락 제어 시스템 도입 시에 참고할 만한 자원예약률의 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

Key Words : LTE, WLAN, JCAC, Resource Reservation, Markov Chain

ABSTRACT

In this paper, we analyze and propose the Joint Call Admission Control(JCAC) scheme to combine network selection scheme and radio resource reservation based Call Admission Control(CAC) in LTE-WLAN heterogeneous networks. First, We propose the JCAC system that uses network decision rate to select a network for terminal and radio resource reservation scheme in overlaying LTE-WLAN network environment. And we analyze the performance of a proposed system using markov chain model. The performance is presented in terms of the new call blocking probability, handoff call dropping probability, and channel utilization of each network.

As a performance result of the our research, the system using JCAC is better than the system using non-JCAC. We found a suitable resource reservation rate that is 10% in the system using JCAC. Our work may be useful as a guideline of resource reservation rate to introduce JCAC system using resource reservation scheme in overlaying LTE-WLAN network environment.

※본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-521-D00273)

* 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신및네트워크 연구실(kimyikang, chcho@korea.ac.kr),

** 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실(kimsy8011@korea.ac.kr), *** 중앙대학교 정보시스템학과(ryu@cau.ac.kr) (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2010-12-594, 접수일자 : 2010년 12월 13일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 25일

I. 서 론

최근 이동통신의 기술 발달로 인한 LTE, WiBro, WLAN 등과 같이 다양한 이기종 무선 네트워크들이 도입되어 언제 어디서나 실시간으로 원하는 사람과 연락이 가능하게 되었고, 고속의 데이터 통신 지원하는 통신 서비스 시대를 열었다. 하지만 사용자들은 개별 네트워크에 대한 별도의 서비스를 신청하여 특정 지역에서만 사용해야 하는 제약사항을 가지고 있어 언제 어디서나 무선 서비스를 받고자 하는 사용자의 요구를 충족시키지 못하고 있다¹⁾. 이를 위해 차세대 통신 환경에서는 이동 단말 사용자의 요구사항을 지원하고 다양한 이종 네트워크에서의 효율적인 네트워크 사용을 목표로 각 네트워크들의 조직적인 상호 동작에 대한 연구가 진행되고 있다²⁾.

중첩된 이기종 무선 액세스망에서는 전체 시스템의 성능을 최적화하기 위해 각 무선 액세스망의 자원을 통합적으로 관리하는 것이 필수적이다. 이런 관점에서 차세대 이동통신의 다양한 액세스 네트워크 환경에서 다양한 무선 자원을 좀 더 효율적으로 활용하고 서비스마다 다르게 요구되는 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 지원하기 위해서 통합무선자원관리(Common Radio Resource Management: CRRM) 방식이 요구되고 있다. 통합무선자원관리 기법에서는 셀 선택 기법과 VHO (Vertical HandOver)결정 기법, 호 수락 제어 기법(Call Admission Control : CAC)이 중요 연구분야로 여겨진다.

기존의 호 수락 제어 기법은 단일 네트워크 환경에서 신규호 또는 핸드오프호에 대해 수락여부를 판단/결정기법과 들어오는 호에서 요구하는 QoS 지원 여부를 판단하는 기법이다. 이와 같은 방법으로 많은 호 수락 제어 기법이 연구되었다³⁻⁵⁾. 그러나 여러 접속 기술이 중첩된 네트워크 환경에서는 기존의 호 수락 제어 기법으로는 문제를 해결하기가 어렵다⁶⁾. 그래서 이종 네트워크 환경에서는 기존의 호 수락 제어 기법의 한계를 극복하기 위해 네트워크 선택기법과 결합된 통합 호 수락 제어 방식이 필요하다. 그러나 기존에 연구된 통합 호 수락 제어 기법은 네트워크 선택기법 관점에서 연구가 주로 이루어져왔다⁷⁾. 따라서 본 논문에서는 QoS 관점의 호 수락 제어에 중점을 두고 시스템을 모델링하고 네트워크의 성능을 분석하고자 한다.

본 논문에서는 이종 네트워크 환경에서 네트워크 선택과 자원 예약 기반의 호 수락 제어 기법을 결합한 통합 호 수락 제어 기법의 성능분석을 연구한다. 이를

위해 LTE와 WLAN이 중첩된 네트워크 환경에서 신규호와 핸드오프호가 네트워크를 선택할 때의 네트워크 결정률과 LTE의 자원 예약기법이 적용한 시스템을 제안하고 마코프 체인(Markov Chain) 모델링을 통해 제안된 시스템을 분석한다. 본 논문의 성능 분석 결과로 LTE와 WLAN 각 네트워크의 신규호 블록률(New call block rate), 핸드오프호의 절단률(Handoff Drop rate), RB 사용률(Resource Block Utilization)을 비교 분석하고, 네트워크 선택률에 따른 적합한 자원 예약률을 알아본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구의 관련연구인 기존의 호 수락 제어 기법과 이종 네트워크 환경에서의 호 수락 제어 연구들을 살펴보도록 한다. 3장에서는 본 연구에 적합한 LTE-WLAN의 시스템 모델과 구조를 살펴보고 파라미터를 정리한다. 또, 트래픽 분석과 마코프 체인(Markov model) 모델링을 통한 성능분석에 대해 다룬다. 4장에서는 실험 환경 및 성능분석 결과를 다룬다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해서 논의한다.

II. 관련 연구

기존의 호 수락 제어 기법은 단일 네트워크 환경에서 신규호 또는 핸드오프호에 대해 수락여부를 판단/결정기법과 들어오는 호에서 요구하는 QoS 지원 여부를 판단하는 기법을 말한다. 기존의 호 수락 제어 기법은 크게 정적 호 수락 제어 기법과 동적 호 수락 제어 기법으로 나뉜다. 대표적인 정적 호 수락 제어 기법으로는 가드채널(Guard channel) 기반의 호 수락 제어 기법과 분할 가드채널(Fractional guard channel) 기반의 호 수락 제어 기법 등이 있으며, 동적 호 수락 제어 기법으로는 예측 기반의 호 수락 제어 기법과 이동성 기반의 호 수락 제어 기법 등이 있다.

먼저 정적 호 수락 제어 기법을 살펴보면, 가드채널(Guard channel) 기반의 호 수락 제어 기법은 신규호 보다는 핸드오프호에 우선순위를 주기 위해 일정 채널들을 예약하는 기법이다⁸⁾. 전체 이용할 수 있는 채널을 C 이고 가드채널의 수를 C-K 있다면, 신규호는 진행 중인 호들이 점유한 채널수가 임계값 K보다 작을 경우에 수락되고 그렇지 않으면 거절된다. 반면 핸드오프호는 이용할 채널이 존재할 경우 모두 수락된다. 채널 예약에 의해, 핸드오프호 절단률이 최소가 되는 지점을 임계값으로 정하며, 들어오는 호에 대해서 시스템은 가능한 많은 신규호를 수락하기 위해 노력한다. 임계값을 정해 놓은 가드채널 기반의 호 수락

제어 기법은 간단하고 구현이 용이하지만, 시간에 따라 변하는 이동통신 환경에서 최적의 C-K 값을 결정하기 어렵다는 단점이 있다. 단점을 보완하기 위한 기법으로 사용 중인 채널 상황을 고려해 신규호를 특정 확률에 의해 수락하는 분할 가드채널(Fractional guard channel)기법이 있다⁹⁾.

다음으로 동적 호 수락 제어 기법을 살펴보면, 높은 이동성을 지니는 피코셀룰러(Pico-cellular) 환경에서 자원예약과 수락 제어를 위한 셀들 사이의 정보교환은 큰 부하를 일으킨다. 따라서 호 수락 제어 알고리즘은 지역적인 정보를 기반으로 디자인된다. 이 경우 필요한 자원을 예측하기 위해 홈셀에 있는 지역의 정보를 기반으로 자원예약을 한다¹⁰⁾. 이러한 방식을 예측 기반의 호 수락 제어 기법이라 하며, 트래픽 변동이 적은 환경에서 좋은 성능을 보이지만, 핸드오프에 대한 정확한 예측이 어렵다.

이동성 기반의 호 수락 제어 기법은 효율적인 호 수락 제어를 위해 사용자 이동성 정보를 이용한다. 예를 들어 마이크로셀룰러 네트워크 환경에서 자원 요구를 예측하기 위해 사용자의 이동성 정보를 활용하는 새도우 클러스터 기법이 [11]에서 소개되었다. 이 기법은 서비스를 이용 중인 모든 단말의 현재 위치, 이동 속도, 이동 방향 등을 고려하여 이동할 인접 셀을 예측하고 해당 셀에 자원을 예약한다. 이러한 방식은 높은 자원 효율성을 지니고 있지만, 모든 단말의 이동성을 예측하는데 따르는 오버헤드가 크다는 단점을 지니고 있다.

이러한 기존의 호 수락 제어 기법은 단일 네트워크 환경을 고려하여 만들어 졌기 때문에 해당 네트워크의 이용 가능한 자원양이나 단말의 이동성 등의 정보를 이용해 관리하는 기술이 주로 연구되어졌다. 그러나 이중 네트워크 환경에서는 단말의 이동으로 인한 다른 네트워크로의 핸드오버 뿐만이 아니라 수행중인 서비스의 협약된 서비스 품질(QoS)을 보장해야 존재해야하는데 기존 기법들은 환경적인 차이를 극복할 수가 없다. 그래서 이중 네트워크 환경에서는 기존 호 수락 제어 기법이 풀지 못한 문제를 해결하고자 통합 호 수락 제어 기법(Joint Call Admission Control: JCAC)이 등장하였다.

통합 호 수락 제어 기법은 들어오는 호에 대해 수락여부만을 판단하는 것이 아닌 여러 네트워크들 중에서 들어오는 호를 가장 잘 수용할 수 있는 적합한 네트워크의 결정도 해야 한다. 그림 1은 통합 호 수락 제어 기법의 기본 기능에 대해서 나타낸다.

[12,13]에서는 이중 네트워크간 부하 균형을 위해

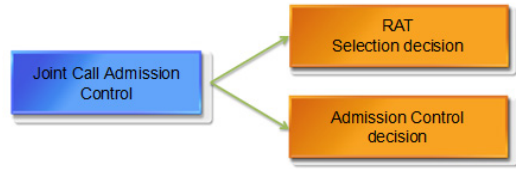


그림 1. 통합 호 수락 제어 기본 개념

현재의 네트워크 부하가 가장 적은 네트워크를 선택하는 기법을 사용하였다. [12]에서는 계속적으로 부하를 측정해서 호를 제어하고, [13]에서는 일정 시간간격으로 부하를 측정해 호를 제어하는 방식을 사용하였다. 본 방식은 부하의 균형적 분포로 인해 네트워크의 안정성은 높지만, 사용자의 만족도는 고려되기 어려운 점을 지닌다. [14]는 GSM과 UMTS 중첩환경에서 서비스 별로 적합한 네트워크를 선택하는 방식을 시나리오에 따라 분석한다. 본 방식은 높은 QoS를 보장하지만, 네트워크 부하가 불균형적으로 나타나게 된다. 이런 단일 기준에 따른 통합 호 수락 제어 기법은 장단점이 극명히 존재하기 때문에 이를 해결하기 위해 다기준 통합 호 수락 제어 기법이 등장하기도 하였다. [15]에서는 데이터 비율, 셀 종류, 영역, 전송 지연, 셀 도착 비율을 퍼지 기반의 결정 함수를 사용하여 최적의 네트워크를 결정하게 된다.

다양한 통합 호 수락 제어 기법을 제시하였는데, 이들은 대부분 네트워크 선택기법에 중점을 둔 방식이었다. 이중 네트워크 환경에서 호 수락 제어 시에는 네트워크의 선택도 중요한 부분이지만 네트워크 별 신규호 차단률이나 핸드오프의 절단률의 QoS 관점에서 문제를 살펴보는 것도 중요시 된다. [16]에서는 3G 네트워크와 WLAN이 중첩된 환경에서 서비스 품질을 지원하기 위해 WLAN을 우선 선택하는 호 수락 제어 기법을 제안하였다. 그러나 WLAN을 우선적으로 선택함으로써 네트워크 사용률 측면에서 좋지 않은 결과를 초래할 수 있으며, 3G 네트워크의 가드채널은 WLAN으로부터 들어오는 호를 허용하지 않기 때문에 제안하는 시스템에 비해 유연성이 부족하다. [17]에서는 셀룰러망에서 WLAN으로의 불필요한 핸드오버를 줄이기 위한 호 수락 제어기법이 제안되었다. 이 방식은 단말의 이동 속도가 빠른 환경에서 이루어 질 수 있는 WLAN으로의 핸드오버를 확률적으로 차단해 성능을 높이고자 하였다. 다만 수직적 핸드오버(Virtual HandOver:VHO)를 위한 호 수락 제어 방식이기 때문에 WLAN의 성능만을 고려하였고, 셀룰러망의 성능 향상 측면은 고려하지 못하였다. 본 논

문에서는 LTE와 WLAN 환경에서 확률에 따른 네트워크 선택을 통해 네트워크 사용률을 높이고, LTE 시스템에 가드RB를 적용해 수평적 핸드오버 뿐만이 아니라 수직적 핸드오버의 효율적인 관리를 통해 성능 향상을 도모하고자 한다. 이를 위해 시스템을 모델링하고 성능분석을 통한 LTE 시스템의 적합한 가드RB 예약률을 찾고자 한다.

본 논문의 이어지는 부분에서는 통합 호 수락 제어 기법이 적용된 시스템을 제안하고 마코프 체인 모델링을 통해 제안된 시스템의 성능을 분석한다.

III. 성능 분석 모델

3.1 시스템 모델

본 절에서는 LTE와 WLAN 이중 네트워크 환경에서 자원 예약기법이 적용된 통합 호 수락 제어의 시스템 모델과 시스템 파라미터들을 정의한다. 성능 분석을 위한 모델링의 편의를 위해 본 논문에서는 하나의 LTE 셀과 그 내부에 하나의 WLAN 영역이 존재하는 환경을 가정하였으며, 마코프 모델링을 기반으로 수립된 해석적 모델링을 통해 자원 예약기법이 적용된 통합 호 수락 제어의 성능을 분석한다. 다음 그림 2는 성능 분석을 위한 LTE와 WLAN 셀 구조를 나타낸다. eNodeB는 LTE의 기지국을 의미하고, AP는 WLAN Access Point를 의미한다.

본 논문에서 제안하는 통합 호 수락 제어 시스템은 LTE와 WLAN이 통합된 환경에서 적용되며, 그림 3에서 시스템 모델을 볼 수 있다. 호가 발생하면 종류에 상관없이 제안된 통합 호 수락 제어 시스템을 통해 자원을 할당받는다. 시스템에 유입되는 호의 종류와

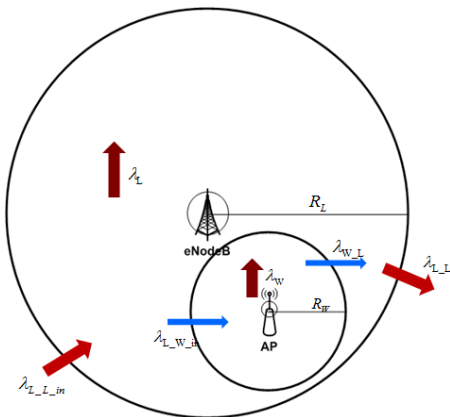


그림 2. LTE-WLAN 시스템의 셀 구조

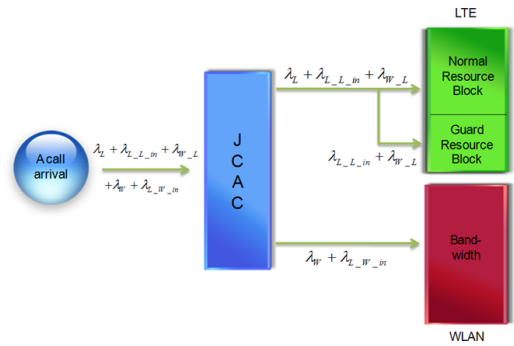


그림 3. LTE-WLAN 통합 호 수락 제어 시스템 모델

발생 위치에 따른 LTE와 WLAN의 특성이 고려된 다른 네트워크 선택률을 적용하여 적합한 네트워크를 선택하게 된다. 제안된 시스템에서 트래픽의 종류는 해석의 편의를 위해 음성호만을 가정하였으며, 호의 종류는 신규호와 핸드오프호로 구분한다. 다만 LTE와 달리 WLAN은 대용량의 데이터 트래픽을 주로 처리하는데, 음성호를 수용하기 위해 WLAN 데이터 통신에 VoIP(Voice over IP)까지 지원할 수 있는 기술인 모바일 VoIP 서비스를 고려한다. LTE 시스템에서는 가용 자원인 RB(Resource Block)에 대해 신규호와 핸드오프호를 모두 받아들일 수 있는 일반 RB(Normal RB)와 핸드오프호를 위해 예약하는 자원인 가드 RB(Guard RB)로 나누어 사용하도록 정의하였다. 또한 WLAN의 자원인 채널은 전체 가용자원을 신규호와 핸드오프호에 모두 할당 할 수 있다. LTE와 WLAN 시스템은 할당된 전체 자원에 대해서 사용자들에게 서로 다른 자원 접속 매커니즘을 제공한다. LTE 시스템에서는 random access 기반의 기지국 자원 할당 방식을 사용하고, WLAN에서는 CSMA/CA의 채널 할당 방식을 사용한다. 하지만 본 논문에서는 사용자들 간의 특정 자원에 대한 충돌이 없다고 가정하여 위의 접속 매커니즘은 고려하지 않는다. 그리고 시스템에서 사용되는 네트워크 선택률은 두 네트워크를 랜덤하게 선택할 경우와 가용자원이 상대적으로 많고 사용비용이 상대적으로 저렴한 WLAN을 우선적으로 선택할 경우의 두 가지 방법을 비교하여 성능 분석한다.

제안하는 통합 호 수락 제어 시스템에서 사용되는 가드 RB는 셀룰러에서 핸드오프를 위해서 사용되던 가드채널 방식과 유사하게 운용되며, 이 경우 다른 LTE 셀로부터의 핸드오프호를 위한 자원예약 뿐만이 아니라 WLAN으로 부터의 핸드오프호 또한 받아들여지게 되는 것이 다른 점이다.

3.2 자원 할당 기법

제안하는 통합 호 수락 제어 시스템의 호 수락 여부는 아래의 규칙을 기반으로 결정되며, 그림 4의 알고리즘을 통해 확인할 수 있다.

- 신규호 발생의 경우,
 - WLAN과 중첩되지 않은 LTE 영역에서 발생한 호의 경우, LTE시스템의 일반 RB자원 중에서 사용하지 않는 가용 RB를 선택한다.
 - WLAN 영역에서 발생한 호의 경우, LTE와 WLAN이 중첩된 영역이기 때문에 초기 네트워크 선택률(P)에 의해서 LTE 또는 WLAN을 선택한다.
 - 상기의 두 경우에서 LTE를 선택했으나 할당 받을 자원이 없는 경우, 호는 차단된다. 여기에서 WLAN의 가용한 채널 활용여부를 확인하지 않고 차단하는 것은 좁은 영역을 가진 WLAN 특성상 호를 연결시킬 경우, 짧은 시간 안에 다시 WLAN 영역을 벗어나 LTE로 핸드오프를 시도하여 시스템에 부담을 주기 때문이다. 또한 시스템의 관리자 관점에서도 신규호의 차단보다는 핸드오프호의 절단이 더 우선시되는 문제이기 때문에 본 경우에서도 LTE의 자원이 없을 경우에 신규호의 차단이 이루어진다.
 - WLAN을 선택했으나 할당받을 자원이 없을 경우, LTE의 일반 RB에 가용한 RB가 있다면 이를 할당하며, 그렇지 않은 경우 호는 차단된다.
- 핸드오프호 발생의 경우,
 - 외부 LTE 영역에서 타깃 LTE 영역으로 이동한 호의 경우, LTE의 일반 RB와 가드 RB에 있는 가용한 RB를 할당한다.
 - WLAN 영역에서 LTE 영역으로 이동한 호의 경우, 위의 경우와 마찬가지로 LTE의 일반 RB와 가드 RB의 가용한 RB를 할당한다.
 - 위의 두 가지 경우에서 LTE에 가용한 RB가 없다면 호는 절단된다.
 - LTE 영역에서 WLAN 영역으로 이동한 호의 경우, WLAN으로 VHO될 확률(P^*)에 의해 WLAN으로 이동이 결정된다. 호가 이동이 결정된 후, WLAN에 사용가능 가능한 자원이 남아 있다면 호는 수락된다. 그러나 WLAN에 사용 가능한 자원이 남지 않았을 경우에는 호는 WLAN에서 차단되지 않고 기존 LTE RB를 계속 사용한다.

그림 4는 상기의 신규호와 핸드오프호에 자원을 할당하는 절차를 제시한다.

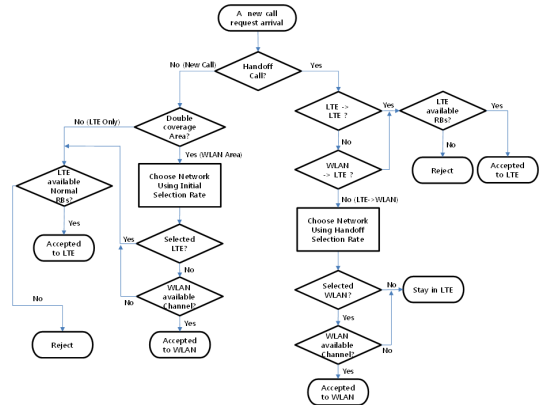


그림 4. LTE-WLAN 통합 호 수락 제어 알고리즘

3.3 시스템 모델링 파라미터

본 논문에서 제시하는 통합 호 수락 제어 기법의 성능분석을 위한 시스템 모델링 파라미터들은 다음과 같이 정의된다.

단말은 셀 내에서 균일하게 분포하는 것으로 가정한다. 전체 셀에서 호의 발생률(call arrival rate)은 λ 로서, LTE 셀 안에 WLAN 셀이 존재하므로 LTE 셀의 전체에서 발생한 호를 의미한다. LTE와 WLAN 셀에서의 서비스율(service rate)은 μ 이고, LTE와 WLAN의 셀 반경은 각각 R_L 과 R_W 이다. LTE의 전체 RB 개수, LTE 가드 RB 개수(예약된 RB), WLAN 셀의 전체 채널 개수는 각각 C_L , C_g 및 C_W 이다. LTE RB과 WLAN 채널의 평균 사용 개수는 각각 \bar{N}_L 와 \bar{N}_W 이다. 또한 중첩된 지역에서 신규호가 WLAN 네트워크 선택할 확률은 P 이며, 단말이 LTE에서 WLAN으로 이동되는 상황에서 WLAN으로 VHO될 확률은 P^* 로 가정한다.

λ_W 는 전체 호 발생률 λ 와 R_L 과 R_W 의 관계에서 구할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_W = \lambda \cdot \frac{\pi R_W^2}{\pi R_L^2} \cdot P. \quad (1)$$

LTE 셀 영역과 중첩된 WLAN 셀 영역에서의 LTE 신규호의 발생률 λ_L 은 WLAN 셀 영역을 제외한 LTE 셀 영역에서의 신규호 발생률인 $\lambda \cdot \left(\frac{\pi R_L^2 - \pi R_W^2}{\pi R_L^2} \right)$

과 중첩된 WLAN셀 영역에서 LTE 신규호 발생률인 $\lambda \cdot \frac{\pi R_W^2}{\pi R_L^2} \cdot (1-P)$ 의 합으로 표현되며 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_L = \lambda \left(\frac{\pi R_L^2 - \pi R_W^2}{\pi R_L^2} \right) + \lambda \frac{\pi R_W^2}{\pi R_L^2} (1-P). \quad (2)$$

WLAN에서 LTE로의 핸드오프율인 λ_{WL} 은 다음과 같다^[18].

$$\lambda_{WL} = \frac{\nu \cdot 2\pi R_W}{\pi \cdot 2\pi R_W^2} = \frac{2\nu}{\pi R_W}. \quad (3)$$

타깃 LTE에서 외부 LTE로의 핸드오프율인 λ_{LL} 은 다음과 같다^[18].

$$\lambda_{LL} = \frac{\nu \cdot 2\pi R_L}{\pi \cdot \pi R_L^2} = \frac{2\nu}{\pi R_L}. \quad (4)$$

LTE에서 WLAN으로의 핸드오프율인 λ_{LWin} 과 외부 LTE에서 타깃 LTE로의 핸드오프율인 λ_{LLin} 은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_{LWin} = \overline{N_W} \cdot \lambda_{WL} \cdot P^*. \quad (5)$$

$$\lambda_{LLin} = \overline{N_L} \cdot \lambda_{LL}. \quad (6)$$

3.4 마코프 체인기반 해석적 모델링

본 절에서는 상기의 시스템에서 LTE와 WLAN의 자원 선택 과정을 기반으로 신규호 차단 확률(new call blocking probability)와 핸드오프호 절단 확률(handoff call dropping probability), 자원 사용률(resource utilization)을 분석한다. 신규호의 차단 확률과 핸드오프호 절단 확률은 해석적 모델링을 통해 분석할 수 있으며, 해석적 모델 정립을 위한 가정들은 다음과 같다.

- 통합 호 발생 프로세스(aggregated call arrival process)는 LTE 셀 당 rate λ 를 갖는 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. 타깃 셀의 전체 영역을 포함하는 네트워크가 LTE이기에 전체 호 발생은 LTE 셀을 사용한다.
- 호 지속 시간(call duration)은 평균 $1/\mu$ 초를 갖는

지수 분포(exponential distribution)를 따른다.

LTE 영역에서 발생한 신규호의 차단 확률, WLAN 영역에서 발생한 신규호의 차단 확률과 LTE 영역에서의 핸드오프호의 절단 확률은 각각 P_{BL} , P_{BW} , P_{DL} 로 정의된다. 또한 t 시간동안 할당된 WLAN과 LTE의 자원의 개수를 각각 N_W 와 N_L 로 정의하면, 호의 발생 시간과 지속 시간은 지수 분포를 따르기 때문에 (N_L, N_W) 로 정의된 벡터는 2차원 마코프 체인(Markov chain)으로 표현할 수 있다. WLAN과 LTE의 신규호 발생률은 앞서 정의한바와 같이 λ_W 과 λ_L 가 되고, 각 핸드오프호의 발생률은 λ_{WL} , λ_{LL} , λ_{LWin} , λ_{LLin} 가 되며, 신규호 발생률과 핸드오프호 발생률은 모두 포아송 분포를 따르게 된다. 그리고 LTE 셀 안의 서비스율인 μ_m 은 다음과 같다.

$$\mu_m = \begin{cases} m\mu, & m < C_L, C_W \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

랜덤 벡터 (N_L, N_W) 의 안정 상태 확률밀도 함수(steady state probability mass function)를 $p(n_L, n_W) \equiv \Pr [N_L = n_L, N_W = n_W]$ 라 정의하면, 가드 RB전까지의 시스템과 가드 RB에 있는 시스템의 두 가지 경우에 대한 이차원 마코프 체인을 정의하고 안정 상태 확률 밀도 함수를 구할 수 있다.

가드 RB전까지의 시스템의 경우, LTE 가드 RB 영역 아래에서 서비스 되는 것으로 마코프 체인에서 표현되며 $0 \leq n_L \leq C_L - C_g$, $0 \leq n_W \leq C_W$ 의 범위에서 다음과 같은 균형방정식(balance equation)을 만족한다.

$$\begin{aligned} & p(n_L, n_W)(\mu_{n_W} + n_W \lambda_{WL} + \lambda_L + \lambda_{LLin} + \lambda_W + \mu_{n_L} + n_L \lambda_{LL}) \\ &= p(n_L, n_W - 1) \lambda_W + p(n_L + 1, n_W - 1) \lambda_{LWin} \\ &+ p(n_L + 1, n_W)(\mu_{n_L + 1} + (n_L + 1) \lambda_{LL}) \\ &+ p(n_L, n_W + 1) \mu_{n_W + 1} + p(n_L - 1, n_W + 1)(n_W + 1) \lambda_{WL} \\ &+ p(n_L - 1, n_W)(\lambda_L + \lambda_{LLin}) \end{aligned} \quad (8)$$

또한 가드 RB에서의 시스템의 경우, LTE 가드 RB 영역에서 서비스 되는 것으로서 이는 $C_L - C_g \leq n_L \leq C_L$, $0 \leq n_W \leq C_W$ 의 범위에서 다음과 같은 균형방정식을 만족한다.

LTE에서의 핸드오프호의 절단률, P_{DL} , 은 다른 LTE 셀에서 타깃 LTE 셀로 핸드오프 되는 호와 WLAN에서 타깃 LTE로 VHO되는 경우이며 이는 다음과 같다.

$$P_{DL} = \sum_{n_W=0}^{C_W} p(C_L, n_W) \quad (13)$$

다음에서 각 네트워크별 자원 사용률을 구하기 위해 우선적으로 WLAN 채널과 LTE RB의 평균 사용수를 구한다. 먼저 WLAN 채널의 평균 사용수는 다음과 같다.

$$\overline{N_W} = E[N_W] = \sum_{n_W=0}^{C_W} \sum_{n_L=0}^{C_L} n_W p(n_L, n_W) \quad (14)$$

또, LTE RB의 평균 사용수는 다음과 같다.

$$\overline{N_L} = E[N_L] = \sum_{n_L=0}^{C_L} \sum_{n_W=0}^{C_W} n_L p(n_L, n_W) \quad (15)$$

마지막으로 LTE와 WLAN의 각 네트워크별 자원 사용률 ρ_L 과 ρ_W 는 각각 네트워크의 최대 채널 개수 C_L 과 C_W 에 대한 WLAN과 LTE RB의 평균 사용수인 $\overline{N_L}$ 와 $\overline{N_W}$ 의 비율로서 다음과 같다.

$$\rho_L = \frac{\overline{N_L}}{C_L} \quad (16)$$

$$\rho_W = \frac{\overline{N_W}}{C_W} \quad (17)$$

IV. 실험 환경 및 성능분석 결과

본 논문에서 제안하는 통합 호 수락 제어 기법의 성능 분석을 위한 실험 환경은 표 1과 같다. 성능분석 연구를 위해서는 마코프 모델의 상태공간(state space)이 너무 크지 않아야 하므로 LTE와 WLAN 시스템은 실제 용량보다 1/50정도를 제공하는 것으로 가정하였다.

LTE와 WLAN의 자원할당을 구하기 위해 자원의 길이를 LTE와 WLAN에서 동일하게 10ms의 한 프레임(frame)으로 가정한다. LTE의 자원할당에서 10ms

표 1. Simulation Parameter

Parameters	LTE	WLAN
Real capacity	100 Mbps	500 Mbps
Real number of block per 10ms	1000	250
Simulation number of block per 10ms	20	5
Cell radius(R_L, R_W)	1000	250
Initial selection network rate(P)	1/2, 1	
Handoff selection network rate(P^*)	1/2, 1	

의 한 프레임은 10개의 서브프레임(Subframe)으로 구성되며, 각 서브프레임은 2개의 슬롯(Slot)으로 구성된다. 자원할당은 서브프레임 단위로 이루어지며, 각 서브프레임은 100개의 RB를 가진다. 즉, 총 10ms 프레임에는 10개의 서브프레임이 존재하고 각 서브프레임당 100개의 RB를 가지므로, 10ms 프레임당 LTE의 자원할당은 1000 RB를 가지게 된다. WLAN 또한 동일한 방식을 통해 250의 자원을 할당 받게 된다. 각 네트워크별 자원량은 상기에서 언급한 이유로 1/50로 동일하게 줄여 위의 표 1과 같이 $C_L = 20, C_W = 5$ 으로 가정한다. 또한 호의 서비스율(μ)은 1로 정규화하여 사용하였으며, 단말의 속도(v)는 4km/h와 20km/h를 사용하였다. 또한 LTE의 자원예약양인 가드 RB양(C_g)은 1, 4, 8, 12의 다양한 경우에 대해 분석하였으며, 신규호 네트워크 선택률(P)과 WLAN으로 VHO 선택률(P^*)은 1/2, 1의 각각의 경우에 대해 분석을 수행하였다. 본 실험에서 사용하는 트래픽은 음성호만을 고려하였다.

그림 6과 그림 7은 본 논문의 환경에서 JCAC가 적용된 시스템과 자원예약기법은 사용되지만 JCAC가 고려되지 않는 시스템의 네트워크 별 신규호 차단률을 시속 4km와 시속 20km의 두가지 경우에 대해 나타낸다. 시스템에 유입되는 부하는 RB당 offered load로서 0부터 2.5까지로 하여 경부하(light traffic load)부터 중부하(heavy traffic load)까지 발생하게 하였다. 그림 7에서 제시되는 바와 같이 JCAC가 고려되지 않을 경우 WLAN의 신규호 차단률은 그림 6의 JCAC 적용 시스템에 비해 4km/h인 경우 4배, 20km/h인 경우 6배 정도 증가한다. 그 이유는 WLAN 채널이 모두 사용되고 있고 JCAC가 적용될 경우에 LTE의 가용한 RB를 WLAN에게 허용해 성능을 향상시키지만, JCAC를 사용하지 않는 시스템에서는 LTE의 가용자원을 사용하지 못하고 차단되어 차이가 발생된다. 반

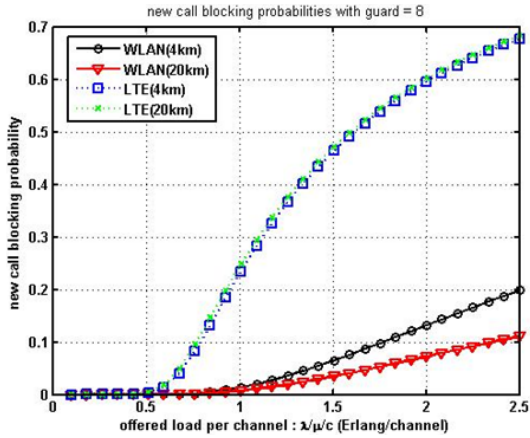


그림 6. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 신규호 차단률(JCAC 적용 모델)

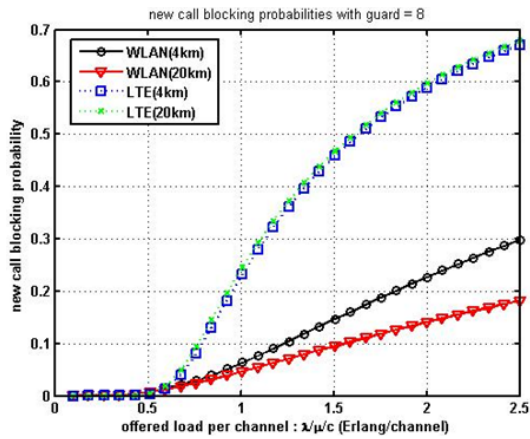


그림 7. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 신규호 차단률(Non-JCAC 적용 모델)

면 LTE의 자원은 WLAN의 채널을 연동해서 사용하지 않기 때문에 두 시스템간의 차이가 발생하지 않는다. 또한 WLAN의 경우 속도가 증가함에 따라 핸드오프 빈도수가 높아지므로 작은 커버리지 내에서 WLAN 채널이 빈번하게 사용되어 신규호 차단률이 증가하게 된다. 이에 반하여 LTE에서는 면적대비 자원량이 크기 때문에 속도에 따른 영향이 매우 작게 된다.

그림 8, 그림 9과 그림 10은 신규호의 네트워크 선택률(P)과 WLAN으로 VHO 선택률(P^*)이 모두 1/2인 경우로서, 통합 호 수락 제어 시스템의 RB 당 offered load가 0.1~2.5의 범위에서 가드 RB의 수가 1, 4, 8, 12일 경우의 네트워크 별 신규호차단률, 핸드오프호 절단률, RB 사용률을 나타내고 있다. 성능 분석 시, 단말 속도의 변화를 고려하지 않기 위해 4km/h로 고정하고 가드 RB 수의 변화를 제시하였다. 가드

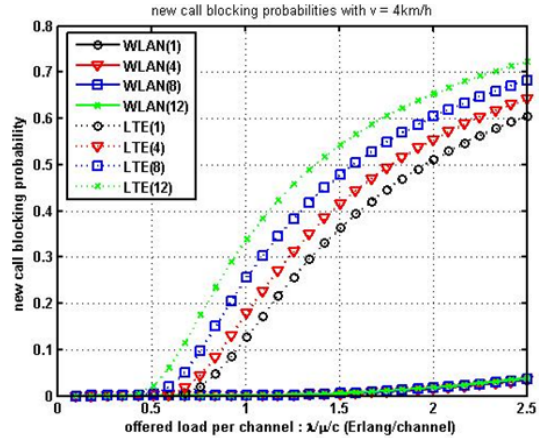


그림 8. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 신규호 차단률($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1/2$)

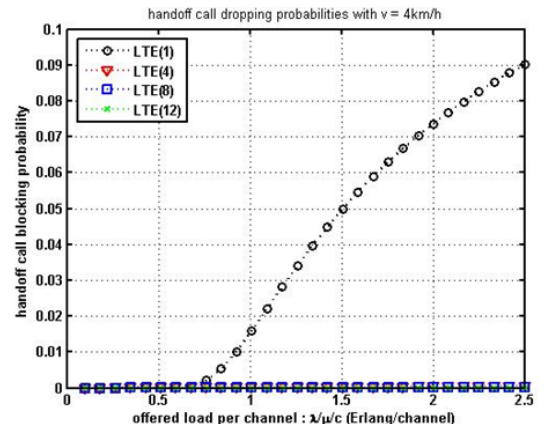


그림 9. RB 당 offered load에 따른 핸드오프호 절단률($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1/2$)

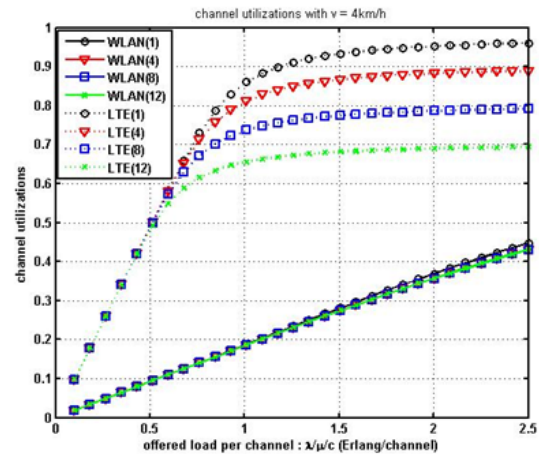


그림 10. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 RB 사용률($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1/2$)

RB 수의 변화에 따른 LTE의 신규호 차단률의 영향은 가드 RB의 수가 증가함에 따라 비례하지만 WLAN에서는 변화가 나타나지 않는다. 이는 가드 RB의 수가 증가함에 따라 LTE에서 핸드오프호를 위해 예약되는 RB의 양이 증가해 실질적으로 신규호가 할당받을 수 있는 자원양이 줄기 때문에 적어진 RB양 만큼의 LTE의 신규호 차단률의 차이가 발생한다. 그림 10에서 보여지는 바와 같이 RB 사용률에서도 신규호 차단율의 변화와 동일한 이유로 인해 가드 RB의 수가 증가함에 따라 LTE 시스템의 RB 사용률이 감소하게 된다. 그러나 핸드오프호의 절단률은 그림 9에서 보여지는 바와 같이 가드 RB의 수가 1인 경우에만 매우 큰 절단률이 발생하고 가드 RB의 수가 증가함에 따라 거의 절단이 발생하지 않는다. 따라서 신규호 차단률과 RB 사용률의 결과로부터 가장 적은 양의 RB를 예약하는 것이 좋다고 볼 수 있다. 하지만 이 경우 핸드오프호 절단률은 경우 너무 적은 양의 RB로 인해 LTE 음성호의 QoS 보장이 불가능하도록 성능저하가 보이기 때문에, 가장 작은 RB 예약률보다는 전체 RB중 10%정도를 예약하는 것이 적합하다고 여겨진다.

그림 11, 그림 12과 그림 13은 신규호의 네트워크 선택률(P)과 WLAN으로 VHO 선택률(P^*)이 모두 1인 경우, 통합 호 수락 제어 시스템의 RB 당 offered load가 0.1~2.5이고 가드 RB의 수가 1, 4, 8, 12일 경우의 네트워크 별 신규호 차단률, 핸드오프호 절단률, RB 사용률을 나타낸다. 먼저 신규호 차단률은 네트워크 선택률이 $P=P^*=1/2$ 인 경우와 비교해 LTE는 동일한 경향을 보이지만, WLAN은 신규/핸드오프호 모두 WLAN을 우선적으로 선택하고 여분의 자원이 없을 경우에 LTE를 사용하므로 가드 RB를 제외한

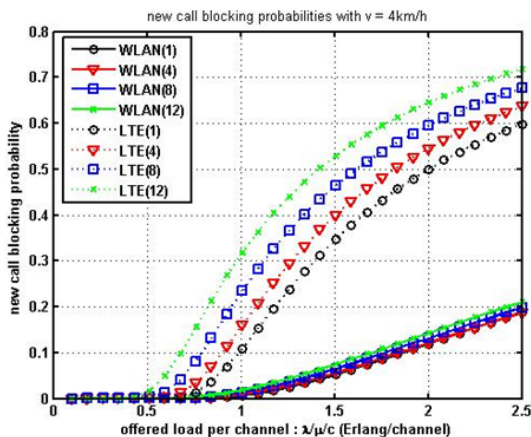


그림 11. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 신규호 차단률 ($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1$)

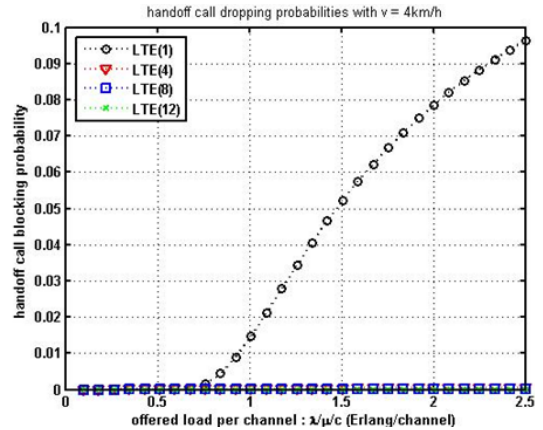


그림 12. RB 당 offered load에 따른 핸드오프호 절단률 ($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1$)

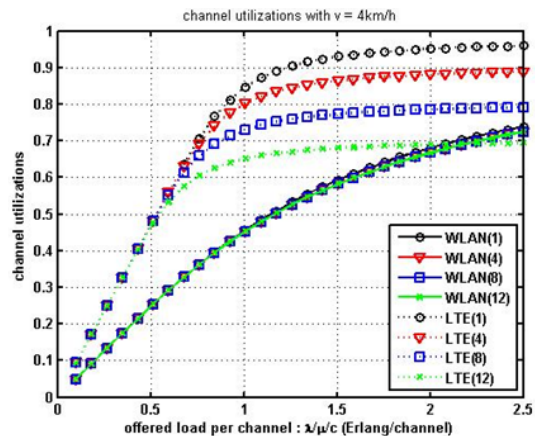


그림 13. RB 당 offered load에 따른 네트워크 별 RB 사용률($v=4\text{km/h}$, Guard RB 변화, $P=P^*=1$)

RB양에 영향을 받아 상승하게 된다. 이런 경향은 RB 사용률에도 동일하게 적용되어, $P=P^*=1/2$ 인 선택률과 비교할 경우에 WLAN 우선 선택의 영향으로 전체적인 WLAN의 RB 사용률이 증가함을 볼 수 있다. 또한 가드 RB의 수가 1인 경우에 신규호 차단률과 RB 사용률에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그러나 핸드오프 절단률이 음성호의 QoS 보장을 불가능하도록 하기 때문에 $P=P^*=1/2$ 인 경우와 동일하게 가장 작은 RB 예약률보다는 전체 RB중 10%정도를 예약하는 것이 적합하고 여겨진다.

V. 결 론

본 논문에서는 LTE-WLAN 이중 네트워크 환경에서 네트워크 선택 기법과 자원 예약 기반의 호 수락

제어 기법을 결합한 통합 호 수락 제어 기법의 성능분석을 하였다. 논문의 성능 분석 결과로 먼저 통합 호 수락 제어 시스템이 적용된 방식과 적용되지 않은 방식의 비교에서 통합 호 수락 제어 시스템의 성능이 나은 것을 보였다. 또 네트워크 선택률에 따른 Guard RB 예약비율을 살펴보면, 적합한 예약비율은 전체의 10%를 선택하는 것이 유리하다고 보였다. 본 논문의 결과는 향후 LTE와 WLAN의 중첩된 네트워크 환경에서 자원예약기법이 적용된 통합 호 수락 제어 시스템 도입 시에 참고할 만한 자원예약률의 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김권택, 신충용, 조진성, “중첩된 이기종 무선 네트워크에서의 통합 자원관리 방안”, 한국정보과학회 학술발표논문집 Vol.34, pp.338-343, 2007.
- [2] 김태섭, 오룡, 이상준, 윤석호, 류승완, 조중호, “LTE/WLAN 이중망 환경에서 범용링크계층과 통합무선자원관리 기법이 적용된 VHO 방안 연구”, 한국인터넷정보학회논문지 11(1), pp.35-48, 2010.
- [3] N. Tang, S. Tsui, L. Wang, “A survey of admission control algorithms, Available from:<http://www.cs.ucla.edu/tang/papers/admission_control_paper.ps>”, UCLA class paper, March 1998.
- [4] R.M. Rao, Cristina, H.V. Poor, “Call admission control in wireless multimedia networks: an overview of CAC principles in DS-CDMA networks”, IEEE Signal Processing Magazine 21(5), pp.51x-58x, 1998.
- [5] M.H. Ahmed, “Call admission control in wireless networks: a comprehensive survey”, IEEE Communications Surveys and Tutorials 7 (1), 2005.
- [6] Olabisi E. Falowo, H. Anthony Chana, “Joint Call Admission Control Algorithm for Fair Radio Resource Allocation in Heterogeneous Wireless Networks Supporting Heterogeneous Mobile Terminals”, Consumer Communications and Networking Conference(CCNC), Las Vegas, Jan. 2010.
- [7] Olabisi E. Falowo, H. Anthony Chana, “Joint call admission control algorithms: Requirements, approaches, and design considerations”, Computer Communication, Vol.31, Issue6, 18, pp.1200-1217, April 2008.
- [8] D. Hong and S. S. Rappaport, “Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures,”IEEE Trans. Vehic. Tech., Vol.VT-35, No.3, pp.77-2, Aug 1986.
- [9] R. Ramjee, R. Nagarajan, and D. Towsley, “On Optimal Call Admission Control in Cellular Networks,”Proc. IEEE INFOCOM '6, Vol.1, pp.43-50, Mar 1996.
- [10] T. Zhang et al., “Local Predictive Resource Reservation for Handoff in Multimedia Wireless IP Networks,”IEEE JSAC, Vol.19, No.10, pp.1931-41, Oct 2001.
- [11] D. A. Levine, I. F. Akyildiz, and M. Naghshineh, “A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept,”IEEE/ACM Trans. Net., Vol.5, pp.1-12, Feb 1997.
- [12] A. Toili, P. Hakalin, Adaptive load balancing between multiple cell layers, VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th Vol.3, September 24-28, pp. 1691-1695, 2002.
- [13] K.H. Suleiman, H.A. Chan, M.E. Dlodlo, Load balancing in the call admission control of heterogeneous wireless networks, in: International Conference On Communications And Mobile Computing (IWCMC'06), Vancouver, Canada, July 3-6, pp.245-250, 2006.
- [14] W. Zhang, Performance of real-time and data traffic in heterogeneous overlay wireless networks, in: Proceedings of the 19th International Teletraffic Congress (ITC 19), Beijing, 2005.
- [15] Q. Guo, X. Xu, J. Zhu, H. Zhang, A QoS-guaranteed cell selection strategy for heterogeneous cellular systems, ETRI Journal 28(1) pp.77-83, 2006.
- [16] W. Song, H. Jiang, and W. Zhuang, “Performance analysis of the WLANfirst scheme in cellular/WLAN interworking,” IEEE

Trans. Wireless Commun., Vol.6, No.5, pp. 1932-1952, May 2007.

- [17] S. Lee, K. Kim, K. Hong, D. Griffith, Y. H. Kim, and N. Golmie, "A probabilistic call admission control algorithm for WLAN in heterogeneous wireless environment," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.8, No.4, pp. 1672-1676, Apr. 2009.
- [18] Bijan Jabbari, "Teletraffic Aspects of Evolving and Next-Generation Wireless Communication Networks", IEEE Personal Communications, Dec 1996, pp.4-9.

류 승 완 (Seung-Wan Ryu)

종신회원



1988년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업

1991년 2월 고려대학교 산업공학과 석사

2003년 뉴욕주립대(SUNY at Buffalo) 산업공학과 박사

1991년~1993년 LG전자 영상미디어 연구소(주임연구원)

1993년~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수

<관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

김 이 강 (Yi-Kang Kim)

준회원



2010년 2월 고려대학교 전산학과 졸업

2010년 2월 고려대학교 전산학과 석사

2010년 3월~현재 고려대학교 전산학과 박사과정

<관심분야> 이동통신, 펌토셀, SON, VHO

조 총 호 (Choong-Ho Cho)

종신회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업

1983년 2월 고려대학교 산업공학과 석사

1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과 석사

1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과 박사

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 전산학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스

김 승 연 (Seung-Yeon Kim)

정회원



2005년 2월 고려대학교 전자 및 전자공학부 졸업

2007년 2월 고려대학교 전자 및 전자공학부 석사

2007년 3월~현재 고려대학교 전자 및 전자공학부 박사과정

<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜