

# 클라우드 기지국 시스템에서 효율적 무선 접속을 위한 이른 스펙트럼 감지 기법

조가희\*, 이재원\*, 나지현\*\*, 조호신<sup>o</sup>

## An Early Spectrum Sensing for Efficient Radio Access in Cloud-Conceptual Base Station Systems

Gahee Jo\*, Jae Won Lee\*, Jee-Hyeon Na\*\*, Ho-Shin Cho<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 다양한 무선 접속 기술(Radio Access Technology : RAT)들이 공존하는 클라우드 기지국 시스템에서의 효율적인 무선 접속 방법으로 무선인지기술(Cognitive radio)을 활용한 이른 스펙트럼 감지(Early Spectrum Sensing : ESS) 기법을 제안한다. 다중 모드 단말은 무선 접속 시도에 앞서 다중 무선 접속 시스템의 전체 주파수 대역을 대상으로 스펙트럼 감지를 수행하여 그 결과 스펙트럼 활용도가 가장 낮은, 즉 가용 스펙트럼이 가장 많을 것으로 예상되는 시스템을 선택하여 무선 접속을 시도함으로써 시스템 접속 성공 확률을 높일 수 있다. 제안 기법의 성능 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행 했으며 그 과정에서 최대한 다양한 무선 접속 시스템이 혼재하는 상황을 고려하고자 했다. 우선, 서킷과 패킷 시스템으로 구별한 후, 다시 패킷 시스템을 반송파 결합(Carrier Aggregation : CA) 가능 여부에 따라 다시 구별했으며, 단말기의 경우, 서킷 전용, 패킷 전용, 다중 모드로 구별함과 동시에 CA 능력에 따라서 역시 구별하였다. 또한, 패킷 트래픽의 경우, 실시간 트래픽과 3단계의 패킷 지연 허용 정도를 갖는 비실시간 트래픽으로 구분하였다. 이러한 다양한 무선 접속 환경이 고려된 클라우드 기지국 시스템에서 호 발생에서 호의 서비스 품질(Quality of Service : QoS)이 고려된 자원 할당까지의 일련의 과정을 시뮬레이션에 반영하여 시스템 접속 실패 확률, 평균 시스템 접속 시간, 시스템 균형 인수, 패킷 손실 확률 측면에서 제안 방식의 성능을 분석하였다.

**Key Words** : Cloud-conceptual Base Station, Radio Access Network, Spectrum Sensing, Call Admission Control, Resource Management

### ABSTRACT

In this paper, we propose an early spectrum sensing(ESS) as an advance preparation for radio-access trial, which enables multi-mode terminals to access the most appropriate radio-access system in a cloud-conceptual base station system where multiple radio access technologies(RATs) coexist. Prior to a random access to one of RATs, a multi-mode terminal conducts a spectrum sensing over entire frequency bands of whole RATs, then select the

※ 본 연구는 지식경제부 한국산업기술평가원의 산업융합원천기술개발 사업(KI0038765, 스마트 모바일 서비스를 위한 B4G 이동통신 기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

♦ 주저자 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부, jghv@ee.knu.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 경북대학교 IT대학 전자공학부, hscho@ee.knu.ac.kr, 종신회원

\* 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부, jwlee@ee.knu.ac.kr

\*\* 한국전자통신연구원, jhna@etri.re.kr

논문번호 : KICS2012-11-521, 접수일자 : 2012년 11월 2일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 9일

RAT with the lowest sensing power, that is likely to have the most available spectrum. Thus, an access failure caused by that the selected RAT has no available radio spectrum could be avoidable in advance. In computer simulation, we consider as various RATs as possible. First, circuit and packet systems are taken into consideration. In addition, the packet systems are classified according to the feasibility of carrier aggregation(CA). In case of terminal, three modes are considered with circuit-only, packet-only, and multi-mode. Subsequently, packet traffic is classified into real-time and non-real-time traffic with three different tolerable delay levels. The simulation includes a call process starting with a call generation and ending up with a resource allocation reflecting individual user's QoS requirements and evaluates the proposed scheme in terms of the successful access probability, system access time, system balancing factor and packet loss probability.

## I. 서 론

최근 스마트 폰, 태블릿 등 스마트 기기의 보급과 대중화로 인해 데이터 트래픽의 사용이 급증하고 있다. 고품질 모바일 멀티미디어 서비스를 포함한 다양한 미래 서비스의 증가는 데이터 트래픽의 증가 추이를 더욱 가속화하고 있다. 이러한 모바일 데이터 트래픽의 폭주에 대응하고 고속의 서비스를 제공하기 위해 LTE(Long Term Evolution), WiBro(Wireless Broadband Internet) 등의 무선 접속 기술이 도입되었고 지금보다 업그레이드 된 새로운 기술들이 개발되거나 서비스 준비를 앞두고 있다. 현재 무선 접속 망은 CDMA(Code Division Multiple Access), WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), LTE, WiBro 등 다양한 무선 접속 기술들이 혼재해 있는 중첩된 구조를 가진다<sup>[1]</sup>. 이러한 구조에서는 각 기술들의 독립적인 운영에서 오는 비효율성과 이로 인한 비용 증가, 네트워크의 용량 확대를 위한 장비 개발 및 유지보수 비용의 증가가 나타난다. 이를 해결하기 위한 대안으로 급부상 한 것이 클라우드 기반의 기지국 시스템이다.

클라우드 기지국 시스템은 다양한 무선 접속 기술의 혼재 속에서 무선 네트워크 가상화, 클라우드 컴퓨팅 개념 등을 활용하여 시스템의 물리적 집중화 및 논리적 유연성을 가능하게 하는 기술이다. 클라우드 기지국 시스템에서의 효율적인 무선 자원 사용을 위해서는 최적의 조건을 제공하는 무선 접속 기술을 선택하여 서비스를 제공받는 새로운 무선 접속 절차가 수행되어야 한다.

기존에는 다양한 무선 접속 기술들이 혼재하고 중첩된 커버리지를 가지는 무선 환경에서의 망운용에 대한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 환경에서 단말은 다양한 인터페이스를 포함할 수 있고, 특정 접속 기술이나 여러 접속 기술을 선택하고 접속하여

서비스를 받을 수 있다. 또한 네트워크 통합으로 무선 접속 기술 간에는 수직적 핸드오버(Vertical Handover : VHO)를 통한 네트워크 이동이 증가하였다. 하지만 서로 다른 무선 접속 기술들의 무선 자원 관리(Radio Resource Management : RRM)는 독립적으로 제공되고 있기 때문에 효율적인 망운용이 어렵다. 이를 해결하기 위한 방안으로 다양한 무선 접속 기술의 자원을 하나의 자원과 같이 통합 관리하는 통합 무선 자원 관리(Common Radio Resource Management : CRRM) 기법이 제안되었다<sup>[2,3]</sup>. RRM 상위 단계에 존재하는 CRRM은 다양한 무선 접속 기술의 RRM 정보를 바탕으로 네트워크 선택, 네트워크 이동, 접속 수락제어, 자원관리 등과 같은 무선 접속 기술의 통합적인 관리를 제공한다.

CRRM의 이러한 기능들 중, 핵심 이슈인 네트워크의 선택은 새롭게 발생한 호에 대해 하나 이상의 무선 인터페이스를 탑재한 단말이 적합한 무선 접속 기술을 선택하는 방안이다. 단말의 효율적인 무선 접속 기술의 선택은 요청한 호에 대한 서비스 품질을 보장하고, 무선 자원의 효율적인 사용을 가능하게 한다. 구체적으로, 무선 접속 기술의 선택은 랜덤 선택(Random based RAT selection), 운영자의 정책, 사용자의 선호도, 단말의 능력치, 요구되는 서비스 품질, 서비스의 종류, 가용한 시스템의 부하상태(Load condition) 등과 같은 여러 가지 기준에 따라 수행될 수 있다<sup>[4]</sup>. 하지만 이와 같은 무선 접속 기술 선택 기법들은 CRRM과 같은 상위의 제어기에서 의사결정(Network-controlled RAT selection)이 이루어진다. 이러한 기법들은 단말이 스스로 무선 접속 기술을 선택(Terminal-controlled RAT selection)에 비해 상대적으로 많은 추가적인 시그널링(Signaling) 절차가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 새롭게 정의된 클라우드 기지국 시스템에서 단말 스스로 무선인지기술을 활용한 이른 스펙트럼 감지를 수행하여 적합한 무선

접속 기술을 선택하는 기법을 제안한다. 다중 모드 단말은 무선 접속 시도에 앞서 다중 무선 접속 시스템의 전체 주파수 대역을 대상으로 스펙트럼 감지를 수행하여, 그 결과 스펙트럼 활용도가 가장 낮은, 즉 가용 스펙트럼이 가장 많을 것으로 예상되는 시스템을 선택하여 무선 접속을 시도함으로써 시스템 접속 성공 확률을 높일 수 있다. 또한 이를 기반으로 클라우드 기지국 시스템에서의 무선 접속 절차를 제시하고 이에 대한 성능 분석을 수행한다. 본 논문의 구성은 2장에서 클라우드 기지국 시스템의 개념 및 구조에 대해 살펴보고 3장에서는 제안하는 클라우드 기지국 시스템에서의 무선 접속 절차 및 이른 스펙트럼 감지 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 수행하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 클라우드 기지국 시스템

### 2.1. 일반적인 클라우드 기지국 시스템

클라우드 기반의 기지국은 디지털신호처리부(Digital Unit : DU)와 무선신호처리부(Radio Unit : RU)가 분리된 형태로 네트워크의 데이터 처리 용량을 개선하는 동시에 설비투자비용(Capital Expenditure : CAPEX)과 운용비용(Operating Expenditure : OPEX)을 대폭 절감할 수 있는 개념의 기지국이다. 디지털신호처리부는 디지털 신호 처리와 자원관리를 제어하는 기능을 수행하며, 크기가 작고 적층이 가능하여 여러 시스템의 디지털신호처리부를 소수의 집중국에 설치하여 집중 운용할 수 있다. 무선신호처리부는 전파 신호를 증폭하여 안테나로 방사하는 수동적인 역할만 수행하며, 서비스가 필요한 지역 곳곳에 배치하여 디지털신호처리부와 원격 접속시킨다. 클라우드 기지국 시스템은 복잡한 연산 절차를 수행하는 디지털신호처리부를 집중시켜 클라우드에서 통합 관리하고 소프트웨어 업그레이드만으로 네트워크의 진화나 확장이 가능하다. 또한 서비스가 필요한 지역에 무선신호처리부만 설치하여 서비스할 수 있기 때문에 설비투자비용과 운용비용을 최소화 할 수 있다<sup>5)</sup>.

그림 1은 무선 접속 기술 WiBro, WCDMA, LTE가 공존하는 클라우드 기지국 시스템의 예를 나타낸다. 디지털신호처리부는 각 시스템의 무선 디지털 신호를 처리하는 채널카드들로 구성된다. 네트워크의 변경 및 확대를 위해서는 채널카드의 변경

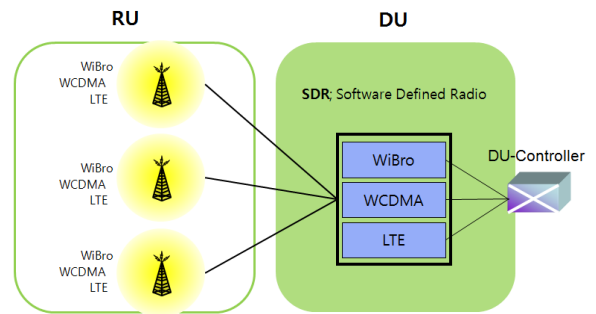


그림 1. DU와 RB가 분리된 클라우드 기지국 시스템  
Fig. 1. The architecture of cloud base station system

외에도 소프트웨어 정의 라디오(Software Defined Radio : SDR) 기술을 적용할 수 있다. 소프트웨어 정의 라디오는 하드웨어의 교체 없이 소프트웨어의 간단한 업그레이드만으로 네트워크의 변경이 가능한 기술이다. 유연성 있는 소프트웨어 정의 라디오 기술을 사용함으로써 불필요한 하드웨어의 변경을 최소화할 수 있고 그에 따른 망 구축비용을 최소화할 수 있다. 무선신호처리부는 기지국의 무선 신호를 처리하는 부분으로 디지털신호처리부로부터 수신한 디지털 신호를 주파수 대역에 따라 무선 주파수(Radio Frequency : RF) 신호로 변환하여 안테나로 송수신하는 변환 장치와 전력 증폭기로 구성된다. 무선신호처리부는 무선 접속 기술의 종류에 상관없이 영역 내의 모든 단말의 무선 주파수 신호를 다룬다. 무선신호처리부는 오직 디지털 신호의 송수신에 따르는 수동적인 역할만 수행하므로, 실질적인 호 수락 제어와 자원 할당 및 관리는 디지털신호처리부에 있는 무선 접속 시스템이 담당한다.

디지털신호처리부 상위 단에는 모든 시스템을 통합 관리하는 디지털신호처리부 제어기(DU controller)가 존재한다. 디지털신호처리부 제어기는 각 시스템의 무선 자원 효율, 패킷 손실 확률 등의 성능 파라미터들을 통합 관리하며, 파라미터들을 활용하여 시스템 간의 자원 균형을 유지하고 클라우드 기지국 시스템의 효율을 높일 수 있다. 또한 모든 시스템의 정보를 포함하기 때문에 단말의 이동에 따른 수직적 핸드오프(Vertical Handoff : VHO)와 수평적 핸드오프(Horizontal Handoff : HHO) 시 단말에게 여유 자원이 있는 최적의 시스템을 추천할 수 있다.

### 2.2. 본 논문에서 고려하는 클라우드 기지국 시스템

본 논문은 설명의 용이성을 위해 다양한 무선 접

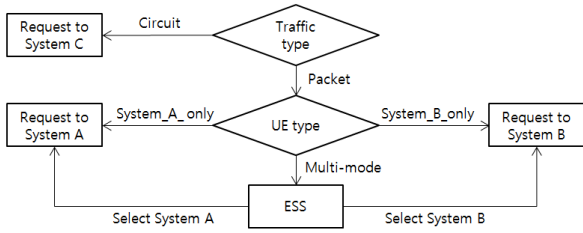


그림 2. 단말의 호 요구 절차  
Fig. 2. Call request procedure

속 시스템을 A, B, C 3개의 시스템으로 추상화하여 표현한다. 시스템 A와 B는 패킷교환 시스템으로서 LTE-Advanced 표준에서 정의된 반송파 결합(Carrier Aggregation : CA) 기술을 지원하는 A 시스템과 반송파 결합 기술을 지원하지 않는 B 시스템으로 다시 구별된다. 시스템 C는 서킷(Circuit) 트래픽을 처리하는 시스템이다.

무선 접속 시스템 A, B, C의 디지털신호처리부는 클라우드 내에서 집중 관리되며, 서비스 지역에 위치한 무선신호 처리부를 통해 사용자 단말과의 신호 송수신을 한다. 사용자 단말은 서킷, 패킷 트래픽 모두를 발생시킬 수 있으며, 패킷 트래픽에 대해서 A 혹은 B 시스템 하나에만 접속 가능한 단말(System\_A\_only, System\_B\_only)과 A, B 시스템 모두 접속 가능한 다중 모드 단말(Multi\_mode)로 구분된다. 또한 단말은 다양한 채널 처리 능력(Channel handling capability)을 갖는다고 가정한다. 여기서 채널 처리 능력은 단말이 채널을 할당 받아

사용할 수 있는 최대 채널 대역을 말한다. 즉, 채널 처리 능력이 충분히 큰 단말이 반송파 결합이 가능한 시스템 A로부터 서비스를 받을 경우, 해당 채널 처리 능력 내에서 여러 채널을 결합하여 보다 넓은 채널 대역폭을 할당 받을 수 있다. 예를 들어, 20MHz 채널 처리 능력을 가진 단말은 5MHz와 10MHz 채널들을 결합하여 최대 20MHz의 대역을 할당 받을 수 있다. 이 밖에도 패킷 트래픽의 경우, 지연을 허용하는 정도에 따라 실시간(Real-time) 트래픽, 1-프레임 지연이 가능한 트래픽, 2-프레임 지연이 가능한 트래픽, 그리고 3-프레임 지연이 가능한 트래픽으로 구분된다고 가정한다.

### III. 클라우드 기지국 시스템에서의 이른 스펙트럼 감지 기법

#### 3.1. 무선 접속 절차

단말이 시스템을 선택하고 호를 요구하는 절차는 그림 2와 같이 정의된다. 서킷 트래픽이 발생한 단말은 시스템 C에 호를 요구하고, 패킷 트래픽이 발생한 단말은 단일 모드인 경우, 해당 시스템에 호 접속 제어 패킷을 전송하는 반면 다중 모드인 경우, 접속할 시스템을 선택하기 위해 이른 스펙트럼 감지 과정을 수행한다. 이 과정에서 단말은 시스템 A와 B의 주파수 대역을 대상으로 스펙트럼 감지를 수행하여 스펙트럼 맵(Spectrum map)을 구성한 후,

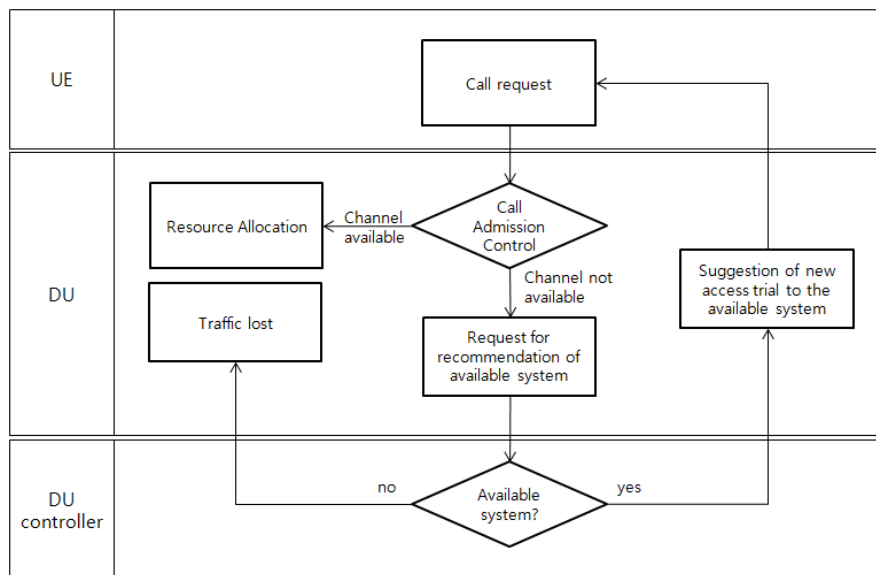


그림 3. 시스템의 호 처리 절차  
Fig. 3. System call process

현재 스펙트럼 활용도가 가장 낮은 시스템을 선택하여 호 접속을 시도하게 된다.

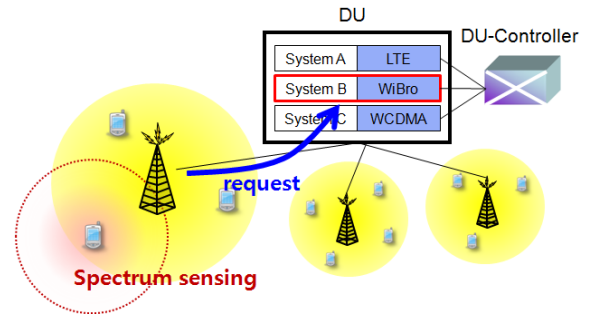
단말의 호 접속 요구에 대해서 해당 시스템은 자원의 가용성 여부에 따라 호 수락 제어를 수행한다. 그림 3은 클라우드 기지국 시스템의 각 기능블록에서 수행되는 호 수락 절차를 나타낸다. 서킷 시스템의 경우 자원의 가용성은 가용한 채널의 유무에 따라 단순하게 결정되며, 패킷 시스템의 경우 몇 가지 성능 파라미터를 기준으로 결정될 수 있다. 파라미터로는 평균 패킷 손실 확률, 프레임 사용률, 자원 처리율 등이 있다. 가용할 자원이 있다고 판단되면 시스템은 단말의 접속을 허용하고 자원을 할당한다. 반면 가용할 자원이 없다고 판단되면, 상위의 디지털신호처리부 제어기(DU controller)에게 가용 자원이 있는 다른 무선 접속 시스템의 추천을 요청한다. 추천받은 정보는 애초 호 접속 시도에 사용되었던 제어 채널을 통해 단말에게 전달되고 단말은 추천받은 시스템에 새롭게 호 접속을 시도한다. 후보 시스템도 추천 받지 못한 호는 손실 처리된다.

디지털신호처리부 제어기는 각 시스템의 무선자원 및 하드웨어 용량 활용도에 따라 시스템을 축소, 확장시킬 수 있다. 이를 위해 소프트웨어 정의 무선 기법을 활용하여 소프트웨어의 변경만으로 시스템의 변경을 수행할 수 있다. 디지털신호처리부 제어기는 주기적으로 각 시스템의 평균 패킷 손실 확률과 평균 자원 효율을 모니터링 하여 자원이 부족한 시스템과 잉여 자원이 존재하는 시스템 간 자원 교환을 수행한다. 이를 통한 무선 자원의 효율적 사용은 클라우드 기지국 시스템의 장점으로 해석될 수 있다.

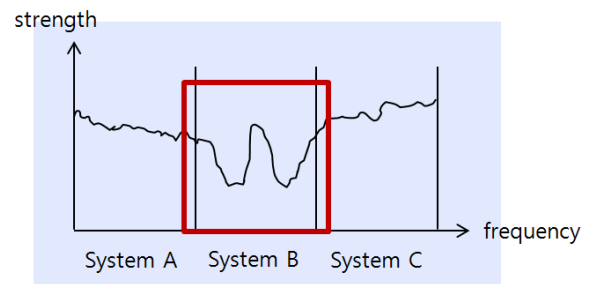
다중 셀 환경에서는 단말의 이동성으로 인한 핸드오버가 발생한다. 이때 타겟셀에서 추가적인 동일 채널 간섭을 유발하지 않는 경우, 기존 채널을 계속 사용할 수 있도록 디지털신호처리부에서 처리된 신호를 새로운 타겟셀의 무선신호처리부로 스윗칭만 해주면 된다. 기존 채널을 사용하지 못하는 경우 디지털신호처리부를 통해서 새로운 채널을 할당 받는다. 만약 현재 시스템에서 가용채널이 없어 서비스가 불가능한 경우에는 디지털신호처리부 제어기에게 시스템 간 핸드오프(Vertical handoff)를 요청하게 된다.

### 3.2. 이른 스펙트럼 감지(Early Spectrum Sensing, ESS)

그림 4(a)처럼 호 접속을 시도하는 단말은 주변 스펙트럼 감지를 통해 그림 4(b)와 같은 스펙트럼



(a) 스펙트럼 감지 및 사용자 단말의 호 요구  
(a) Spectrum sensing and call request



(b) 스펙트럼 맵  
(b) Spectrum map

그림 4. 사용자 단말의 호 요구 및 ESS  
Fig. 4. An example of a call request based on ESS

맵을 작성한다. 단말이 스펙트럼 맵을 구성할 때 순간적인 감지 결과가 아닌 일정 기간 동안의 평균 감지 결과를 이용한다. 이는 순간적인 자원 사용의 증가와 같은 예외적인 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 하나의 무선신호처리부를 통해 시스템 A, B, C 신호가 모두 전송되므로 거리에 따른 시스템 간 스펙트럼 감지 세기의 차이는 존재하지 않고 호 발생 위치에서 시스템 별 스펙트럼의 활용도에 따른 감지 세기의 차이만 존재하게 된다. 단말은 스펙트럼 맵에서 평균 감지 세기가 낮은 시스템을 선택하여 호 요구 패킷을 전송한다. 따라서 기존의 CRRM

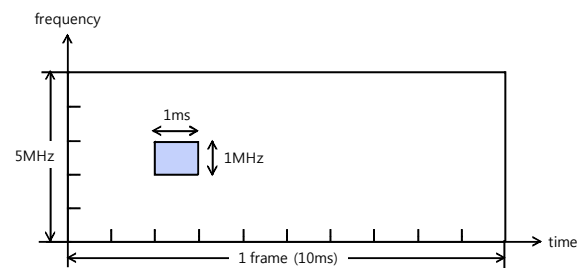


그림 5. 5MHz 채널의 경우, 프레임 구조와 자원블록  
Fig. 5. Frame structure and resource block in case of 5MHz channel



표 1. 시스템 파라미터  
Table 1. System parameters

Parameter	System A	System B	System C
Bandwidth(MHz)	40	40	20
Channelization (MHz)	5, 5, 10, 20	5, 5, 10, 20	5, 5, 5, 5
Carrier Aggregation	Allowed	Not Allowed	Not Allowed
Traffic Type	Packet	Packet	Circuit

표 2. 단말 및 트래픽 종류  
Table 2. Terminal and traffic types

Terminal and traffic types		Ratio (%)
Traffic Type	Circuit	30
	Packet	70
Channel Handling Capability	5 MHz	20
	10 MHz	30
	20 MHz	40
	40 MHz	10
Terminal Mode	System_A_only	20
	System_B_only	20
	Multi_mode	60
Delay Tolerance (Packet traffic)	real-time	30
	1-frame	20
	2-frame	30
	3-frame	20

에서와 같은 무선접속시스템 선택을 위한 별도의 연산과 복잡한 시스널링 과정 없이도 1차에 무선 접속 시스템을 선택하여 접속에 성공할 확률을 높일 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능 분석

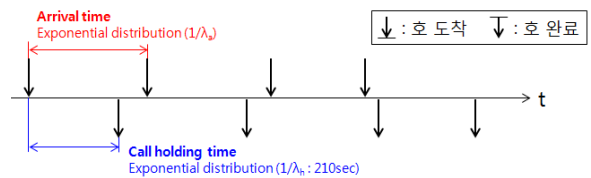
##### 4.1. 시뮬레이션 환경

1km 반경을 가지는 육각형 셀 7개를 구성하고 각 셀의 중심에 무선신호처리부를 가지는 다중 셀 환경을 가정한다. 전체 100MHz의 대역폭을 시스템 A, B, C가 각각 40MHz, 40MHz, 20MHz씩 사용한다. 시스템 A와 B는 직교 주파수 분할 다중 접속 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : OFDMA) 채널 구조를 가진다. 그림 5와 같이 각 주파수 채널별 하나의 프레임은 10개의 타임슬롯 (Time-slot)과 다수의 서브밴드(Sub-band)로 구성되

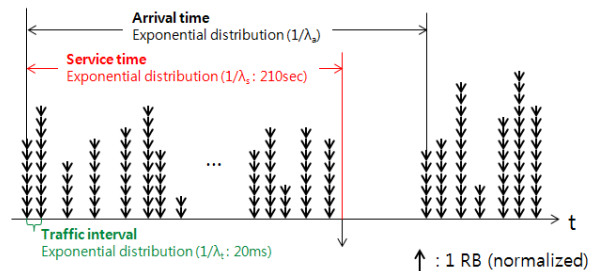
며, 하향 링크(Downlink) 채널만을 고려한다. 하나의 타임슬롯의 길이는 1ms이며, 각 사용자 단말에게 자원 할당 시 1개의 타임슬롯과 1MHz 크기의 서브밴드로 이루어진 즉, 1ms × 1MHz [시간 × 주파수] 단위의 자원블록(Resource block)을 기본단위로 할당한다. 이 밖에 채널 구조 및 관련 파라미터는 표1과 같다. 각 셀에는 100개의 단말이 랜덤한 위치에 분포하며, 단말 및 트래픽의 발생 분포는 표 2에 정리하였다. 또한 단말의 이동성을 고려하기 위해 1m/s의 이동 속도를 가지는 랜덤워크(Random walk) 이동성 모델을 사용한다.

그림 6은 시뮬레이션에서 사용한 서킷과 패킷 트래픽의 발생 과정을 나타내며, 각각은 포아송 도착 과정(Poisson arrival process)을 따른다고 가정한다. 서킷 트래픽의 경우, 그림 6(a)에서 볼 수 있듯이, 각각의 호의 발생은 서로 독립적이고, 서비스 시간은 지수 분포(Exponential distribution)를 가정한다. 또한 패킷 트래픽의 경우, 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이, 세션(Session)의 발생 간격, 서비스 시간, 세션 내 트래픽의 발생 간격은 모두 지수분포를 따른다. 발생하는 트래픽은 집단 도착(Batch arrival)으로 가정했으며 그 크기는 1개 자원 블록 처리 용량으로 정규화 하였을 때 1~40[RBs] 사이의 균일 (Uniform) 분포를 따르도록 하였다.

자원 할당은 서킷 트래픽의 경우, 호 수락 제어를



(a) 서킷 트래픽  
(a) Circuit traffic



(b) 패킷 트래픽  
(b) Packet traffic

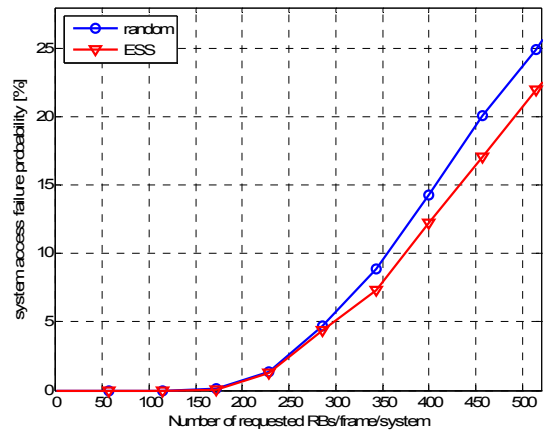
그림 6. 트래픽의 발생 분포  
Fig. 6. Traffic generation model

통해 호가 성립된 이후에는 호가 종료될 때까지 하나의 채널을 할당 받아 호가 유지된다. 반면 패킷 트래픽인 경우, 자원 할당이 OFDMA 채널 구조(그림 5)에서 프레임 단위로 이루어지며, 트래픽이 발생된 시점으로부터 다음 프레임에 할당된다고 가정한다. 또한 시스템 A와 B의 호 수락 제어를 위한 자원 가용성 판단 기준으로서 10 프레임의 누적 평균 패킷 손실 확률을 사용하고, 패킷 손실 확률은 해당 시스템에 접속한 단말들의 트래픽에 대한 패킷 손실 확률로 이 값이 5%이하일 경우 새로운 추가 트래픽에 대해서 자원 할당이 가능하다고 판단한다. 자원 할당에서의 우선순위는 호의 요구되는 서비스 품질에 따라, 실시간 트래픽이 비실시간 트래픽보다 높은 우선순위를 가지고, 비실시간 트래픽의 경우, 남은 지연허용 프레임 수가 적은 트래픽이 우선순위가 높다. 즉, 예를 들어 2-frame 지연 허용의 트래픽이 해당 프레임에서 자원을 할당 받지 못하는 경우, 남은 지연 허용 프레임 수는 1개로 감소하게 되고, 다음 프레임에서 새롭게 도착한 2-frame 지연 허용 트래픽에 대해서 우선순위를 갖게 된다. 지연 허용 프레임 내에서 자원을 할당 받지 못하는 경우는 손실된다.

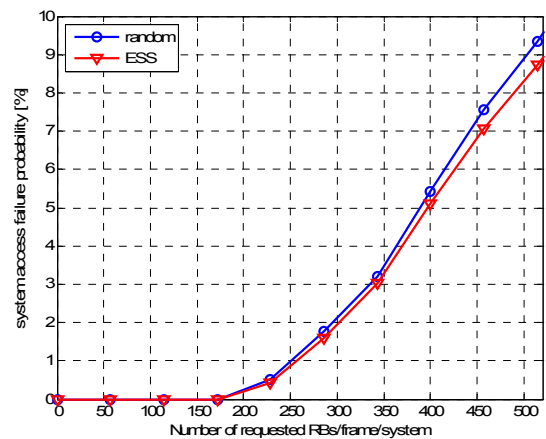
4.2. 성능 분석

본 논문에서는 성능 분석 파라미터로 단말의 초기 시스템 접속 실패 확률, 평균 시스템 접속 시간, 시스템 균형 인수, 패킷 손실 확률을 분석한다. 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법에 대한 성능 분석을 위하여 랜덤하게 시스템을 선택하여 접속하는 랜덤 선택 기법과 비교 분석한다.

그림 7은 시스템에 가해지는 부하에 대한 시스템 접속 실패 확률을 나타낸다. 여기서 부하는 하나의 프레임에 요구되는 자원 블록의 개수로 정의한다. 시스템 접속 실패 확률은 단말이 시스템에 접속 시 1차에 접속에 실패할 확률로 정의한다. 부하가 증가함에 따라 시스템 접속 실패 확률은 증가하며, 이른 스펙트럼 감지 기법이 랜덤 선택 기법보다 접속 실패 확률이 낮은 것을 볼 수 있다. 이것은 단말이 이른 스펙트럼 감지 기법을 사용할 경우, 현재의 스펙트럼 활용도가 가장 낮을 것으로 예상되는 시스템을 선택하여 접속을 시도하기 때문이다. 반면 랜덤 선택 기법에서는 단말이 자원 이용 정보를 모르는 상황에서 랜덤하게 시스템을 선택하여 접속하기 때문에 접속에 실패할 확률이 상대적으로 크다. 본 논문에서는 접속 가능한 패킷 시스템이 2개로 제한되



(a) 패킷 손실 확률의 임계값이 3%인 경우  
(a) Case 1 : packet loss probability 3%

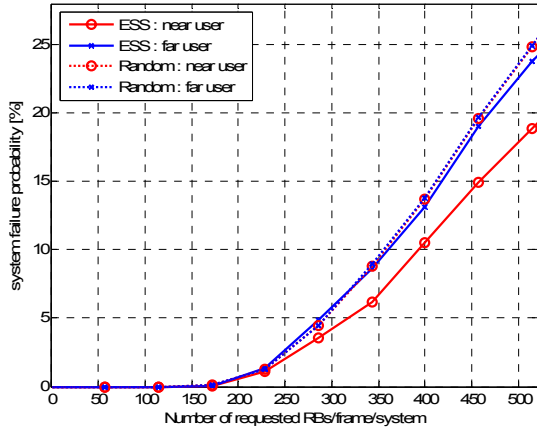


(b) 패킷 손실 확률의 임계값이 5%인 경우  
(b) Case 2 : packet loss probability 5%

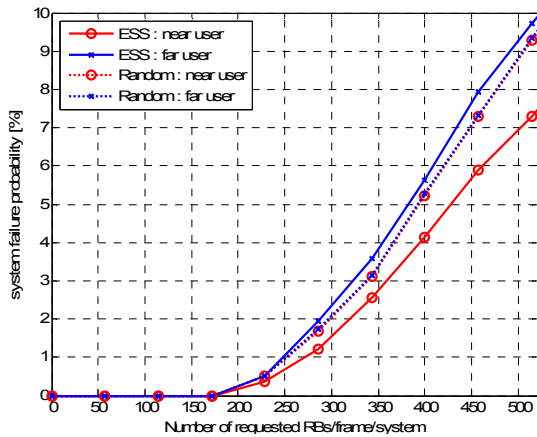
그림 7. 시스템 접속 실패 확률  
Fig. 7. System access failure probability

지만 접속 가능한 시스템의 수가 많은 실제 환경에서는 성능 차이가 더욱 크게 나타날 것으로 예상된다. 그림 7(a)와 7(b)는 각각 호 수락 제어에서 성능 파라미터로 사용되는 패킷 손실 확률의 임계값이 5%인 경우와 3%인 경우이다. 시스템 접속 실패 확률은 성능 파라미터의 임계값이 3%인 경우가 5%인 경우보다 높은 것을 볼 수 있다. 시스템에서 호 수락 제어 시 시스템의 성능 파라미터가 임계값 이상이면 접속을 거절하므로 임계값이 낮아지면 그만큼 시스템 접속 실패 확률이 높아진다.

그림 8은 시스템에 가해지는 부하에 대한 시스템 접속 실패 확률을 거리에 따라 분류한 것이다. 본 논문은 1km 반경의 육각형 셀을 가정하며, 성능 분석을 위해 0.5km 미만에 위치한 사용자는 셀의 중심에 위치한 사용자(Near user)로 가정하고 0.5km



(a) 패킷 손실 확률의 임계값이 3%인 경우  
(a) Case 1 : packet loss probability 3%



(b) 패킷 손실 확률의 임계값이 5%인 경우  
(b) Case 2 : packet loss probability 5%

그림 8. 사용자 위치에 따른 시스템 접속 실패 확률  
Fig. 8. Effect of user position on system access failure probability

이상에 위치한 사용자는 셀의 가장자리(Far user)에 위치한 사용자로 가정한다. 이른 스펙트럼 감지 기법의 경우, 셀 중심에 위치한 단말이 셀 가장자리에 위치한 단말보다 접속 실패 확률이 낮은 것을 볼 수 있다. 이것은 셀 가장자리에 위치한 단말이 인접 셀로부터의 영향을 받기 때문이다. 단말은 이른 스펙트럼 감지에서 기지국으로부터의 하향 링크 신호를 감지하며, 셀 가장자리에 위치한 단말은 자신이 속한 셀의 기지국으로부터의 신호뿐만 아니라 인접 셀의 기지국으로부터의 신호 또한 상당 수준으로 감지할 수 있다. 따라서 스펙트럼 감지에 의한 시스템 선택의 부정확성이 상대적으로 커질 수 있다. 반면, 랜덤 선택 기법은 이러한 신호의 감지 없이 단말이 임의로 시스템을 선택하여 해당 시스템

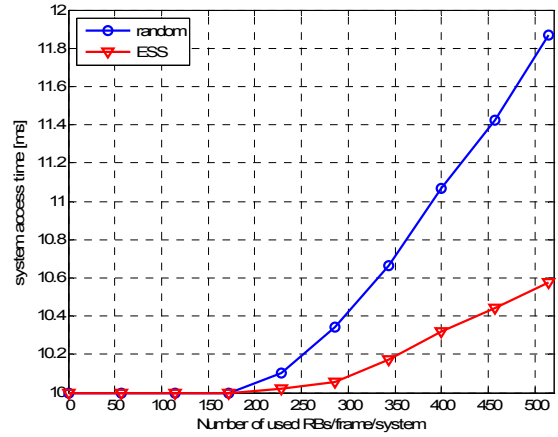


그림 9. 시스템 접속 시간  
Fig. 9. System access time

에 접속을 시도한다. 여기서 단말이 각 시스템을 선택할 확률은 거리에 무관하며 1/3로 동일하다. 따라서 그림에서 볼 수 있듯이, 셀 중심에 위치한 단말과 셀 가장자리에 위치한 단말은 동일한 성능을 가진다.

그림 9에서는 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법과 랜덤 선택 기법에서 단말의 성공적인 시스템 접속에 소요되는 평균 시간을 비교하였다. 여기서 단말이 1차에 무선 접속 시스템을 선택하여 접속에 성공을 할 경우, 소요되는 시간은 10ms(1-프레임 길이)로 가정한다. 반면 1차 시스템 접속에 실패할 경우, 단말은 디지털신호처리부 제어기로부터 가용 자원이 있는 다른 무선 접속 시스템의 추천을 받으며, 이때 소요되는 시간은 20ms(2-프레임 길이)로 가정한다. 단말은 추천받은 시스템에 새롭게 호 접속을 시도하며, 이때 소요되는 시간은 1차 시스템 접속 시도 때와 마찬가지로 10ms로 가정한다. 따라서 단말이 1차 시스템 접속에 실패하고 추천받은 시스템으로의 접속이 성공할 때까지 소요되는 전체 시스템 접속 시간은 40ms가 된다.

그림 9에서 볼 수 있듯이, 랜덤 선택 기법보다 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법이 평균 시스템 접속 시간 측면에서 우수한 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 이것은, 그림 7의 결과에서 예상할 수 있듯이, 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법을 사용한 단말이 1차에 무선 접속 시스템을 선택하여 접속에 성공할 확률이 랜덤 선택 기법보다 크기 때문이다. 또한 부하가 증가함에 따라 성능의 차이가 더욱 크게 나타난다. 이것 또한 그림 7의 결과에서 예상할 수 있듯이, 랜덤 선택 기법의 경우 부하가 증가함에 따라 시스템 접속 실패 확률이 더욱 커지기 때문이다.



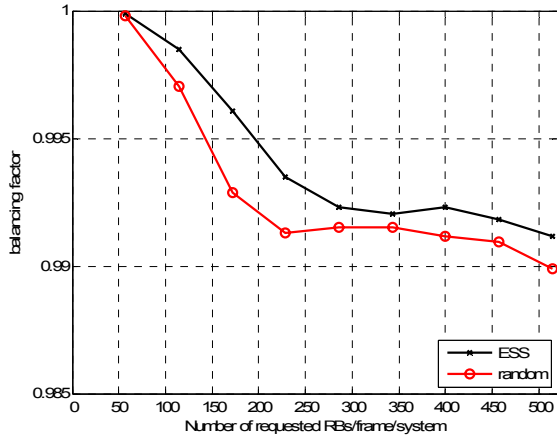


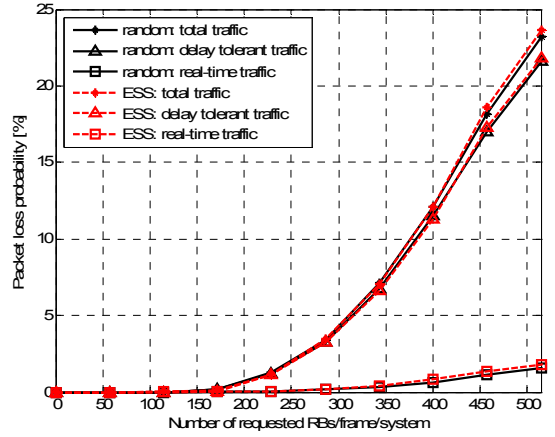
그림 10. 시스템 균형 인수  
Fig. 10. System balancing factor

그림 10은 시스템에 가해지는 부하에 따른 시스템 균형 인수(System balancing factor)를 나타낸 것이다. 여기서 시스템 균형 인수  $BF$ 는 각 시스템에 분포된 사용자 수의 균형을 나타내는 척도로 식 (1)과 같이 정의된다.

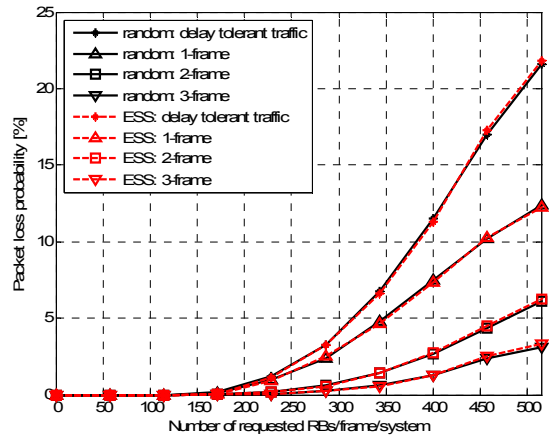
$$BF = \frac{\left(\sum_{i=1}^K S_i\right)^2}{K \sum_{i=1}^K S_i^2}, \quad \left(\frac{1}{K} \leq BF \leq 1\right) \quad (1)$$

여기서  $K$ 는 시스템 개수를 나타내며,  $S_i$ 는  $i$ -시스템에 접속하여 서비스를 받고 있는 사용자의 수를 나타낸다. 시스템 균형 인수가 1에 가까울수록 각 시스템에 사용자가 균등하게 분포된 것을 의미한다. 그림 10의 부하에 따른 시스템 균형 인수 값은 전체 시뮬레이션 시간에 대한 평균 시스템 균형 인수를 나타낸다. 본 논문에서 성능분석을 위해 사용한 전체 시뮬레이션 시간은 10000초이다.

그림 10에서 볼 수 있듯이, 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법이 랜덤 선택 기법에 비해 사용자를 전체 시스템에 더 균형있게 배치시킨 것을 알 수 있다. 이것은 단말이 스펙트럼 감지를 통하여 스펙트럼 활용도가 가장 낮을 것으로 예상되는 시스템을 선택하여 접속을 시도하기 때문이다. 하지만 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법과 랜덤 선택 기법 모두 시스템 균형 인수의 값이 0.99 이상으로, 사용자가 전체 시스템에 골고루 분포된 것을 알 수 있다. 이것은 랜덤 선택 기법을 사용하더라도 시스템이 초기 과도상태(Transient state) 즉, 전체 시스템의 사용자가 불균형하게 분포된 상태에서 장기적으



(a) 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽  
(a) Real time traffic and non-real time traffic



(b) 비실시간 트래픽  
(b) Non-real time traffic

그림 11. 패킷 손실 확률  
Fig. 11. Packet loss probability

로는 호 수락 제어를 통하여 전체 시스템이 정상상태(Steady state)로 수렴하기 때문이다. 하지만 그림 9의 평균 시스템 접속 시간의 결과에서 볼 수 있듯이, 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법을 사용하면 랜덤 선택 기법보다 빠르게 초기 과도상태에서 정상상태로 천이할 수 있다.

그림 11은 시스템에 가해지는 부하에 대한 패킷 손실 확률을 서비스 품질에 따라 나타낸 그래프이다. 여기서 패킷 손실 확률  $P_L$ 은 요구되는 패킷 중 자원을 할당받지 못하고 손실된 패킷의 비율을 나타낸다. 이는 하나의 프레임에 요구되는 패킷 수에 대한 손실된 패킷 수의 비로 정의되며, 식(2)와 같다.

$$P_L = \frac{\text{Number of lost packets per frame}}{\text{Number of requested packets per frame}} \quad (2)$$

그림 11(a)는 실시간 서비스 트래픽과 비실시간 서비스 트래픽의 패킷 손실 확률을 나타내는 그래프이다. 패킷 손실확률은 트래픽 부하가 커질수록 증가하며, 비실시간 서비스 트래픽이 실시간 서비스 트래픽보다 더 높은 패킷 손실률을 보인다. 이는 실시간 서비스 트래픽의 남은 지연 가능한 프레임 수는 항상 0으로, 자원 할당에 있어 가장 높은 우선순위를 가지기 때문이다. 우선순위가 가장 높은 실시간 트래픽과 더 이상 지연할 수 없는 비실시간 서비스 트래픽이 먼저 할당 된 후, 남은 가용 자원에 대하여 지연 가능한 비실시간 서비스 트래픽이 할당을 된다. 그림 11(b)는 서비스 트래픽 가운데 지연을 허용하는 비실시간 서비스 트래픽에 대한 패킷 손실 확률을 나타내는 그래프이다. 1-프레임 지연 가능한 트래픽의 손실 확률이 가장 높고 2-프레임 지연 가능한 트래픽의 손실 확률은 그보다 조금 낮으며, 3-프레임 지연 가능한 트래픽이 가장 낮은 손실 확률을 보인다. 1-프레임 지연 가능한 트래픽이 자원을 할당받을 기회가 가장 적고 3-프레임 지연 가능한 트래픽이 자원을 할당받을 기회가 가장 많기 때문에, 상대적으로 1-프레임 지연 가능한 트래픽이 가장 작은 패킷 손실 확률을 가지고 3-프레임 지연 가능한 트래픽이 가장 큰 패킷 손실확률을 보인다.

그림 11에서 볼 수 있듯이, 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법과 랜덤 선택 방법은 비슷한 패킷 손실 확률을 가진다. 그림 10의 결과에서 설명하였듯이, 이른 스펙트럼 감지 기법은 자원 이용 정보를 바탕으로 시스템을 선택하기 때문에 시스템의 초기 과도상태에서 정상상태로 빠르게 천이할 수 있다. 하지만 랜덤 선택 기법은 임의로 시스템을 선택하기 때문에 시스템의 초기 과도상태에서 정상상태로의 천이 시간이 상대적으로 크다. 여기서 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법과 랜덤 선택 방법은 패킷 손실 확률 측면에서 비슷한 성능을 보이는 이유는, 비록 정상상태로의 천이 시간이 다르지만 장기적으로는 두 기법 모두 정상상태로 수렴하기 때문이다.

## V. 결 론

다양한 무선 접속 기술이 혼재하는 무선 환경에서 데이터 트래픽의 폭증과 각 기술의 독립적인 운영에서 오는 비용의 증가에 대한 대안으로 클라우드 기반의 기지국 시스템이 개발, 운용되고 있다. 본 논문은 클라우드 기지국 시스템에서의 효율적인

무선 접속 방법으로 이른 스펙트럼 감지 기법을 제안하였다. 트래픽이 발생하면, 단말은 이른 스펙트럼 감지를 통해 수신 신호 세기가 가장 낮은 시스템, 즉 스펙트럼 활용도가 가장 낮을 것으로 예상되는 시스템을 선택하여 접속함으로써 시스템 접속 성공 확률을 높일 수 있었다. 시스템에서 자원의 가용성 여부에 따른 호 수락 제어로 패킷 손실 확률을 최소화 하였다. 이에 대한 성능 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했으며, 단말의 초기 시스템 접속 실패 확률, 평균 시스템 접속 시간, 시스템 균형 인수, 패킷 손실 확률 측면에서 제안 방식과 랜덤 선택 기법을 비교 분석하였다. 그 결과 제안한 이른 스펙트럼 감지 기법이 기존의 랜덤 선택 기법보다 1차에 시스템 접속에 성공할 확률이 높고 시스템 접속 시간이 작은 것을 확인하였다.

## References

- [1] O. E. Falowo and H. A. Chana, "Joint call admission control algorithms: requirements, approaches, and design considerations," *Comput. Commun.*, vol. 31, no. 6, pp. 1200-1217, Apr. 2008.
- [2] L. Wu and K. Sandrasegaran, "A survey on common radio resource management," in *Proc. IEEE Int. conf. on Wirel. Broadband and Ultra Wideband Commun. (AusWireless)*, pp. 66-72, Sydney, Australia, Aug. 2007.
- [3] M. Lopez-Benitez, J. Gozalvez, "Common radio resource management algorithms for multimedia heterogeneous wireless networks," *IEEE Trans. on Mobile comput.*, vol. 10, no. 9, pp. 1201-1213, Sep. 2011.
- [4] C. Y. Shin, J. S. Cho, "An ANP-based resource management scheme in heterogeneous wireless networks considering multiple criteria," *J. KICS*, vol. 36, no. 8, pp. 910-920, Aug. 2011.
- [5] K. H. Lee, J. H. Park, Y. H. Ji, and T. H. Ahn, "Enabling technologies for virtualization of wireless communication network," *TTA J.*, vol. 1, no. 128, pp. 82-87, Mar. 2010.

조 가 희 (Gahee Jo)



2011년 2월 대구대학교 정보통신공학부 학사  
2011년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사과정  
<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리

조 호 신 (Ho-Shin Cho)



1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사  
1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
1999년 3월~2001년 2월 한국 전자통신연구원 선임 연구원  
2001년 3월~2003년 2월 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 전임강사  
2003년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수  
<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, 트래픽 제어, 수중음향센서네트워크

이 재 원 (Jae Won Lee)



2006년 8월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사  
2008년 8월 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사  
2009년 2월~현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정

<관심분야> 이동통신시스템, 수중음향통신, 센서네트워크, MAC 프로토콜

나 지 현 (Jee-Hyeon Na)



1989년 2월 전남대학교 전산통계학과 학사  
2000년 8월 충남대학교 컴퓨터과학과 석사  
2008년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
1989년 2월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 이동통신 시스템 제어, 이동성 관리, 모바일 방송, Paging 및 위치 관리, 클라우드 기지국 자원 제어