

# 무선 멀티홉 시스템에서 적응적 자원 재사용을 위한 요구 자원량 결정 기법

정회원 배 병 주\*, 신 봉 진\*\*, 종신회원 홍 대 형\*\*

## A Decision Scheme of Amount of Required Resources for Adaptive Resource Reuse in Wireless Multi-hop Systems

Byung-joo Bae\*, Bong-jhin Shin\*\* *Regular Members*, Daehyoung Hong\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 자원 재사용이 가능한 무선 멀티홉 시스템에서 RS (Relay Station)간 적응적으로 무선자원을 재 사용하기 위한 요구 자원량 결정 기법을 제안한다. 멀티홉 시스템에서 BS (Base Station)는 RS 각각의 요구 자원량을 고려하여 RS에게 자원을 동적으로 할당할 수 있다. 이 때 RS간에 무선자원을 재사용하면 시스템의 사용 가능한 자원량이 증가하는 효과를 얻을 수 있다. BS는 같은 자원을 재사용하는 RS들에게 일반적으로 동일한 자원을 할당하며, 이를 위해 RS들의 서로 다른 요구 자원량을 대표하는 하나의 값을 결정해 줄 필요가 있다. 본 논문에서는 각 RS의 요구 자원량과 buffer 사용비율을 바탕으로 재사용 RS들의 요구 자원량의 대표값을 적응적으로 결정하는 기법을 제시한다. 모의실험을 통해 제안한 기법이 멀티홉 시스템의 성능을 증대시킬 수 있음을 보였다. 재사용 RS들의 대표 요구 자원량 값을 고정적으로 적용하는 경우에 비해 제안된 적응적 기법을 적용했을 때 시스템 용량이 약 두 배 까지 증대됨을 확인하였다.

Key Words : Resources reuse; RRM; Wireless Multi-hop systems.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a decision scheme of amount of required resources in wireless multi-hop systems which can reuse radio resources adaptively among relay stations (RSs). Base stations (BSs) can allocate resources dynamically based on amount of required resources of each RS. Moreover using resource reuse with this allocation method can increase amount of available resources in multi-hop systems. Generally, BSs allocate same amount of resources for RSs which share and reuses same resources for each other. Since amount of required resources are different among these RSs, a decision scheme of a specific value which can represent various required resources of RSs is needed. We propose this scheme which can decide the representative value of required resources of RSs adaptively based on the amount of required resources and the buffer state of each RS. Our simulation results show that the proposed scheme can increase performance of a multi-hop system. System capacity with the proposed adaptive scheme is increased by twice as large as one with a fixed representation value.

\* 삼성전자 무선사업부(bjshin@sogang.ac.kr)

\*\* 서강대학교 전자공학과 통신시스템 연구실 (byungjoo.bae@samsung.com, {bjshin, dhong}@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-458, 접수일자 : 2008년 10월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 27일

## I. 서 론

최근 멀티홉 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 멀티홉 시스템은 BS (Base Station)와 MS (Mobile Station)가 직접 통신하는 기존 싱글홉 시스템과는 달리, BS와 MS가 중계노드 (Relay Station; RS)를 거쳐서 통신할 수 있는 시스템이다. 멀티홉 전송은 홉 간 전송신호 품질을 개선시켜서 전체 시스템 용량을 증대시킬 수 있으며, 서비스 커버리지를 확장할 수 있다<sup>[1][2]</sup>. 멀티홉 시스템에서 RS는 무선 자원관리, 스케줄링 등 BS가 처리하던 기능을 수행할 수 있다.

무선 멀티홉 시스템에서 자원관리기법은 그 방식과 관리하는 주체에 따라 크게 집중식(Centralized)과 분산식(Decentralized)으로 구분할 수 있다. 집중식 자원관리기법은 RS가 자원관리에 필요한 정보를 수집하고, 이를 BS에게 모두 전송한다. BS는 이 정보를 사용해 셀 내에 위치한 MS에게 자원을 할당한다. 집중식 자원관리는 control 정보 전달에 따른 overhead가 증가할 수 있다는 단점이 있다. 분산식 자원관리기법에서는 BS가 모든 자원관리 기능을 수행하는 것이 아니라 RS가 BS의 일부 기능을 대신 수행할 수 있다. RS는 자원관리에 필요한 정보를 수집하며, 이를 가공해서 새로운 특정한 값을 계산하여 BS에게 이 값을 전송한다. BS는 이 값을 근거로 각 RS가 사용할 자원량을 결정해서 할당하고, 각 RS는 할당받은 자원을 다시 해당 RS에게 속해있는 MS에게 할당한다. 분산식 자원관리기법은 자원관리를 위한 control overhead가 줄어들 수 있다는 장점이 있으며, 이를 위해서 RS가 자원관리를 수행할 수 있는 기능을 가져야 한다. 본 논문에서는 BS가 각 RS에게 자원을 할당하고, RS는 할당받은 자원을 소속된 MS에게 할당하는 시스템을 가정하였다.

멀티홉 시스템에서는 동일한 데이터가 여러 홉을 거쳐 전송될 수 있기 때문에 싱글홉 시스템에 비해서 더 많은 자원이 필요할 수 있다. 이를 보완하고 사용 가능한 자원량이 증대되는 효과를 얻기 위해 공간적으로 떨어진 RS사이에 자원을 재사용할 수 있다. 멀티홉 시스템에서 자원을 효율적으로 재사용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. [3], [4]에서는 멀티홉 시스템에서 자원을 재사용할 때 링크 (BS-MS, BS-RS, RS-MS) 사이에 자원을 재사용하여 간섭량을 줄일 수 있음을 보여준다. [5]에서는 자원을 재사용하는 RS 그룹을 변화시켜 간섭을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 가정한 시스템에서는 BS가 자원을 재사용하는 RS들에게 동일한 양의 자원을 동적으로 할당한다. 하지만 자원을 재사용하는 RS들은 서로 다른 전송환경에 있기 때문에 각 RS의 요구자원량이 서로 다를 수 있다. BS가 RS에 자원을 할당하기 위해서는 재사용 RS들의 서로 다른 요구자원량을 대표할 수 있는 하나의 값이 필요하다. 본 논문에서는 재사용 RS들의 요구 자원량과 buffer 사용비율을 반영하여 요구 자원량의 대표값을 결정하는 기법을 연구하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 멀티홉 시스템에서의 자원 재사용 방법에 대해서 설명하며, 요구 자원량이 다른 재사용 RS들에게 자원을 할당할 때 발생할 수 있는 문제를 서술한다. 3장에서는 재사용 RS들의 서로 다른 요구 자원량의 대표값을 결정하는 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 성능을 도출하고 분석하며, 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 무선 멀티홉 시스템에서의 자원 재사용 방법

논문에서 가정한 무선 멀티홉 시스템에서는 BS가 각 RS에게 자원을 할당하기 위해서는 RS로부터 요구 자원량 정보를 수집해야한다. 여기서 자원은 BS, RS 및 MS가 데이터를 전송하기 위해서 사용하는 무선 자원을 의미한다. 예를 들어 OFDMA 시스템에서 sub-channel 수를 자원이라 할 수 있다. 요구 자원량을 결정하기 위해서 RS는 소속된 MS의 수, 각 MS에게 전달해야 하는 데이터의 양 및 타입, 무선링크 (RS-MS)의 채널상황 등의 정보를 수집해야 한다. RS는 수집된 정보를 근거로 다음 프레임에서 필요할 것으로 예상되는 자원량을 계산하여 BS에게 보고한다. BS는 각 RS로부터 보고 받은 요구 자원량을 근거로 각 RS에게 자원을 동적으로 할당하며 이를 위해 다양한 동적 자원할당기법이 사용될 수 있다.

RS가 자원을 재사용하지 않는 때는 그림 1-(a)와 같이 BS가 RS의 요구 자원량에 따라서 각 RS에게 순차적으로 자원을 할당한다. RS가 자원을 재사용할 때는 일반적으로 그림 1-(b)와 같이 BS가 자원을 재사용하는 RS들에게 동일한 자원을 할당한다. 자원 재사용은 미리 정해진 패턴에 따라 정해져 있는 것으로 가정하였다. 정해진 패턴을 유지하기 위해서 동일한 자원을 재사용하는 RS에게는 동일한 양의 자원을 할당하는 것으로 가정하였다. 이 때

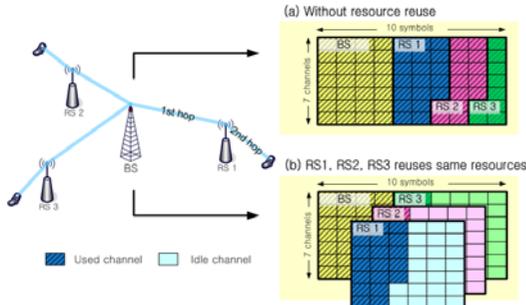


그림 1. 멀티홉 시스템의 자원할당 방법

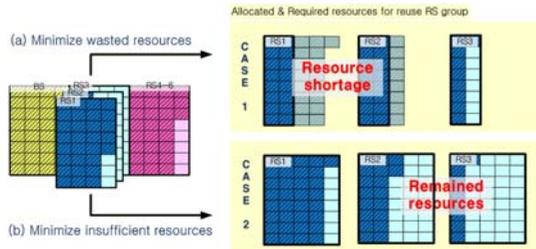


그림 2. 자원 재사용 시 자원 할당량 결정 문제

RS들의 요구 자원량이 서로 다를 수 있기 때문에 재사용할 자원량을 적절히 할당하기가 어렵다. 여기서 동일한 자원을 재사용하는 RS 들의 집합을 “재사용 그룹”으로 정의한다. 다른 재사용 그룹의 RS 들은 서로 다른 자원을 사용한다.

RS간 재사용 자원량을 결정하는 문제를 설명하기 위해 다음과 같은 간단한 시나리오를 생각할 수 있다. 하나의 셀에 6개의 RS가 위치한다. RS1-3은 BS와 1<sup>st</sup> 홉으로 연결되어 있고, RS4-6은 BS와 2<sup>nd</sup> 홉으로 연결되어 있다. 그림 2는 이와 같은 환경에서 하나의 프레임에 각 RS에 할당하는 예를 보여준다. 자원을 재사용하는 RS 중 가장 많은 자원을 요구하는 RS를  $RS_{max}$ , 가장 적은 자원을 요구하는 RS를  $RS_{min}$ 이라고 가정한다. 재사용 자원량을 요구 자원량의 가장 작은 값 또는 가장 큰 값을 기준으로 결정할 경우 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.

**[Case 1]  $RS_{min}$ 을 기준으로 재사용 자원량 결정**

할당된 자원이 낭비되는 것을 최소화하기 위해  $RS_{min}$ 의 요구 자원량을 기준으로 BS가 재사용 자원량을 결정할 수 있다. 이 경우  $RS_{min}$ 보다 더 많은 자원을 요구하는 RS는 필요한 자원량보다 적은 자원을 할당 받는다. 이러한 자원부족 상황이 지속되면 RS의 buffer에 데이터가 쌓여, packet drop이 발

생할 수 있다.

**[Case 2]  $RS_{max}$ 을 기준으로 재사용 자원량 결정**

각 RS에 자원이 부족하지 않도록 자원을 할당하기 위해 하기 위해  $RS_{max}$ 를 기준으로 재사용 자원량을 결정할 수 있다. 이 경우 packet drop은 줄일 수 있지만  $RS_{max}$ 를 제외한 다른 RS들은 필요한 자원보다 더 많은 자원을 할당받아 남는 자원이 생긴다. 이와 같이 남는 자원은 재사용 되는 정도가 적기 때문에 시스템 전체의 재사용 효율이 떨어질 수 있다.

BS가 재사용 RS들에게 적절한 자원량을 할당하기 위해서는 RS의 서로 다른 요구 자원량을 대표하며, 시스템 자원 효율을 높일 수 있는 하나의 값을 결정하는 방안이 필요하다.

**III. 적응적 자원 재사용을 위한 자원량 할당 기법**

본 논문에서는 RS간 요구 자원량의 차이로 인한 재사용 효율 저하 문제를 해결하기 위해 재사용 RS들의 대표 요구 자원량 값을 결정하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 재사용 RS 각각의 요구 자원량 정보를 활용하며, 대표 요구 자원량을 너무 적게 결정하여 발생할 수 있는 packet drop을 줄이기 위해  $RS_{max}$ 의 buffer state를 반영한다.

그림 3은 제안한 기법의 단계별 동작을 보여준다. n번째 프레임에서 BS에 보고되는  $RS_i$ 의 요구 자원량을  $U_i(n)$ 라고 할 때, 동일 자원을 재사용하는 RS 그룹 전체의 대표 요구 자원량  $U_{group}(n)$ 을 결정하는 과정은 다음과 같다.

**[Step 0]  $RS_{max}$ 와  $RS_{min}$ 의 결정**

자원을 재사용하는 RS 그룹에서 가장 많은 자원을 요구하는 RS를  $RS_{max}$ , 가장 적은 자원을 요구하는 RS를  $RS_{min}$ 로 결정한다.

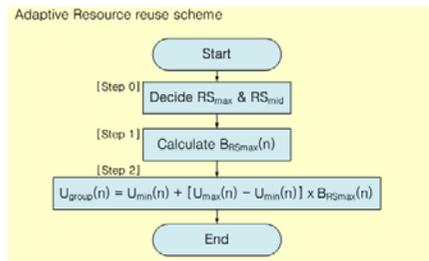


그림 3. 제안한 기법의 동작

[Step 1]  $RS_{max}$ 의 buffer 사용률 계산

$$B_{RS_{max}}(n) = \frac{\text{The amount of buffered data of } RS_{max}}{\text{Buffer size of } RS_{max}} \quad (1)$$

$BS_{max}(n)$ 는  $RS_{max}$ 의 buffer 사용률을 나타내며, 식 (1)과 같이 표현된다. 재사용 RS들의 자원이 부족하여 buffer overflow가 발생하는 것을 방지하기 위해  $RS_{max}$ 의 buffer에 누적된 데이터량을 반영한다. 이를 계산하기 위하여 BS는 RS들에게서 buffer에 저장된 데이터량 정보를 요청하여 수신하고, 각 RS의 buffer size는 BS가 알고 있다고 가정한다.

[Step 2] 적응적으로  $U_{group}(n)$  결정

$$U_{group}(n) = U_{RS_{min}}(n) + [U_{RS_{max}}(n) - U_{RS_{min}}(n)] \times \alpha \quad (2)$$

BS는  $U_{group}(n)$ 는  $U_{RS_{max}}(n)$ 와  $U_{RS_{min}}(n)$  사이의 특정 값으로 정해지며, 이 지점은 파라미터  $\alpha$ 에 따라 변한다.  $U_{group}(n)$ 은  $RS_{max}$ 의 buffer에 상대적으로 여유가 있으면  $U_{RS_{min}}(n)$ 에 가깝게 결정되고, 여유가 없으면  $U_{RS_{max}}(n)$ 에 가깝게 결정된다.

제안한 기법을 통해 재사용 RS에 할당할 자원량을 RS별 요구 자원량에 따라 적응적으로 조절할 수 있다. 또한 재사용 자원량을 적절히 결정하여 재사용 효율을 높이면서도  $RS_{max}$ 의 buffer state를 감시하여 packet drop을 줄일 수 있다. 각 그룹의 요구 자원량의 합이 전체 자원량보다 클 경우, 전체 자원량을 각 그룹의 요구자원량의 비율에 따라 나누어 할당한다<sup>[7]</sup>.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 시스템 파라미터 및 모델

Parameters and Models	Values
Center frequency	2.3GHz
System bandwidth	10 MHz
Total number of subchannels	540 channels
Multiple access and duplex	OFDMA-TDD downlink
Max. Tx power (BS/RS)	43 / 30 dBm
Path-loss model	3GPP Ericsson Model[6]
Cell layout	7-cell Hexagonal Model
Mobility of MSs	3 km/h
Buffer size	1Mbits
Traffic model	Full buffered traffic Model

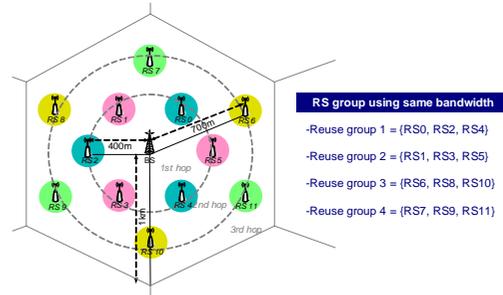


그림 4. BS, RS 배치 및 적용된 재사용 RS 그룹

IV. 성능 분석

제안한 기법의 성능평가를 위해 셀룰라 기반의 멀티홉 시스템을 구성하여 시스템 용량을 분석하였다. IEEE 802.16e 시스템을 기반으로 셀 당 12개의 RS를 추가하여 모의실험을 수행하였다. MS는 전 영역에 균일하게 분포시켰다. 모의실험에 적용된 주요 시스템 파라미터 및 모델은 표 1과 같다. 사용한 Full buffered traffic model은 전송할 traffic이 buffer에 부족하지 않을 정도로 항상 들어있는 것을 가정한다. 이 model은 BS에만 적용되었으며, RS는 BS에서 수신한 packet을 buffer에 넣는다. RS의 배치 및 자원을 재사용하는 RS 그룹은 그림 4와 같다.

모의실험 결과는  $\alpha$ 를 1, 0.5, 0으로 적용하여 고정적으로 자원 재사용량을 결정한 경우와 제안한 적응적 재사용 자원량 결정기법을 사용한 경우에 대해서 모두 도출하였다. 10 프레임에 한 번씩 제안한 기법을 적용하였다. 재사용 RS들의 요구 자원량의 변화에 따라 동적으로 자원을 할당하기 위해서 [7]에서 제안된 Generalized Processor Sharing - Dynamic Resource Allocation 알고리즘을 적용하였다.

성능분석 지표로 channel utilization, packet drop probability, cell throughput를 도출하였다. Channel utilization은 전체 채널자원의 수를 할당된 채널자원의 수로 나눈 값이며, 자원의 사용효율을 나타낸다. Packet drop probability는 전체 전송된 packet 중 buffer overflow에 의해 전송에 실패한 packet의 비율로 계산한다. Cell throughput은 단위시간당 셀 내에 있는 사용자가 성공적으로 수신한 데이터 bit 수의 합으로 계산한다.

그림 5는 각 기법에 따른 channel utilization을 보여준다.  $\alpha$ 를 0으로 적용하여 재사용 자원량을 결정해서 낭비되는 자원을 최소화한 경우 약 91%로 가장 높은 utilization을 보였다.  $\alpha$ 를 1로 적용하여

재사용 자원량을 결정한 경우에는 그 값이 75%로 감소하였다.  $\alpha$  값이 1인 경우는 자원 재사용 그룹에 속한 RS 중 요구자원량이 가장 큰 RS를 기준으로 자원을 할당 하는 경우이며,  $\alpha$  값이 0인 경우는 자원 재사용 그룹에 속한 RS 중 요구자원량이 가장 작은 RS를 기준으로 자원을 할당 하는 경우이다. 따라서  $\alpha$  값이 1인 경우 대부분의 RS에는 요구자원량보다 할당된 자원량이 많아 자원이 남아 utilization이 낮아질 수 있다. 반면에  $\alpha$  값이 0인 경우 대부분의 RS에는 요구자원량보다 할당된 자원량이 적어 자원이 부족하여 utilization은 높아질 수 있다. 모의실험 결과 약 90%의 utilization을 보여 낭비되는 자원을 최소화한 경우와 거의 유사한 자원 효율을 보였다.

각 기법에 따른 packet drop probability는 그림 6에 나타내었다.  $\alpha$ 를 0으로 적용하여 할당량을 결정한 경우는  $RS_{min}$  이외의 다른 RS들의 자원이 부족하여 packet drop이 약 14% 정도 발생하였다.  $\alpha$ 를 1로 적용한 경우 그 값이 0.01%로 감소하였다. 이는  $\alpha$ 를 1로 적용하면 최대의 자원을 요구하는 RS를

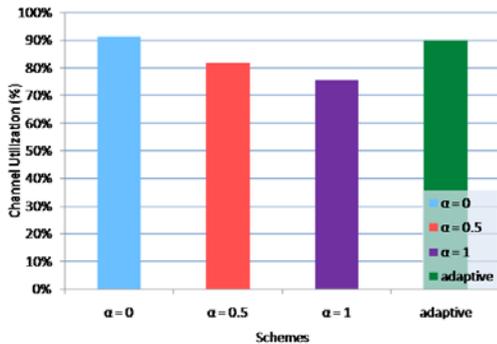


그림 5. Channel utilization 비교

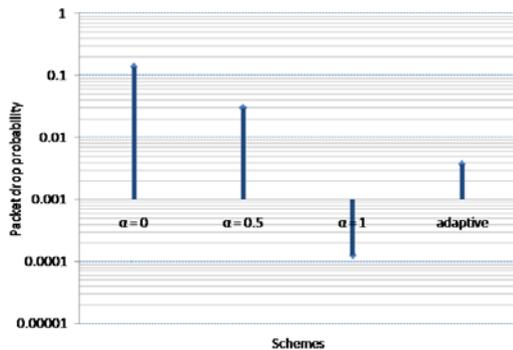


그림 6. Packet drop probability 비교

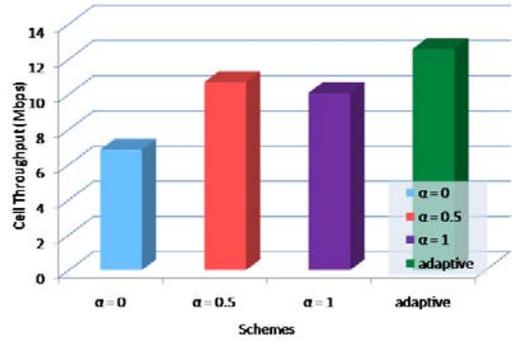


그림 7. Cell throughput 비교

기준으로 자원이 할당되고, 따라서 다른 RS들에게는 요구 자원량에 비해 더 많은 자원이 할당되기 때문이다. 제안한 기법을 적용했을 때는 packet drop이 약 0.37%로  $\alpha = 0, 0.5$ 인 경우에 비해서 낮은 수치를 보였다.

그림 7은 각 기법에 따른 cell throughput을 보여 준다.  $\alpha$ 를 0으로 적용한 경우 약 6.85Mbps로 가장 낮은 성능을 보였다. 이는 RS들의 자원부족으로 인해 packet drop이 증가하였기 때문이다.  $\alpha = 0.5, 1$ 인 경우 각각 약 10.69Mbps, 약 10.08Mbps의 보다 개선된 cell throughput을 보였다. 이는 utilization이 다소 낮더라도 packet drop을 줄이는 것이 시스템 성능을 높일 수 있음을 의미한다. 제안한 기법을 적용한 결과 cell throughput이 약 12.58Mbps로 가장 높게 나타났다. 이 값은  $\alpha = 0.5$ 일 때의 결과에 비해 약 17.70% 증가한 수치이다.

모의실험 결과를 통해 제안된 기법이 적응적으로 재사용 자원량을 결정하고, 자원 효율을 높일 수 있음을 확인하였다. 또한 RS의 buffer state 감시를 통해 packet drop을 줄일 수 있음을 확인하였다. Cell throughput 도출 결과 제안된 기법이 전체 시스템 용량을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 RS간 자원을 재사용 하는 무선 멀티홉 시스템에서, RS별 요구 자원량과 buffer state 정보를 기반으로 재사용 RS들의 요구 자원량의 대표값을 적응적으로 결정하는 기법을 제안하였다. 대표값을 적응적으로 결정하는 기법과, 고정된 값을 사용하는 경우의 성능을 도출하여 분석하였다.

모의실험을 통해 고정된 대표값을 적용한 경우와

비교하여 제안된 기법을 사용하면 channel utilization, cell throughput이 높아지는 것을 보였다. Channel utilization의 경우 최대 약 20%의 성능 향상을 보였으며, cell throughput의 경우 최대 약 2배의 성능 향상을 보였다. 반면에 packet drop은 고정된 대표값을 적용한 경우 중 가장 좋은 성능을 보이는 값에 비해서는 조금 증가하였다.

제안된 적응적 요구 자원의 대표값 결정 기법은 자원을 재사용하는 멀티홉 시스템에서 channel utilization과 cell throughput을 증가시켜 자원을 효율적으로 재사용하는 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] IEEE C802.16mmr-06/003, Samsung Electronics, Ltd. and Sogang Univ., On the Throughput Enhancement of Fixed Relay Concept in Manhattan-like Urban Environments.

[2] J. Cho and Z. J. Haas, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying," *IEEE J. Sel. Areas Commun.* pp. 1206-1209, Sept. 2004.

[3] H. Hu, H. Yanikomeroglu, D. Falconer, and S. Periyalar, "Range extension without capacity penalty in cellular networks with digital fixed relays," in *Proc. IEEE Globecom 2004*, vol. 5, pp. 3053-3057, Dec. 2004.

[4] IEEE C802.16mmr-05/034\_r0, Byoung-Jo, N.K. Shankar, and A. Saha, Simple Infrastructure Multihop Relay Wireless System.

[5] H. Zimmermann, J. Eberspacher, and M. Lott, "Frequency reuse for cellular multi-hop networks," in *Proc. IEEE VTC 2005 fall*, vol. 4, pp. 2297-2301, Sept. 2005.

[6] TR 25.892 V.6.0.0, Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Release 6), 3rd Generation Partnership Project, June 2004.

[7] 배병주, 홍대형, "셀룰라 기반의 하이브리드 분산식 멀티홉 시스템에서의 GPS 알고리즘을 이용한 동적 자원할당 기법," JCCI 2007, May 2-4, 2007

배 병 주 (Byung-joo Bae)

정회원



2005년 8월 서강대학교 전자공학  
학과 졸업  
2007년 9월 서강대학교 전자공학  
학과 석사  
<관심분야> OFDMA 시스템, 멀티  
홉 Relay 시스템, Dynamic  
RRM

신 봉 진 (Bong-jhin Shin)

정회원



2003년 2월 서강대학교 전자공학  
학과 졸업  
2005년 8월 서강대학교 전자공학  
학과 석사  
2005년 9월~현재 서강대학교 전  
자공학과 박사과정  
<관심분야> Self-organizing 네  
트웍, 차세대 이동통신 설계 및 성능 분석

홍 대 형 (Deahyoung Hong)

중신회원



1977년 서울대학교 전자공학과  
졸업  
1982년 University of New-York  
at Stony Brook, 전자공학과  
석사  
1982년 University of New-York  
at Stony Brook, 전자공학과

박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부  
1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff  
Research Engineer  
1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수  
<관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능  
분석, 무선망 운용 및 제어기술