

# 차등 RSSI를 이용한 효율적인 핸드오프 시점 결정 알고리즘

권영환<sup>†</sup> · 최성곤<sup>\*\*</sup> · 최준균<sup>\*\*\*</sup>

## 요약

본 논문은 차등 RSSI(DRSSI: Differential Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 핸드오프 처리 방안에 대해 제안한다. DRSSI는 이동국의 이동 방향을 예측하는데 사용할 수 있다. 즉, 이동국의 움직임이 바뀌는 경우 DRSSI의 극성(+, -)이 바뀌는 특성을 이용하여 이동국이 셀 사이의 중첩 지역에 머무는 동안 극성의 변화를 우선적으로 판단하여 다수의 단말기의 방향을 예측함으로써 핸드오프 및 자원을 예약할 이동국을 예측하고, 자원의 우선적인 사용권을 부여하는 방안을 제시하여 자원의 유효 상태를 극대화하는 방안을 제시한다. 또한, 수학적 모델링 분석을 통해 핸드오프 차단 확률이 기존의 방법보다 우수함을 보여준다.

키워드 : Handoff, Differential RSSI, Speed

## Efficient Handoff Time Decision Algorithm using Differential RSSI

YoungHwan Kwon<sup>†</sup> · Seong Gon Choi<sup>\*\*</sup> · Jun Kyun Choi<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

This paper proposes a handoff time decision mechanism to utilize resource efficiently by using Differential Received Signal Strength Indicator (DRSSI). DRSSI can be used to predict the movement direction of Mobile Station (MS). In other words, DRSSI changes its sign (+ or -) when a MS changes movement direction. This mechanism maximizes resource availability of Base Station (BS) by predicting resource reservation of MS and by giving priority of resource to MS. It is possible when a BS predicts the behavior of MSs by monitoring the DRSSI of MSs in overlapped region among cells. Additionally, we show that our proposed mechanism has better handoff blocking probability than existing mechanism with numerical modeling and analysis.

Key Words : Handoff, Differential RSSI, Speed

### 1. 서론

최근의 무선 이동 통신 사용자의 급격한 증가로 인해서 한정적인 무선 자원은 갈수록 고갈되어 감에 따라 얼마나 무선 자원을 효율적으로 사용하는가는 무선 이동 통신에서 중요한 문제이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 FDMA (Frequency Division Multiple Access)보다 효율적으로 무선 자원의 활용이 가능한 디지털 방식의 TDMA (Time Division Multiple Access)와 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식이 사용되고 있다. 또한, 한정된 무선 자원을 서로 다른 셀에서 반복적으로 사용하여 전체적으로는 사용할 수 있는 무선 자원의 수를 늘려주는 셀 방식의 무선 통신 방식이 사용된다[1-3].

이러한 셀 방식의 무선 환경에서 이동국이 이동하게 되

면, 일정한 범위를 가지게 된 셀의 범위를 벗어나게 되어 다른 셀에서 서비스를 받아야 되는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이동국이 이동하더라도 서비스를 원활하게 제공해 주기 위해서는 기존의 셀과 새로이 서비스를 받게 되는 셀 간의 핸드오프 절차가 필요하다. 특히, 이동국이 핸드오프 할 때 어떻게 처리해주는가에 따라서 이동국에게 제공되는 서비스의 성능에 영향을 주게 된다. 얼마나 효율적인 핸드오프 알고리즘을 제공하는가 하는 문제는 이동 통신에 있어서 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

효율적인 핸드오프 알고리즘을 제공하기 위해서 다양한 핸드오프 메커니즘들이 제안되었다. 특히, 핸드오프할 때 연결이 지속적으로 유지되는 소프트 핸드오프는 이동국이 하나의 셀에서 다른 셀로 넘어갈 때에 두 셀 사이의 중첩 지역을 통과해서 넘어가게 되며, 이 중첩 지역에서는 이동국이 여러 셀의 신호를 모두 받을 수 있기 때문에 끊김없는 연결을 지속할 수 있다[4, 5].

본 논문에서는 소프트 핸드오프 상황에서 셀에서 서비스를 받는 이동국의 수가 많아서 셀에 있는 기지국의 자원이 부족한 경우에 보다 효율적으로 자원을 관리하기 위한 메커

\* 본 연구는 2005년 정보통신연구진흥원(IITA)과 한국과학재단(KOSEF)의 지원을 받아 이루어졌음.

<sup>†</sup> 준회원 : 한국정보통신대학교 박사과정

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학과 교수

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 한국정보통신대학교 교수

논문접수 : 2005년 7월 19일, 심사완료 : 2006년 5월 16일

니즘을 제안한다.

특히, 제안하는 알고리즘이 적용되는 환경은 많은 이동국들이 방향을 바꾸며 이동하는 경우와 서로 다른 속도로 이동하는 두 가지 경우를 고려하고 있다. 느린 속도의 이동국들은 소프트 핸드오프의 중첩 지역에서 머무르는 시간이 빠른 속도의 이동국이 해당 셀을 가로 질러 통과하는 시간보다 오래 걸릴 수 있다. 이 경우에 빠른 속도의 이동국에게 할당해줄 자원이 없게 되면 핸드오프 요청은 당연히 거절된다.

하지만, 중첩 지역에 있는 느린 속도의 이동국에게 벌써 자원이 할당되었음에도 불구하고, 빠른 속도의 이동국에게 높은 우선순위를 부여하여 임시로 이 자원을 사용하게 한다면 빠른 속도의 이동국도 무사히 핸드오프를 수행할 수 있다.

또한 중첩 지역에서 자원을 할당 받은 이동국이 도중에 이동 방향을 바꾸어서 새로운 셀로 향하게 된 경우에 빨리 이러한 자원을 해제하고, 이를 다른 이동국에게 제공해줄 수 있다면 보다 효율적으로 자원 활용을 할 수 있다.

이러한 경우에 이동국의 움직임에 예측하기 위한 인수가 차등 RSSI (DRSSI : Differential Received Signal Strength Indicator)이다.

DRSSI는 기지국에서 주기적으로 측정된 이동국의 RSSI들 사이의 차이이다. DRSSI는 이동국의 속도가 빠르게 됨에 따라 그 값의 변화가 커지게 되고, 이동국이 방향을 바꾸게 되면, 극성(+, -)이 바뀌는 특성이 있다. 이러한 특성을 이용하여 기지국에서는 핸드오프를 요청한 이동국들의 우선순위를 할당하고, 이동 방향의 변경을 파악할 수 있다.

이러한 방법을 적용한 핸드오프 메커니즘의 효과는 우선순위에 따른 자원 할당과 정확한 방향 예측을 통해 불필요한 자원의 점유를 줄여 제한된 자원을 최대한 활용하게 되므로 핸드오프 차단 확률을 줄여 줄 수 있다.

본 논문에서는 2장에서 핸드오프에 관련한 다른 연구의 예에 대하여 살펴보고 핸드오프에 대한 이슈에 대하여 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 DRSSI와 제안된 알고리즘의 메커니즘에 대하여 자세하게 기술한다. 그리고 4장에서는 제안된 알고리즘에 대하여 수학적 접근 방법을 가지고 이동국이 핸드오프할 때 발생하는 핸드오프 차단 확률에 대하여 분석한다. 마지막으로, 5장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 관련 연구의 예

이동 통신에서 핸드오프는 이동국에게 이동성을 부여하고 서비스의 질에 큰 영향을 준다. 따라서 이번 장에서는 기존의 다양한 핸드오프 알고리즘을 분류하기 위한 방식과 소프트 핸드오프에서 핸드오프 시점을 결정하는 다양한 인수들과 기존의 효율적인 핸드오프 계산 알고리즘들에 대해서 알아본다.

### 2.1 핸드오프의 분류 방식

핸드오프 메커니즘은 핸드오프할 때 연결이 지속적으로 유지되는가에 따라서 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프로

나누어진다[4].

하드 핸드오프는 핸드오프할 때 기존의 셀과 연결이 끊어진 후에 새로운 셀과 연결이 되는 기법이다. 따라서 하드 핸드오프는 기존의 셀과 연결이 종료된 후에 바로 새로운 셀과 연결되지 못하면 데이터가 유실될 수 있다.

소프트 핸드오프는 기존의 셀과 새로운 셀로부터 동시에 신호를 받다가 좀 더 좋은 서비스를 받을 수 있는 셀의 신호를 선택하여 데이터를 받는 기법이다. 그러나 핸드오프할 때 여러 셀들의 신호들을 받게 되므로, 하드 핸드오프보다 자원의 활용 측면에서 불리하다[4, 5].

이러한 불리한 점을 극복하기 위해서 이동국이 받는 여러 개의 신호들을 보다 효율적으로 관리하기 위한 핸드오프 시점을 결정하는 알고리즘에 대해서 많은 연구가 있다.

### 2.2 소프트 핸드오프 시점 결정 및 계산 알고리즘

소프트 핸드오프에서 적절한 핸드오프 시점을 결정하기 위해서 RSSI(Received Signal Strength Indicator, CIR(Carrier-to-Interference Ratio), SIR(Signal-to-Interference Ratio), BER(Bit Error Ratio), BLER(BLock Error Ratio)와 같은 여러 가지 인수들을 이용된다. 특히, 이러한 인수들 중에서 가장 기본적인 인수가 RSSI이다. RSSI를 이용하여 핸드오프할 때 RSSI의 크기를 가지고 핸드오프 시점을 결정할 수 있다[6].

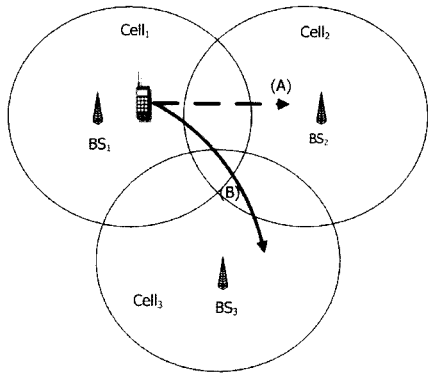
셀 방식의 이동 통신에서 셀 크기를 작게 하여 시스템 용량을 증가시키는 방법을 자주 사용한다. 그러나 이러한 방법은 핸드오프 횟수를 증가시켜 시스템에 더 많은 부하를 주게 되므로 핸드오프 수를 줄여주게 되면 이동 통신 시스템의 안정과 성능의 향상을 가져올 수 있다[7].

핸드오프 수를 줄이기 위한 방법으로 RSSI의 평균값을 이용하고, 기존 기지국의 RSSI가 특정 임계치보다 작을 경우에 핸드오프를 요청하는 방식이 사용된다. 이 방식은 불필요한 핸드오프 요청을 줄여 줄 수 있다[8].

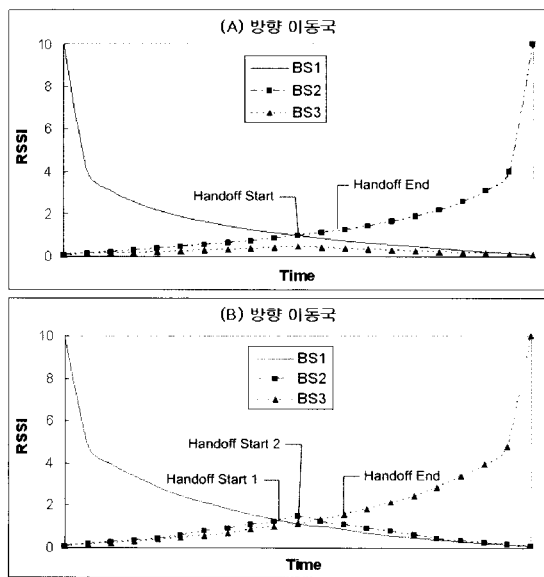
(그림 1)은 참고문헌 [8]의 알고리즘을 따르는 기존 방법의 핸드오프 과정이다. (그림 1)의 (a)에서는 3개의 인접한 기지국들( $BS_1$ ,  $BS_2$ ,  $BS_3$ )에 의한 셀 영역들( $Cell_1$ ,  $Cell_2$ ,  $Cell_3$ )과 직접  $Cell_1$ 에서  $Cell_2$ 로 이동국이 이동하는 경우((A) 방향)와  $Cell_1$ 에서  $Cell_2$ 를 거쳐  $Cell_3$ 로 방향을 바꿔서 진행하는 경우((B) 방향)로 이동하는 이동국들의 움직임을 보여준다. 그리고 (그림 1)의 (b)에서는 이러한 이동국들의 움직임에 따라서  $BS_1$ ,  $BS_2$ 와  $BS_3$ 에서 측정된 RSSI의 변화를 나타낸 것이다.

(A) 방향 이동국의 경우에는 핸드오프를 요청하게 된 셀로 바로 넘어가게 되어서 문제가 없으나, (B) 방향 이동국은 처음에 핸드오프를 요청하게 된 셀과 핸드오프가 종료된 셀이 서로 틀리게 되며 (그림 1)의 (b)와 같이 핸드오프 요청을 2번하게 된다.

또한, 불필요한 핸드오프를 줄여주기 위해서 RSSI의 변화를 예측하는 방법이 사용되는데, 적응형 예측 기반의 핸드오프 알고리즘은 신호의 상관관계를 이용하여 RSSI의 변화를 예측하여 핸드오프 시점을 결정한다[7].



(a) 인접 기지국(BS)의 범위와 이동국의 움직임



(b) 각 BS에서의 RSSI 크기

(그림 1) 이동국의 움직임과 RSSI 사이의 관계

평균 선형 클래스 알고리즘, 예측 선형 클래스 알고리즘과 최적 선형 클래스 알고리즘 메커니즘등과 같은 다양한 핸드오프 계산 알고리즘들은 시스템에서 보다 효율적으로 핸드오프를 처리하기 위하여 제안되었다[1].

일반적으로 무선 통신 환경은 변화가 심하여 핸드오프 중에도 RSSI, BER, CIR 역시 변화가 자주 발생하게 된다. 이런 환경에서 여러 인수들을 동시에 사용하고 변화에 빠르게 반응을 할 수 있는 인공 신경 네트워크 방식이 제안되었다. 이 방식은 단위 시간당 핸드오프 처리율을 증가시킬 수 있다[9].

GSM(Global System for Mobile communication) 환경에서는 여러 개의 이동국들이 핸드오프를 요청할 때에 우선순위를 부여하는 우선순위 기법을 사용해서 핸드오프 탈락 성능을 향상시킬 수 있다. 이는 효율적인 자원 예약을 가능하게 하여 핸드오프 성능을 향상시킬 수 있다[10].

### 3. 제안된 DRSSI를 사용한 핸드오프 시점 결정 알고리즘

본 장에서는 DRSSI를 사용한 효율적인 핸드오프 알고리

즘에 대하여 설명을 한다. 우선 제안하는 알고리즘이 적용되는 동작 환경에 대해서 살펴본다. 그리고 본 논문에서 제안하는 DRSSI가 어떠한 의미를 가지는지 설명을 한 후에 이 인수를 실제 핸드오프 메커니즘에 적용하기 위한 동작 절차에 대하여 설명한다.

#### 3.1 제안된 알고리즘의 동작 환경

DRSSI를 사용한 효율적인 핸드오프 알고리즘에 제공하기 위해서는 기지국의 자원과 이동국의 상태에 대해서 다음과 같은 정의가 필요하다.

우선, 기지국의 자원을 활동 대역폭과 예약 대역폭으로 구분한다. 활동 대역폭은 이동국에 의해서 점유되어 사용 중인 대역폭을 의미하고 예약 대역폭은 핸드오프중인 이동국에 의해서 점유되고 있지만 사용하지 않아도 되는 대역폭을 말한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기지국의 자원의 대부분이 이동국에게 할당되어서 더 이상 다른 이동국에게 서비스를 제공 할 수 없는 상황에서 적용된다. 이러한 상황에서 예약 대역폭이 있다면, 이것이 실제적으로 사용되기 전까지 다른 이동국에게 임시로 할당하여 자원의 효율적인 사용을 가능하게 할 수 있다.

이러한 메커니즘이 가능하게 하기 위해서는 이동국을 높은 우선순위 사용자와 낮은 우선순위 사용자로 구분해야 한다. 높은 우선순위 사용자는 예약 대역폭을 임시로 사용할 수 있는 이동국이고 낮은 우선순위 사용자는 점유한 예약 대역폭을 양보할 수 있는 이동국이다.

사용자의 우선순위는 핸드오프 시간에 의해서 결정되며, 핸드오프 시간은 이동국의 이동 속도와 무선 전파의 전파 특성에 의해서 결정된다[11].

이동국의 특성과 속도는 정의하기가 어렵기 때문에 사용자를 구분하는 기준 속도를 결정하는 것 역시 어렵다. 따라서 우리는 이러한 2개의 우선순위로 나누진 이동국의 상태를 다음과 같이 간단히 한다. 예를 들어, 우리는 60km/h 이상의 속도를 가지는 이동국을 높은 우선순위 사용자라고 하고, 60km/h 이하의 속도를 가지는 이동국을 낮은 우선순위 사용자라고 가정한다.

또한, 핸드오프중인 이동국이 중첩 지역에서 다른 셀로 이동 방향을 바꾸게 된 후에도 이동국이 예약 대역폭을 계속 점유하게 된다면, 이 역시 사용되지 않아도 되는 대역폭이 점유되어 있는 것이다.

따라서, 기지국에서 이동국의 DRSSI를 관찰하다가 더 이상 해당 노드가 기지국 쪽으로 오지 않는다고 판단되면 바로 예약 대역폭을 해제시켜 다른 이동국들에게 할당한다면 보다 효율적인 자원 활용이 가능하다.

#### 3.2 DRSSI

DRSSI는 본 논문에서 중요하게 다루어지는 인수이다. 이 인수는 소프트 핸드오프의 중첩 지역에서 이동국의 움직임을 예측하기 위해서 사용된다.

DRSSI는 주기적으로 측정되는 RSSI들 중에서 현재 측정된 RSSI와 바로 전에 측정된 RSSI 사이의 차이 값이다.

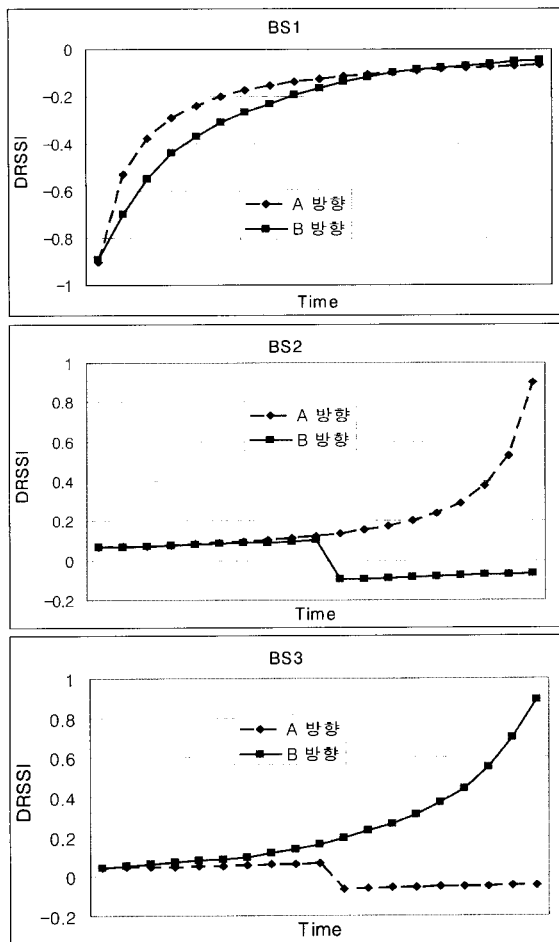
$$DRSSI_i = RSSI_i - RSSI_{i-1}$$

이동국이 기지국에 접근할 때, 이동국의 RSSI는 증가하게 되고, DRSSI는 이에 따라서 양수가 되며, 점차적으로 증가하게 된다. 그러나 이동국이 특정 기지국으로부터 멀어지게 되면, 점차적으로 RSSI는 감소하게 되고, 이에 따라 DRSSI는 음수가 되며, 거리가 멀어짐에 따라 그 절대값은 점점 작아지게 된다.

그러나, 이동국이 기지국을 스쳐 지나가게 되면, DRSSI는 이동국이 기지국에 접근함에 따라 처음에는 양수 상태에서 증가하나, 기지국으로부터 멀어지기 시작하면 음수로 바뀌게 되어 점차 그 절대값은 작아지게 된다. 이런 이동국의 움직임은 위의 (그림 1)의 (a)에서 (B) 방향 이동국에서 보여준다.

(그림 2)는 (그림 1)의 (a)와 같이 이동국들이 움직일 때 각 셀에서 이동국의 움직임에 따른 DRSSI의 변화를 표현한 것이다.

BS<sub>1</sub>에서는 두 이동국이 셀의 기지국에서 멀어지게 됨에 따라서 RSSI는 작아지게 되고, 따라서, DRSSI는 음수에서



(그림 2) (A) 방향과 (B) 방향 이동국의 움직임과 각 기지국 (BS)에서 측정된 DRSSI 사이의 관계

점점 0으로 수렴해간다.

반면에, BS<sub>2</sub>에서는 (A) 방향 이동국의 RSSI는 점점 커지게 됨으로써 DRSSI도 역시 커지게 된다. 그러나 (B) 방향 이동국의 RSSI는 처음에 커지다가 이동국이 방향을 바꾸어 멀어지게 되면 다시 크기가 작아지게 된다. 따라서 DRSSI는 처음에 증가하다가 방향을 바꾸게 된 시점부터 음수로 변하게 된다.

마지막으로 BS<sub>3</sub>에서는 (B) 방향 이동국이 지속적으로 접근해오에 따라서 RSSI와 DRSSI 모두 커지게 된다. 그러나 (A) 방향 이동국의 움직임은 BS<sub>3</sub>에 별 다른 영향을 주지 못한다.

이와 같이 DRSSI의 변화를 이용하면, 중첩 지역에서의 이동국의 움직임을 예측할 수가 있다. DRSSI는 시스템에서 이동국의 RSSI를 정확히 측정하여 쉽게 얻을 수 있다.

이렇게 DRSSI는 이동국이 핸드오프 중에 이동 방향을 바꾸었는지 기지국에서 알 수 있게 하여 그 순간에 바로 예약 대역폭을 바로 해제함으로써 불필요한 자원의 사용을 막을 수 있고 이렇게 해제된 자원을 핸드오프 하고자 하는 다른 이동국에게 제공할 수 있다.

### 3.3 제안된 알고리즘의 동작 절차

DRSSI를 이용한 효율적인 핸드오프 시점 결정 알고리즘의 실제적인 동작 절차는 (그림 3)과 같다.

이동국이 새로운 Cell<sub>2</sub>의 영역으로 이동함에 따라 BS<sub>2</sub>의 RSSI<sub>2</sub>를 인식하게 되고, 이 크기가 핸드오프 경계 값인 TH<sub>1</sub>보다 크게 되면, "Handoff Request message"를 Cell<sub>2</sub>의 기지국에 보냄으로써 핸드오프 동작이 시작된다.

만약에 Cell<sub>2</sub>에 가용한 대역폭이 있다면, 기지국이 "Handoff Acknowledgement message"에 자원 상태를 기반으로 하여 Cell<sub>2</sub>의 자원 상태 정보를 이동국에게 보내게 되고 이동국은 이 정보를 바탕으로 하여 다음 절차에 들어간다.

(그림 3)의 세 번째 절차에서는 높은 우선순위 사용자와 낮은 우선순위 사용자로 나누어져서 동작을 하게 된다. 이때 우선순위는 DRSSI를 사용하여 결정하는데 그 방법은 거리와 속도의 관계를 이용하여 계산할 수 있다[11].

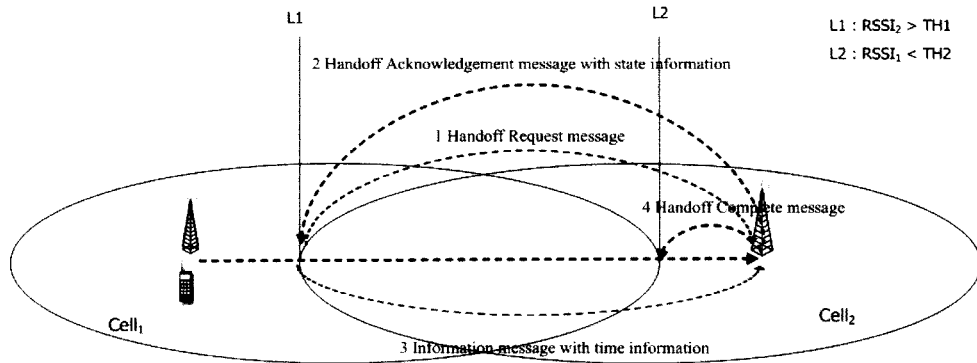
"Handoff Acknowledgement message"의 셀의 자원 상태 정보에서 모든 대역폭이 점유되어 있는 상태라면, 낮은 우선순위 사용자의 핸드오프 요청은 거절된다.

높은 우선순위 사용자의 경우에는 점유 대역폭 중에서 예약 대역폭이 존재할 경우에 알고리즘에 따라 임시로 예약 대역폭의 사용을 기지국으로부터 허락받을 수 있다.

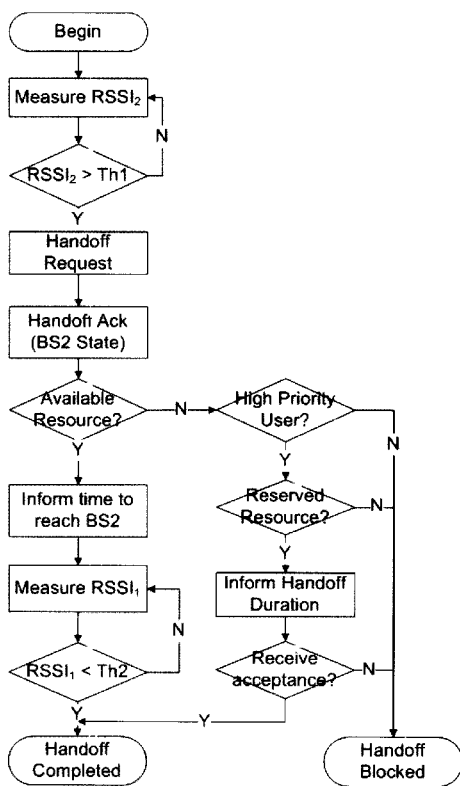
따라서, 기지국이 이동국에게 셀의 상태 정보를 보낼 때에는 활동 대역폭과 예약 대역폭으로 나누어서 보내주게 되고, 이동국은 이러한 기지국의 상태 정보를 바탕으로 해서 자신이 핸드오프에 걸리는 시간을 계산해서 "Information message"에 핸드오프 시간 정보를 포함하여 보내게 된다.

기지국에서는 이런 메시지 정보를 받은 후에 자신의 대역폭 관리할 때 자신과 통신하는 모든 이동국의 시간 정보를 같이 관리한다.

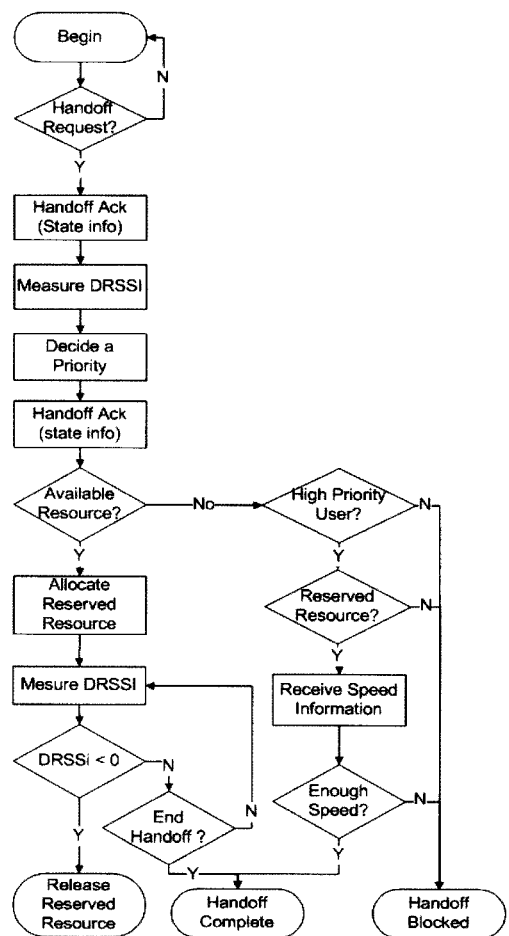
이러한 기지국이 관리하는 시간 정보를 바탕으로 하여 해



(그림 3) 이동국과 셀의 동작 절차



(그림 4) 이동국의 흐름도



(그림 5) 기지국의 흐름도

당 기지국의 모든 대역폭이 이동국들에 의해서 점유되어 있는 경우라도 낮은 우선순위 사용자에게 의해서 예약된 대역폭이 있다면 낮은 우선순위 사용자가 중첩 지역을 지나가는 시간보다 높은 우선순위 사용자가 셀을 통과하는 시간이 적게 걸린다고 판단되는 경우에만 예약 대역폭을 높은 우선순위 사용자에게 임시적으로 할당할 수 있다.

이렇게 결정된 사실을 기지국에서는 이동국에게 “Handoff Complete message”를 통해서 그 결과를 알려주어서 핸드오프가 가능한지 여부와 거절되었는지를 이동국에게 보냄으로써 핸드오프가 종료됨을 알려주게 된다.

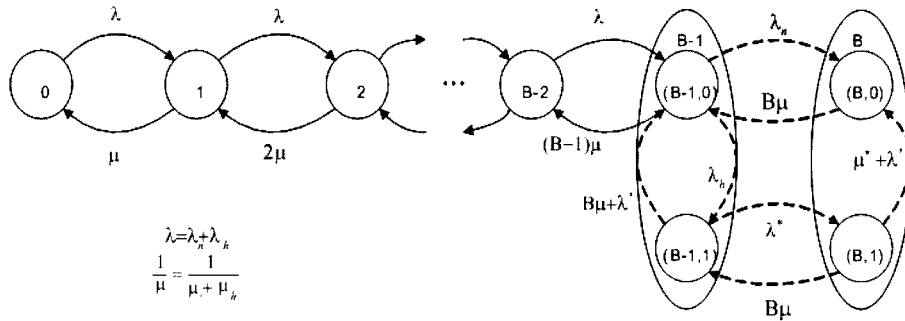
핸드오프 중에 대역폭을 예약한 이동국이 (그림 1)의 (a)의 (B) 방향으로 움직이는 경우라면 기지국은 사용되지 않는 대역폭을 이동국에게 할당하여 자원을 낭비하는 결과를 가져올 수 있다.

이러한 문제점은 기지국이 항상 핸드오프중인 이동국의 RSSI를 항상 측정 한 후에 DRSSI를 계산하여 이동국의 움직임에 관찰하다가 이동국이 다른 셀로 움직인다고 판단이 되면 바로 예약 대역폭을 바로 해제하여 해결할 수 있다.

(그림 4)와 (그림 5)는 제안한 알고리즘을 동작하기 위한 이동국과 기지국의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

#### 4. 제안된 알고리즘의 수학적 분석

이번 장에서는 DRSSI를 사용한 효율적인 핸드오프 알고



(그림 6) 자원 변화 다이어그램

리즘을 분석하기 위해 핸드오프 차단 확률에 대하여 M/M/k/k 모델을 적용한다[12].

4.1 제안된 알고리즘의 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘을 분석하기에 앞서 이동국은 하나의 연결만 유지한다고 가정한다. 이것은 이동국에서 발생하는 연결이 한꺼번에 여러 개가 발생하지 않는다는 것을 의미한다.

하나의 셀 영역에서 수용 가능한 전체 트래픽의 용량은 B개의 기본 대역폭을 가진다고 가정하고, 기본 대역폭은 하나의 이동국에서 하나의 연결을 의미하며, 기본 대역폭은 여러 이동국들에 의해서 동시에 사용되지 않음을 전제로 한다.

셀에서의 연결 도착율(λ)를 가지는 포아송 과정이라고 할 때, 연결 도착율은 새로운 연결 도착율(λ<sub>n</sub>)과 핸드오프로 인해서 연결을 요구하게 되는 핸드오프 도착율(λ<sub>h</sub>)로 구분되어 지게 됨으로 수식 (1)을 얻을 수 있다. 그리고 핸드오프 도착율의 경우에는 높은 우선순위를 가지는 이동국의 핸드오프 도착율(λ<sub>h1</sub>)과 낮은 우선순위를 가지는 이동국의 핸드오프 도착율(λ<sub>h2</sub>)로 구분되어 질 수 있다. 이는 수식 (2)로 나타내어진다.

$$\lambda = \lambda_n + \lambda_h \tag{1}$$

$$\lambda_h = \lambda_{h1} + \lambda_{h2} \tag{2}$$

여기에서 핸드오프 도착율은 셀에서 이동국이 핸드오프로 넘어오기 전에 기존의 셀에서 얼마나 오래 머무르는가를 나타내는 셀 지속 시간(μ<sub>s</sub>)에 의해서 결정된다. 셀 지속 시간은 평균값 1/μ<sub>s</sub>를 가지는 지수 분포를 따른다.

그리고 셀에서의 호 연결에 의한 자원 점유 시간의 평균은 (1/μ)로 정의할 수 있다. 이것은 이동국이 현재 셀 안에서 호 연결을 요청하거나 인접한 다른 셀로부터 핸드오프되어서 호 연결이 된 시점부터 현재 셀 안에서 호 연결 종료하거나 인접한 다른 셀로 핸드오프 되는 경우에 더 이상 셀의 자원이 필요하지 않아서 자원을 해제한 시점 사이의 시간을 말한다.

따라서 자원 점유 시간은 연결 유지 시간(μ)와 셀 지속 시간에 의해서 결정된다. 연결 유지 시간(μ)도 지수 분포를 가지게 된다.

3장 1절에서 기지국의 자원 대역폭 상태를 활동 대역폭 상태와 예약 대역폭 상태로 나누었다. 그러므로 기지국의

상태는 2가지 대역폭에 의해서 정의 될 수 있다. 이에 따라 기지국의 상태는 (n, m)으로 정의 될 수 있다.

n : 활동 대역폭의 수

m : 예약 대역폭의 수

2가지 자원에 관하여 다음과 같은 2가지 가정이 있다. 첫 번째는 높은 우선순위 사용자가 낮은 우선순위 사용자의 예약 대역폭을 제안된 알고리즘에 따라서 사용할 수 있다. 그리고 두 번째는 낮은 우선순위 사용자는 핸드오프 중에 다른 셀로 이동 방향을 바꿀 수 있다.

이 장에서 우리는 높은 우선순위 사용자의 속도와 낮은 우선순위 사용자의 이동 방향에 관하여 분석을 한다. 그러나 이 2가지 분석에 있어서 높은 우선순위 사용자의 속도와 낮은 우선순위 사용자의 이동 방향에 관하여 정확히 분석하는 것은 어렵기 때문에 본 논문에서는 이 부분에 대하여 2가지의 변수 λ\*과 λ'를 도입함으로써 분석을 좀 더 쉽게 하고자 한다. 이들 변수는 수식 (3)과 (4)로서 정의되고, 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda^* = HP \cdot \lambda_{h1} \tag{3}$$

$$\lambda' = CP \cdot \lambda_{h2} \tag{4}$$

λ\* : 낮은 우선순위 사용자의 예약 대역폭을 사용할 수 있는 높은 우선순위 사용자의 도착율

λ' : 대역폭을 예약한 낮은 우선순위의 사용자가 이동 방향을 바꿔서 새로운 셀로 바뀌게 되는 이동 방향 변경율

HP : 이동국이 핸드오프 중에 일정 속도 이상을 가지게 되어서 낮은 우선순위 사용자의 예약 대역폭을 사용할 수 있는 비율

CP : 이동국이 핸드오프 중에 이동 방향을 바꾸게 되는 비율

기지국은 상태 확률은 P<sub>(n,m)</sub>으로 정의되고, 제안된 알고리즘의 자원 변화 다이어그램은 (그림 6)과 같다. 제안된 알고리즘이 적용되는 상태는 활동 대역폭이 B-1개와 B개가 점유된 상태만이다. 이렇게 함으로써 기지국의 대부분의 자원이 사용자에게 점유되어 있는 경우에 새로운 이동국에게서 서비스를 제공함으로써 효율성을 높이고, 핸드오프 차단 확률을 낮출 수 있다.

(그림 6)에 의한 상태 확률  $P_n$ 은 아래의 수식처럼 정의된다. 수식 (5)는 점유된 대역폭의 수가 0과 B-2 사이에 있을 때의 상태 확률이다. 이는 기존의 M/M/k/k 모델을 사용해서 쉽게 구해질 수 있다. 그리고 수식 (6)과 (7)은 점유된 활동 대역폭의 수가 B-1과 B일 때의 상태 확률이다.

$$P_n = \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P_0 \quad (0 \leq n \leq B-2) \quad (5)$$

$$P_{B-1} = P_{(B-1,0)} + P_{(B-1,1)} \quad (6)$$

$$P_B = P_{(B,0)} + P_{(B,1)} \quad (7)$$

수식 (6)과 (7)의 상태 확률을 얻기 위해서는  $P_{(B-1,0)}$ ,  $P_{(B-1,1)}$ ,  $P_{(B,0)}$ 와  $P_{(B,1)}$ 의 상태 확률부터 계산해야 하는데 이는 마코프 체인의 평형 방정식을 사용하여 수식 (8)부터 (11)까지의 각 상태들의 확률을 계산할 수 있다.

$$P_{(B-1,0)} = \frac{\lambda^{B-1}}{(B-1)! \mu^{B-1}} P_0 \quad (8)$$

$$P_{(B,0)} = \left\{ \frac{\lambda}{B\mu} \frac{(B\mu + \lambda')\lambda_h}{(B\mu + \lambda' + \lambda^*) - \frac{B\mu\lambda^*}{(B\mu + \mu^* + \lambda')}} \right\} P_{(B-1,0)} \quad (9)$$

$$P_{(B-1,1)} = \frac{\lambda_h}{(B\mu + \lambda' + \lambda^*) - \frac{B\mu\lambda^*}{(B\mu + \mu^* + \lambda')}} P_{(B-1,0)} \quad (10)$$

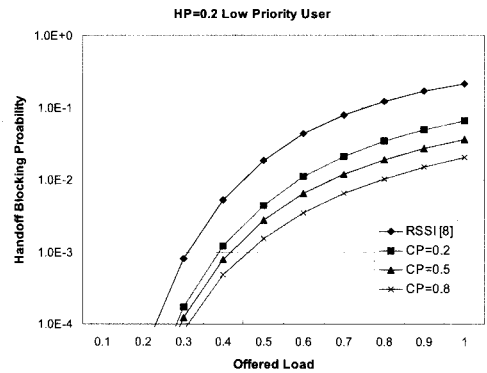
$$P_{(B,1)} = \frac{\lambda^* \lambda_h}{(B\mu + \mu^* + \lambda')(B\mu + \lambda' + \lambda^*) - B\mu\lambda^*} P_{(B-1,0)} \quad (11)$$

수식 (12)는 높은 우선순위 사용자의 핸드오프 차단 확률로 모든 활동 대역폭이 사용되는 경우에 핸드오프 요청이 거절되고, 수식 (13)은 낮은 우선순위 사용자의 핸드오프 차단 확률로 모든 활동 대역폭이 사용되면서 예약 대역폭이 없는 경우와 B-1개의 활동 대역폭이 사용되면서 1개의 예약 대역폭이 있는 경우에 핸드오프 요청이 거절된다. 이들은 앞서 구한 수식 (8)부터 수식 (11)을 통해서 그 결과를 얻을 수 있다.

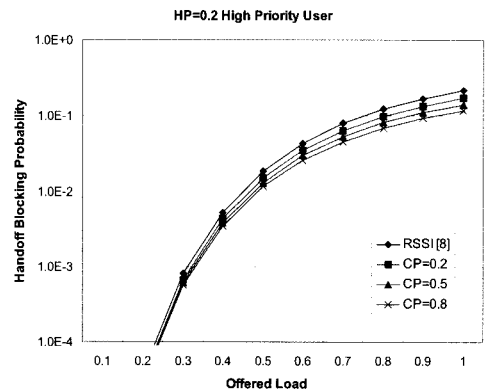
위의 수식으로부터 성능 결과를 그래프로 표현하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 인수들에 대한 가정이 있어야 한다.

- $B = 10$
- $1/\mu_c = 100s$
- $1/\mu_h = 500s$
- $CP = 0.2, 0.5, 0.8$
- $HP = 0.2, 0.8$

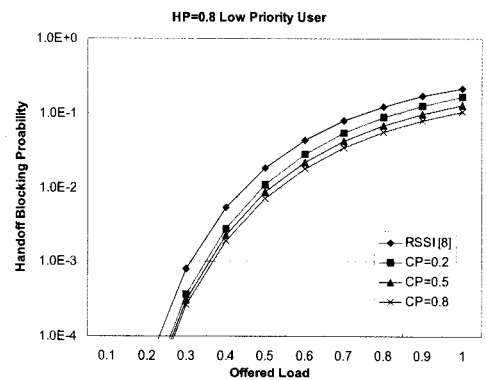
이렇게 각 인수에 대한 값을 가지고, 제안된 알고리즘이 적용되지 않아서 RSSI만 사용하여 핸드오프 시점을 결정하는 경우 [8]과 DRSSI를 사용하여 우리가 제안된 방식을 따라서 핸드오프 시점을 결정하는 경우의 핸드오프 차단 확률을 각각 낮은 우선순위 사용자와 높은 우선순위 사용자로 나누어 그래프로 표현하면 (그림 7) 및 (그림 8)과 같다.



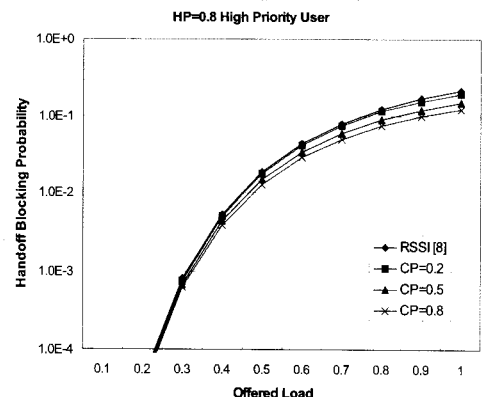
(a) 낮은 우선순위의 사용자



(b) 높은 우선순위의 사용자  
(그림 7) 핸드오프 차단 확률(HP=0.2)



(a) 낮은 우선순위의 사용자



(b) 높은 우선순위의 사용자  
(그림 8) 핸드오프 차단 확률(HP=0.8)

(그림 7)은 높은 우선순위 사용자의 20%가 제안된 알고리즘의 조건을 만족하여 낮은 우선순위 사용자의 예약 대역폭을 임시적으로 사용하는 상황이다. 이 그래프에서 낮은 우선순위 사용자가 이동 방향을 바꾸게 되는 비율이 높으면 높을수록 더 좋은 성능을 가지게 됨을 알 수 있다.

(그림 7)과 비교할 때, (그림 8)의 높은 우선순위 사용자는 거의 비슷한 핸드오프 차단 확률을 가지게 된다. 그러나 낮은 우선순위 사용자의 경우에는 (그림 7)보다 높은 핸드오프 차단 확률을 가진다. 그 이유는 (그림 8)에서는 낮은 우선순위 사용자의 자원을 요청하는 경우가 많아지기 때문이다. 그리고 (그림 8)에서도 역시 높은 우선순위 사용자가 이동 방향을 바꾸게 되는 비율이 높으면 높을수록 더 좋은 성능을 가지게 됨을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문은 DRSSI를 사용하는 새로운 핸드오프 시점 결정 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 핸드오프 시점 결정시 기지국의 자원 상태와 이동국의 이동방향을 고려하여 효율적인 자원 사용을 가능하게 한다.

제안한 알고리즘은 이동국을 높은 우선순위 사용자와 낮은 우선순위 사용자로 구분하여 대부분의 기지국 자원이 이동국들에 의해서 사용될 경우에 낮은 우선순위 사용자가 예약한 대역폭을 높은 우선순위 사용자가 사용하게 한다. 또한, 낮은 우선순위 사용자가 대역폭을 예약한 동안에 다른 셀로 움직이면 DRSSI로 이러한 움직임을 파악하고, 즉시 해당 자원을 해제하게 할 수 있다.

이렇게 함으로써 기지국의 자원이 부족한 상황에서 예약 대역폭을 다른 사용자가 사용하게 하고, 또한 빨리 사용 중인 자원을 빨리 해제하게 함으로써 불필요한 자원 낭비를 줄이고, 보다 효율적인 자원 사용을 가능하게 하여 핸드오프 차단 확률을 낮출 수 있다.

제안하는 알고리즘의 효과는 5장의 수학적 분석에서 얻어진 결과를 가지고도 확인할 수 있다. 특히, 낮은 우선순위 사용자의 경우에는 높은 우선순위를 가지는 사용자보다 더 좋은 핸드오프 차단 확률을 가지게 된다.

### 참 고 문 헌

[1] Mika Gudmundson, "Analysis of Handover Algorithm," Vehicular Technology Conference 1991, pp.537~542, May 1991.  
 [2] Gregory P. Pollini, "Trends in Handover Design," IEEE Communications Magazine, pp.82~90, March 1996.  
 [3] Kaven Pahlavan, Prashant Krishnamurthy, et al., "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks," IEEE Personal Communications, pp.34~47, April 2000.  
 [4] Bechir Hamdaoui and Parameswaran Ramanathan, "A Network-Layer Soft Handoff Approach for Mobile Wireless IP-Based Systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.22, No.4, May 2004.  
 [5] Yi-Bing Lin, Ai-Chun Pang, "Comparing Soft and Hard

Handoffs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.49, No.3, May 2003.

[6] Ken-Ichi Itoh, et. al, "Performance of Handoff Algorithm Based on Distance and RSSI Measurements," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.51, No.6, November 2002.  
 [7] V. Kapoor, G. Edwards, R. Sankar, "Handoff Criteria for Personal Communication Networks," SUPERCOMM/ICC '94, pp. 1297~1301, May 1994.  
 [8] Zhang, N. and Holtzman, J. M., "Analysis of Handoff Algorithms Using Both Absolute and Relative Measurements," IEEE Transactions on Vol.45, Issue 1, pp.174~179, February 1996.  
 [9] Munoz-Rodriguez, D., Moreno-Cadenas, J.A., et. al., "Neural supported hand off methodology in micro cellular systems," Vehicular Technology Conference 1992, pp.431~434, May 1992.  
 [10] Senarth, G.N., Everitt, D., "Performance of Handover priority and queuing systems under different handover request strategies for Microcellular Mobile Communication Systems," Vehicular Technology Conference 1995, Vol.2, pp.897~901, July 1995.  
 [11] Seong Gon Choi, Ok Sik Yang, Jun Kyun Choi, "An efficient resource allocation scheme during handoff in mobile wireless networks," IEEE/ICACT 2005, February 2005.  
 [12] Leonard Kleinrock, "Queueing System : Volume 1 : Theory," March 1974.

### 권 영 환



e-mail : yhkwon@icu.ac.kr

2001년 충남대학교 정보통신공학과(공학사)  
 2005년 한국정보통신대학교 공학부(공학석사)  
 2005년~현재 한국정보통신대학교 박사과정  
 2001년~2002년 삼성전자 네트워크사업부  
 관심분야 : 광대역통신망, 멀티캐스트, 이동성

### 최 성 곤



e-mail : sgchoi@cbnu.ac.kr

1990년 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1999년 한국정보통신대학교(공학석사)  
 2004년 한국 정보통신대학교(공학박사)  
 1992년~1998년 LG 정보통신 이동통신  
 기술연구소

2004년~현재 충북대학교 정보통신공학과 교수  
 관심분야 : 광대역통신망, 이동성, MPLS

### 최 준 균



e-mail : jkchoi@icu.ac.kr

1982년 서울대학교 전자공학과(공학사)  
 1985년 한국과학기술원(공학석사)  
 1988년 한국과학기술원(공학박사)  
 1986년~1997년 한국전자통신연구원  
 책임연구원

1997년~현재 한국정보통신대학교 정교수  
 관심분야 : 광대역통신망, ATM, MPLS, 이동성