

릴레이가 있는 셀룰러 시스템에서의 효율적인 상향링크 자원 할당 기법

(Efficient resource allocation in an uplink two-hop-relay cellular system)

이주현¹ 손규호² 전정호³ 정송⁴
(Joohyun Lee) (Kyuhoo Son) (Jeongho Jeon) (Song Chong)

요약 릴레이는 이동통신 시스템에서 음영 지역 해소와 전송률 증대를 위해 도입을 추진하고 있는 기술이다. 릴레이가 도입됨으로써 기존의 싱글홉 전송이 릴레이를 거치는 멀티홉 전송으로 바뀔 수 있게 되고 이를 위한 새로운 자원 할당 방식의 필요성이 대두되었다. 기존의 대표적인 릴레이가 있는 셀룰러 시스템을 위한 상향링크 자원 할당 방식으로는 한 셀 내 단말들 간 동시전송을 고려하지 않는 *orthogonal allocation* 방식과 동시전송에 따른 간섭을 고려하지 않고 모든 기지국과 릴레이들이 자원을 재사용하는 *full spatial reuse* 방식이 있다. 전자의 경우 자원 사용 측면에서의 비효율성이 발생할 수 있고 후자의 경우는 간섭을 심하게 받는 가장자리 사용자들까지 자원 재사용에 참여할 경우 해당 단말의 신호대잡음비가 매우 열악해질 가능성이 있다. 본 논문에서는 기존 방식들의 단점을 보완하는 효율적인 상향 링크 자원 할당 방식을 제안한다. 하나의 릴레이 또는 기지국이 상향 링크 구간에서 특정 단말로부터 데이터를 전송을 받고 있을 때 같은 셀 내에서 공간적으로 멀리 떨어진 단말의 경우 인접 릴레이 또는 기지국으로 시간-주파수 차원에서 동일한 상향링크 자원을 사용하여 전송을 하여도 기존의 상향 링크 전송에 간섭을 거의 미치지 않는다. 따라서 해당 단말들에 대해 동시 전송을 허용하여도 상호 전송 간에 영향을 거의 주지 않으며 상향 링크 전송을 할 수 있다. 이와 같은 단말들을 찾아 재사용하는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증한다. 제안하는 알고리즘은 릴레이와 기지국의 위치 정보를 사용하지 않기 때문에 릴레이 또는 기지국이 불규칙적으로 배치된 일반적인 상황에서도 잘 동작한다.

Abstract The relay station has been introduced to improve system throughput and coverage in cellular networks. Accordingly, new resource allocation scheme is essential to support multi-hop transmission in relay-assisted cellular networks. In this paper, we focus on the resource allocation in an uplink cellular system with relay stations. There have been two main resource allocation schemes. In an orthogonal allocation scheme, only one user is served in each cell at a given time slot and frequency band. On the other hand, in a full spatial reuse scheme, all relay stations and base station in each cell

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심기술개발사업[2009-F-045-01, 미래형 초소형셀 무선 자율 네트워크 기술 개발], [2007-F-038-03, 미래 인터넷 핵심기술 연구] 및 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0037).

¹ 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (E-mail: jhlee@netsys.kaist.ac.kr)

² 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (E-mail: skio@netsys.kaist.ac.kr)

³ Department of Electrical and Computer Engineering and the Institute for Systems Research, University of Maryland (e-mail: jeongho@umd.edu)

⁴ 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 정교수 (E-mail: song@ee.kaist.ac.kr)

serve their user simultaneously if they have more than one user who associates with them. The orthogonal allocation scheme is inefficient in terms of bandwidth usage and the full spatial reuse scheme may incur too much interference to cell edge users. In this paper, we propose an efficient resource allocation scheme which limits the amount of interference. When a user in a cell is served at a given time slot and frequency band as in the orthogonal allocation scheme, another user which is distant from that user can be served at the same time slot and frequency band since it does not incur much interference to the original user and the amount of interference coming from that user is small enough. We show that our scheme performs well both in terms of throughput and fairness by simulation results. Our algorithm can also be used in practical relay and base station deployment scenario since it does not use any location information.

1. 서론

릴레이는 기지국과 단말 사이를 이어주는 중계자 역할을 하는 장치로, 기지국으로부터 멀리 떨어져있는 단말이 가까운 릴레이를 통해 데이터를 주고 받도록 함으로써 더 높은 데이터 전송률과 음영 지역 해소 효과를 얻을 수 있다 [1-3]. 현재 릴레이 기술은 단순히 증폭 후 전달 (amplify-and-forward) 방식에서 디코딩 후 전달 (decode-and-forward), 재구성/재조합 후 전달 (reconfiguration/reallocation-and-forward) 등의 다양한 형태로 진화하고 있다 [4]. 이러한 릴레이 기술을 기존 셀룰러 기반의 무선 통신 시스템에 도입함으로써 기지국과 단말만으로 구성된 기존의 셀룰러 시스템보다 자유도를 높일 수 있으며, 릴레이를 활용한 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 먼저 기지국과의 직접적인 통신이 어려운 음영지역에 위치한 단말의 경우 주변의 릴레이를 통해 기지국으로부터의 서비스를 제공받을 수 있다. 또한 셀 가장자리에 위치하여 신호대잡음비 (signal to interference-plus-noise ratio: SINR) 가 열악한 단말의 경우는 릴레이로부터 제공받는 정보를 함께 사용하여 인접 셀로부터의 간섭에 의한 성능저하를 막을 수 있다. 더 나아가 다수의 릴레이를 동시에 사용하여 공간 재사용을 통한 성능 증가를 꾀할 수 있다. 이와 같은 이유로 최근 IEEE 802.16j [4], IEEE 802.16m [5]와 WINNER [6] 같은 차세대 이동통신 시스템에서는 릴레이를 표준에 포함시키고 있다.

릴레이가 도입되면 기존의 단말과 기지국간의 싱글홉 전송이 단말과 릴레이 또는 기지국간의 전송과 릴레이와 기지국간의 전송으로 나뉜다. 따라서 멀티홉 상황에 적합한 새로운 무선 자원 관리 (radio resource management: RRM) 기법이 필요하게 된다. 현재까지 나온 방식은 자원을 모두 독립적으로 할당하거나 건물 또는 지형에 의해 인접한 릴레이들이 거의 영향을 미치지 않는 특수한 환경 (예. 맨하탄 시나리오) 을 대상으로 자원 공간재사용이 고려되어 왔다 [7]. 하지만 공간적으로 단말들이 멀리 떨어진 단말들의 경우 상호 간에 거의 간섭을 미치지 않고도 새로운 전송을 추가할 수가 있으므로, 기존 방식은 자원 사용 측면에서 매우 비효율적이다. 또한 단말이 전력제어 (power control) 기능을 가진다면 추가적인 공간재사용을 이끌어 낼 수가 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 상호 간에 많은 간섭을 유발하지 않는 효율적인 공간재사용 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2 장에서는 릴레이가 도입된 셀룰러 시스템 상향링크에서 기존의 자원 관리 방식에 대해 알아본다. 제 3 장에서는 공간재사용 알고리즘을 제안한다. 제 4 장에서는 시뮬레이션을 통해 제 3 장에서 제안한 공간재사용 알고리즘의 변수들을 최적화하고 이 결과를 기존방식과 비교한다. 제 5 장에서는 이 연구의 결론을 맺는다.

2. 기존 연구

릴레이가 있는 셀룰러 시스템 상향링크에서 데이터 전송은 단말이 릴레이 또는 기지국으로 전송하는 액세스 구간 (access zone) 과 릴레이가 기지국으로 전송하는 릴레이 구간 (relay zone) 으로 나누어진다. 기존의 릴레이가 있는 셀룰러 시스템을 위해 제안된 자원 관리 방식으로는 orthogonal allocation 과 full spatial reuse 방식이 있다 [8].

Orthogonal allocation 방식은 액세스 구간에서 단말들이 기지국 또는 릴레이들로 전송하는 자원을 모두 독립적으로 할당함으로써 특정 자원 영역에 대해 하나의 단말만이 인접 릴레이 또는 기지국으로의 상향 링크 전송을 수행한다. 이러한 방식을 적용할 경우 같은 셀에 있는 단말들 간에는 액세스 구간 전송 시 서로 간섭을 미치지 않게 되므로 안정적인 통신이 가능하다. 간섭량이 적기 때문에 높은 공평성을 갖는 반면 자원 재사용을 허용하지 않기 때문에 평균 데이터 전송률은 낮다.

Full spatial reuse 방식은 액세스 구간에서 동일 자원에 대해 모든 기지국 또는 릴레이들이 상향 링크 전송을 받는다. 자원을 중복 사용하기 때문에 평균 데이터 전송률을 높일 수 있으나 셀 가장자리 단말들의 경우 상대적으로 신호대간섭비가 열악함으로 인해 데이터 전송률이 오히려 낮아질 수 있다. 따라서 낮은 공평성을 갖는다.

이 밖에도 맨하탄 시나리오와 같이 인접한 릴레이들이 건물들에 의해 상호 간섭을 유발하지 않는 특수한 환경에 대해 이러한 릴레이들끼리 그룹을 지어서 자원을 재사용하게 하는 방식도 제안되어 있다.

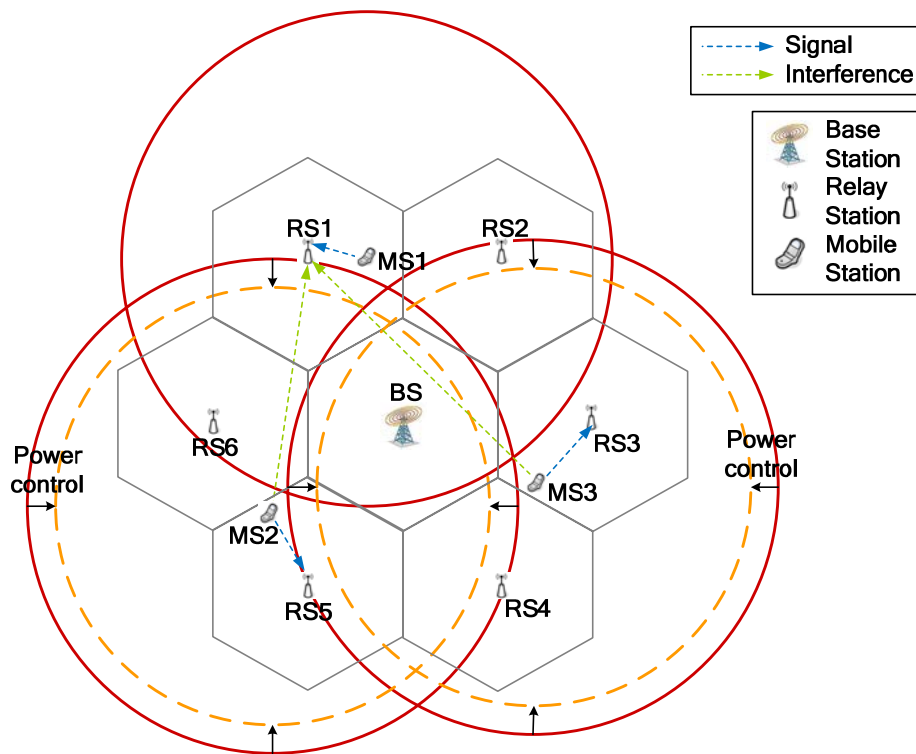
Full spatial reuse 방식의 경우 자원을 최대한으로 사용하지만 낮은 공평성을 가지고 orthogonal allocation 방식은 자원 사용 측면에서 매우 비효율적이다. 따라서 두 가지 방식의 단점을 보완하여 상대적으로 높은 평균 데이터 전송률과 높은 공평성을 가지는 하이브리드 타입의 자원 관리 방식이 필요하다.

3. 제안 방식

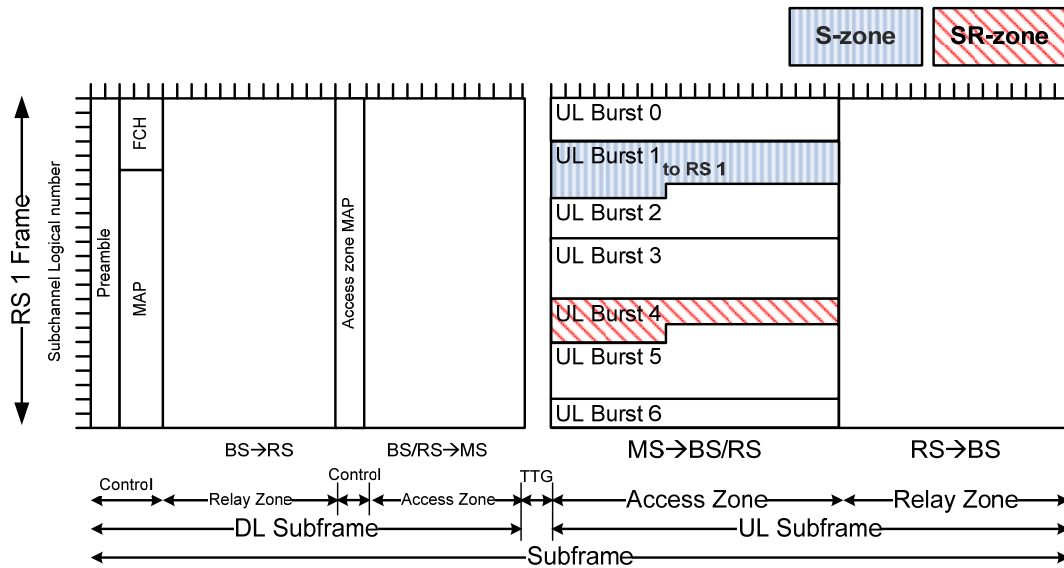
릴레이가 있는 셀룰러 시스템 상향링크에서 데이터 전송 중 단말이 전송을 하게 되는 액세스 구간은 공간적으로 멀리 떨어져 있는 단말들 간에 의해서 재사용될 수 있는 여지가 있다. 하지만 무조건적으로 기지국과 릴레이들에게 여러 개의 단말이 동시 전송을 한다면, 심한 간섭을 야기하기 때문에 오히려 시스템의 성능이 낮아질 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 같은 자원을 사용하는 기지국과 릴레이들이 받는 간섭을 허용치 이하로 유지시키는 단말들을 선택하여 추가적인 상향링크 전송을 하는 효율적인 공간재사용 알고리즘을 제안한다.

3.1. 공간재사용 예시

<그림 1> 은 하나의 기지국에 여섯 개의 릴레이가 배치된 시스템에서의 공간재사용 예시를 나타낸다. MS1 이 RS1 에게 전송을 한다고 했을 때, MS2 및 MS3 등의 단말도 보낼 데이터가 있다고 가정한다. 그림의 원은 단말이 릴레이 또는 기지국에 최대 송신 전력으로 상향 링크 전송을 한다고 했을 때 간섭을 미치는 영역이라고 가정한다. 이 영역 안에 상향 링크 전송을 받는 다른 릴레이 또는 기지국이 있다면 심한 간섭을 받게 되어 성공적으로 전송을 할 수 없게 된다. 그림에서 보면 RS1 과 RS3 이 공간적으로 멀리 떨어져 있어서 MS3 이 RS3 에 전송을 하는 것은 RS1 에게 간섭을 그다지 미치지 않는다. 반대로 기존의 MS1 이 RS1 에 전송을 하는 것도 RS3 에게 간섭을 그다지 미치지 않기 때문에 재사용이 가능하다. 하지만 MS2 가 RS2 에 전송을 하는 것은 RS1 에게 심한 간섭을 미치기 때문에 동일한 자원을 재사용할 수 없다. 이 때 추가적으로 단말의 전력제어를 통해 송신전력을 줄임으로써 상향 링크 전송을 받고 있는 다른 릴레이 또는 기지국에 미치는 간섭의 양이 허용치 이하가 되도록 제어할 수 있다. 이를 통해 RS1 에게 간섭을 그다지 미치지 않고 MS2, MS3 모두 추가적으로 재사용할 수도 있다.



<그림 1> 공간재사용 예시



<그림 2> 제안 방식의 프레임 구조 예시

3.2. 제안방식의 프레임구조

<그림 2> 는 제안 방식의 프레임구조 예시를 나타낸다. 기존 방식의 프레임구조에서 액세스 구간을 스케줄링 구간 (scheduling zone: S-zone) 과 공간재사용 구간 (spatial reuse zone: SR-zone) 으로 나누고 S-zone 에서는 기존의

orthogonal allocation 방식과 동일하게 스케줄링을 수행한다. 할당 받지 않은 SR-zone 에서는 기존에 상향 링크 전송을 받고 있는 릴레이 또는 기지국에 미치는 간섭을 허용치 이하로 유지시키는 단말들만을 추가로 공간재사용 시켜준다.

예를 들면, <그림 1> 에서 RS1 같은 경우 UL Burst1 은 RS1 을 위해 예약된 영역으로 RS1 에 속한 단말들을 대상으로 스케줄링을 수행하고, 나머지 자원 중에서 SR-zone 으로 할당 받은 UL Burst4 같은 경우는 다른 릴레이에서 S-zone 으로 사용하는 자원이지만 간섭을 거의 미치지 않는 조건 하에서 공간재사용을 허용한다.

3.3. 제안 방식의 알고리즘

먼저 시스템 변수들을 정의한다. $i \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$ 는 infrastructure 를 나타내는 변수로서, 0 이면 기지국을 의미하고 1 부터 N 사이의 값이면 해당 릴레이를 의미한다. K 는 셀 내에 있는 전체 사용자들의 집합이고, K_i 는 infrastructure i 에 속한 사용자들의 집합이라고 하자. 이 때 모든 사용자가 모든 릴레이 또는 기지국 중 단 하나에 association 되어 있다고 가정한다. 그리고 $r_k(t)$ 는 시간 t 에 사용자 k 가 얻을 수 있는 순간 데이터 전송률, $R_k(t)$ 는 시간 t 까지 사용자 k 가 받은 평균 데이터 전송률로 정의한다. $g_{k,i}$ 는 사용자 k 가 infrastructure i 로부터 받는 단위 전력당 평균 채널세기이다. p_k 는 사용자 k 의 송신 전력이고 p_k^{\max} 는 사용자 k 의 최대 송신 전력이다. $SINR_k(p_k)$ 는 사용자 k 의 송신전력이 p_k 일 때의 SINR 이고 $SINR_k^{\min.req}$ 는 수신 단에서 수신 데이터를 성공적으로 복조하기 위해 요구되는 최소 요구 SINR 이다. 마지막으로 I^{\max} 는 제안 방식의 최대 허용 간섭치이다.

제안 방식의 알고리즘은 크게 두 부분으로 나뉘는데, 첫째는 기지국에서 셀 내의 릴레이 또는 기지국에 자원을 할당하는 기지국의 UL Burst 스케줄링 부분이고 두 번째는 할당 받은 UL Burst 를 릴레이 또는 기지국이 그에 속해 있는 어떠한 단말들에게 나누어줄 지에 관한

릴레이 또는 기지국의 스케줄링 및 공간재사용 부분이다.

3.3.1. 기지국의 UL Burst 스케줄링

공간재사용할 사용자를 결정하기에 앞서 기지국에서 UL Burst 자원 영역에 대한 스케줄링을 수행한다. 먼저 S-zone 을 릴레이 또는 기지국에게 독립적으로 할당한다. 그 다음 자원이 더 필요한 릴레이 또는 기지국이 있다면, SR-zone 으로 사용될 수 있는 UL Burst 를 추가로 할당한다. 이 때 추가적으로 재사용될 SR-zone 은 다른 릴레이 또는 기지국에게는 S-zone 이다. 따라서 S-zone 으로 사용하는 릴레이 또는 기지국에게 적은 양의 간섭을 주기 위하여 공간적으로 되도록 멀리 떨어져 있는 단말부터 선택하도록 하는 방식이 필요하다. SR-zone 에 최대 몇 개의 릴레이 또는 기지국을 할당해주는지에 따라 제안방식의 성능이 달라질 수 있다.

3.3.2. 릴레이 또는 기지국의 스케줄링 및 공간재사용

먼저 S-zone 의 경우는 기존 orthogonal allocation 방식과 동일하게 독립적으로 스케줄링을 수행한다. 스케줄러에 별다른 제약조건은 없으며 어떠한 기존 스케줄러도 사용될 수 있다. 본 논문의 시뮬레이션에는 다음과 같은 Proportional fair scheduler 를 사용하였다 [9].

$$k^*(t) = \arg \max_{k \in K_i} \frac{r_k(t)}{R_k(t-1)}, \forall i = 0, 1, \dots, N \quad (1)$$

만약에 선택된 사용자가 S-zone 을 모두 채울 만큼의 데이터가 없으면, 그 다음으로 $r_k(t)/R_k(t-1)$ 값이 높은 사용자가 이어서 자원을 사용하도록 하여 결국엔 모든 자원을 다 사용하도록 한다. 이제 SR-zone 자원 영역 중 일부분에 공간재사용 시킬 수 있는 사용자 후보를 결정한다. 먼저 앞 단계에서 스케줄링을 했음에도 불구하고, 아직 보낼 데이터가 남아 있는 사용자가 있는 지를 체크한다. 사용자가 없으면 바로 공간재사용을 끝내고, 있다면 SR-zone 의 자원이 남아있는 지를 체크한다. 마찬가지로 자원이 없으면 더

이상 공간재사용을 할 수 없으므로 종료한다. 보낼 데이터가 남아 있는 사용자가 있고 SR-zone 의 자원이 남아 있는 경우에, 사용자 및 자원 선택은 다음과 같이 결정한다.

- 사용자 선택 방식: 보낼 데이터가 남아 있지 않은 사용자는 제외시키고, 보낼 데이터가 남아 있는 사용자들은 수식 (1) 과 동일한 방식으로 스케줄링을 수행한다.

- SR-zone 자원 선택 방식: 내가 사용할 SR-zone 은 다른 릴레이 또는 기지국에게는 S-zone 이다. 따라서 S-zone 으로 사용하는 릴레이 또는 기지국에게 되도록 적은 양의 간섭을 주기 위하여, 나로부터 멀리 떨어져 있는 것부터 선택하도록 한다. 즉, 선택된 사용자에게 대해서 릴레이와 기지국으로의 평균 채널세기를 안다면, 이 신호세기가 약한 쪽의 자원부터 선택하여 사용한다.

$$UL\ Burst\ i^* = \arg \min_{i \in I_{SR-zone}} g_{k,i} \quad (2)$$

여기서 $I_{SR-zone}$ 은 릴레이 또는 기지국에게 할당된 SR-zone 자원 인덱스들의 집합이다.

공간재사용시킬 단말 후보와 자원이 결정되었으면, 마지막으로 이미 자원을 할당 받은 릴레이 또는 기지국에 미치는 간섭이 최대 허용 간섭치 이하인지 다음의 조건을 체크한다.

$$g_{k,i} p_k \leq I_{UL\ Burst\ i^*}^{\max}, \quad \forall i \in I_{UL\ Burst\ i^*} \quad (3)$$

여기서 $I_{UL\ Burst\ i^*}$ 는 같은 UL Burst i^* 를 사용하는 릴레이와 기지국 인덱스들의 집합을 의미한다. 같은 UL Burst i^* 를 사용하는 모든 릴레이 또는 기지국 i 에 대해 단말 k 가 미치는 간섭량인 $g_{k,i} p_k$ 가 간섭 허용치 이하이면 공간재사용하고 최대 허용 간섭치를 넘으면 그 단말은 공간재사용하지 않고 새로운 단말 후보를 택해 위와 같은 과정을 반복한다.

이 때 제안방식의 성능을 결정하는 것은 적절한 최대 허용 간섭치 조건과 몇 명의 단말까지 위와 같은 과정을 반복하는지가 될 것이다. 이는 제 4 장의 시뮬레이션을 통해

자세히 알아본다.

3.3.3. 전력제어 (power control)

단말의 전력제어가 가능하다면 송신전력을 줄여 항상 간섭량이 최대 허용 간섭치 이하로 유지되도록 할 수 있다. 기존의 송신전력으로 3.3.2 에서 수식 (3) 의 조건을 만족하지 못하더라도 전력제어를 통해 송신전력을 줄여주면 수식 (3) 을 만족시켜 재사용에 참여할 수 있다. 아래의 수식 (4) 와 같이 새로운 송신전력을 계산한다.

$$p_k = \min \left[\min_{i \in I_{UL\ Burst\ i^*}} \left(\frac{I_{\max}}{g_{k,i}} \right), p_k^{\max} \right] \quad (4)$$

다른 인프라에 미칠 간섭량의 최대 허용치가 I_{\max} 이므로 같은 UL Burst i^* 를 사용하는 모든 i 에 대해서 $g_{k,i} p_k \leq I_{\max}$ 를 만족해야 한다. 단말은 모든 릴레이와 기지국으로의 평균 채널세기를 기반으로 해서, 다음과 같이 간섭을 거의 미치지 않을 최대 송신 전력을 결정하게 된다.

이 때 계산된 송신전력을 가지고서도 수식 (5) 와 같이 안정적인 서비스를 위한 최소 요구 SINR 이 만족된다면, 공간재사용을 수행한다.

$$SINR_k(p_k) \geq SINR_k^{\min, req} \quad (5)$$

4. 시뮬레이션

4.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 <표 1> 과 같다. 셀내 간섭을 모델링하기 위해 wrap-around 기법 [11] 을 이용해 총 19 개의 hexagonal 셀로 구성된 2-tier 시스템을 생성하였다. 셀 반지름은 $R=1km$ 이고 셀당 70 명의 사용자를 균일하게 분포시켰으며 릴레이는 한 셀당 여섯 개를 배치시켰다. 릴레이 링크는 LOS (line of sight) 가 보장된다고 가정하고 채널의 세기는 path-loss 모델과 표준편차 $\sigma_s = 8dB$ 인 log-normal 분포를 적용한 shadow fading 모델을 적용하였다 [10, 12]. 시스템 대역폭은 10MHz 로, 단말의 최대 송신 전력은

200mW로 설정한다. 재사용을 최대 몇 번까지 허용하는지에 따라서 제안 방식을 나누고 각 방식은 전력 제어를 이용하는 power control type 과 간섭량을 비교하는 방법 중 단말 후보를 최대 몇 번까지 체크하는지에 따라 reuse_try1 type, reuse_try2 type, reuse_try3 type, reuse_try4 type 으로 나뉜다.

4.2. 제안 방식의 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 셀 내 전체 사용자의 평균 데이터 전송률 (average throughput) 과 성능이 좋지 않은 하위 10% 사용자들의 평균 데이터 전송률 (10th percentile throughput) 로 나누어서 비교한다. 10th percentile throughput 은 셀 가장자리 성능을 대변함과 동시에 공평성을 나타내는 지표가 될 수 있다.

<그림 3, 4> 는 최대 허용 간섭치에 따른 제안 방식의 성능을 나타낸다. 제안 방식의 경우 간섭허용치가 너무 작으면, 거리상으로 멀리 떨어져 있어도 간섭조건을 만족시키기 힘들기 때문에 거의 재사용을 하지 못한다. 따라서 거의 재사용을 하지 못하고 이 때 시뮬레이션 결과가 기존 orthogonal allocation 방식의 결과와 동일하다. 이와 반대로 간섭허용치가 너무 크면 거의 간섭조건이 없는 것처럼 항상 재사용을 하게

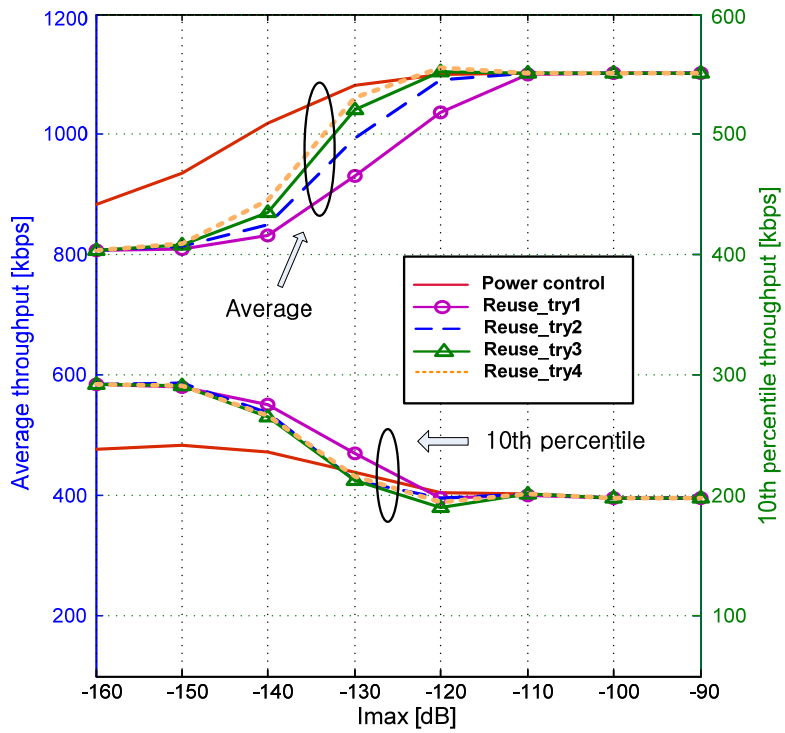
된다.

<그림 3, 4> 에서 제안 방식의 평균 데이터 전송률은 간섭허용치를 키움에 따라 올라가고, 이와 동시에 가장자리 성능이라고 볼 수 있는 10th percentile throughput 은 낮아지는 관계가 있다. 평균 데이터 전송률과 가장자리 성능을 동시에 고려할 경우 적절한 최대 허용 간섭치는 약 -130dB 에서 -110dB 사이라고 할 수 있다. 재사용을 두 번까지 허용했을 때가 전반적으로 평균 데이터 전송률이 조금 더 좋지만 10th percentile throughput 이 낮고 간섭허용치에 매우 민감하게 반응하기 때문에, 실제로 한 번까지 재사용하는 것이 적절한 것으로 보인다.

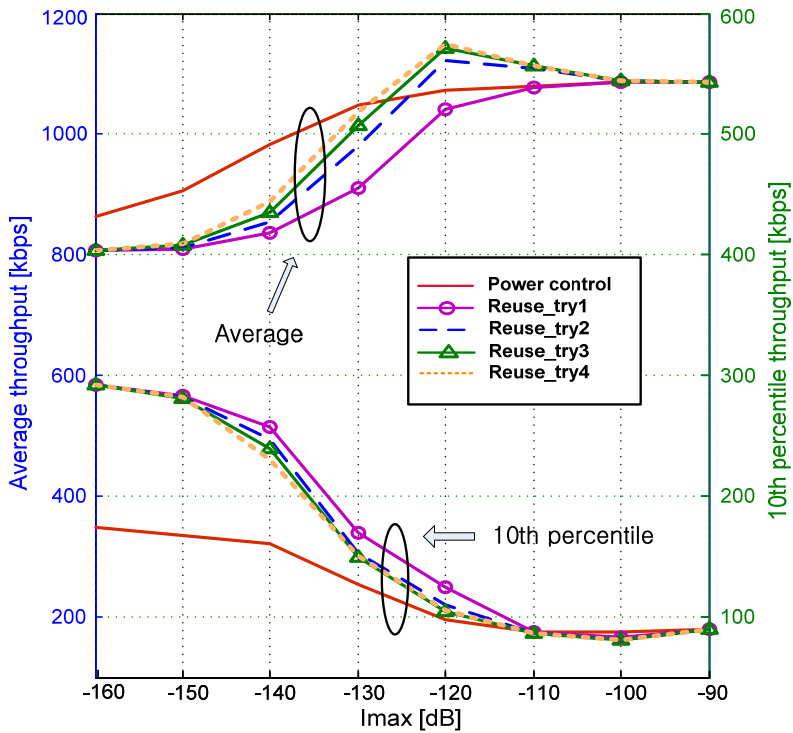
재사용을 한 번까지 허용했을 때 최대 허용 간섭치 I_{max} 가 -110dB 일 경우 평균 데이터 전송률, 10th percentile throughput 모두 상대적으로 높은 성능을 보인다. 또한 단말 후보를 체크하는 횟수를 늘릴수록 데이터 전송률이 조금씩 높아지는데 세 번과 네 번의 차이는 거의 없다. 따라서 단말 후보를 체크하는 횟수는 세 번이면 충분하다고 할 수 있다.

<표 1> 릴레이 시뮬레이션 환경

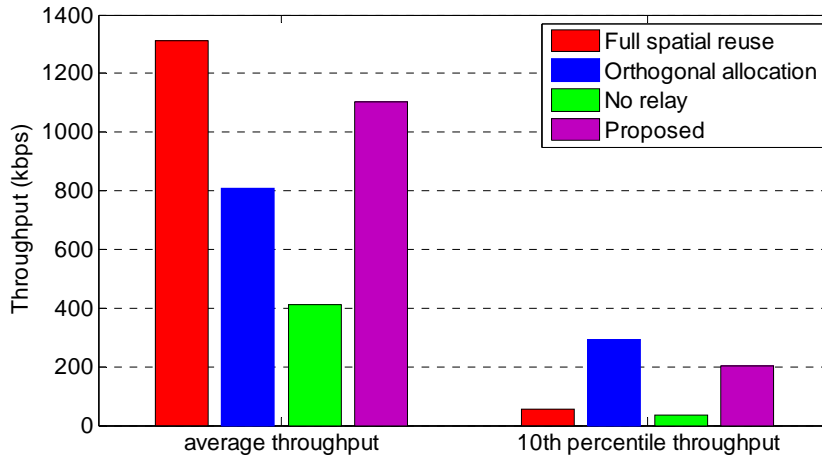
Simulation setting	
Bandwidth	10MHz
Cell layout	19 cells - wrap around
Cell radius / RS configuration	R=1Km / 6 RS per cell, 0.72R (position)
BS/RS/MS power	43dBm/40dBm/23dBm
Sectorization	No
Shadowing	Log-normal (standard deviation = 8dB)
BS-RS Link	Path loss model: Type-D (LOS)
BS-MS, RS-MS Link	Path loss model: Type-E (NLOS) alternative
Scheduling	Proportional fair scheduler
Traffic model	Persistent source (full queue)



<그림 3> 재사용을 한 번까지 허용했을 때



<그림 4> 재사용을 두 번까지 허용했을 때



<그림 5> 기존 방식과 제안 방식의 성능 비교

전력제어의 경우 최대 허용 간섭치가 작을 때도 전력제어를 통해 항상 재사용을 하므로 수식 (3) 을 사용하여 단말 후보의 간섭량을 체크하는 방식보다 평균 데이터 전송률이 조금 좋지만 가장자리 성능은 나빠진다. 또한 최대 허용 간섭치가 커짐에 따라 전력제어를 하지 않고 재사용하는 단말이 늘어나므로 성능은 간섭량을 체크하는 방식에 수렴하게 된다. 전반적으로 성능 차이가 적어 전력제어를 통한 추가적인 이득이 거의 없다고 할 수 있다. 이는 송신 전력이 너무 낮아져서 데이터 전송률이 작아졌기 때문이라고 볼 수 있다.

4.3. 제안 방식과 기존 방식간의 성능 비교

4.2 의 시뮬레이션을 통해 제안방식 중 재사용을 한 번까지 허용하고 최대 허용 간섭치를 -110dB 로 했을 때 가장 좋은 성능을 가짐을 알 수 있었다. 이제 이 제안 방식을 기존 방식들과 비교해보자.

<그림 5> 는 릴레이가 없을 때와 기존 방식 그리고 4.2 에서 선택된 제안 방식의 성능을 비교한다. 제안 방식은 full spatial reuse 의 평균 데이터 전송률의 약 85%, 그리고 orthogonal allocation 의 10 th percentile throughput 의 약 70% 까지 성능을 얻을 수 있다. 또 orthogonal allocation 의 평균 데이터 전송률 보다 약 40% 정도를 더 얻을 수 있으며 가장 자리 성능은

full spatial reuse 보다 약 4 배 정도 높다. 따라서 제안 방식은 릴레이를 도입한 상향 링크 전송에서 기존 방식의 단점을 보완하고 평균 데이터 전송률과 가장자리 성능 모두 좋은 성능을 가진다.

5. 관련 연구

릴레이를 도입함으로써 전송률 증가와 음영 지역 해소 효과가 기대되기 때문에 셀룰러 시스템 표준화 단체와 통신 기업들은 릴레이에 많은 관심을 보이고 있다 [10-12]. 고정된 릴레이가 도입된 셀룰러 시스템에서의 최적의 자원 할당은 NP-hard 문제로 알려져 있고 이에 대해 다양한 연구들이 있어왔다 [13-16]. [13, 14] 는 hexagonal 셀 시스템에서 하향 링크 자원 할당에 관한 연구로써 특정 재사용 패턴을 사용하는 heuristic 방식을 제안하였다. [15] 은 최적의 하향 링크 스케줄링 알고리즘이 NP-hard 문제라는 것을 보이고 최적에 가까운 성능을 보이는 효과적인 알고리즘을 제안한다. [16] 는 릴레이가 도입된 OFDM 네트워크 상향 링크에서 단말의 최소 전송률을 보장하는 새로운 부반송과 할당 알고리즘을 제안한다. 이 논문에서 자원 재사용은 고려하지 않았다. 이 밖에도 [17, 18] 에서는 고정 릴레이가 도입된 hexagonal 셀 시스템에서의 하향

링크와 상향 링크 전송률을 분석하였다.

릴레이가 도입된 셀룰러 시스템에서의 자원 할당에 관한 연구는 대부분 특정한 셀 배치 상황을 가정하고 있어 현실적인 셀 배치 상황에 적용하기 어렵거나 주로 하향 링크 자원 할당 방식에 대한 연구이었다. 또한 상향 링크 자원 할당에 관한 연구는 [16] 과 같이 자원 재사용을 허용하지 않는 방식뿐이었다. 본 논문은 자원 재사용을 허용한 상향 링크 자원 할당에 관한 논문으로써 상호 간에 간섭을 허용치 이하로 제한하면서 공간재사용을 허용하는 효율적인 공간재사용 방식을 제안하였다.

6. 결론

본 논문에서는 릴레이가 있는 셀룰러 시스템 상향 링크에서 효율적인 공간재사용 알고리즘을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안방식의 적절한 최대 허용 간섭치 값과 단말 후보를 체크하는 횟수를 설정하였고 이를 통해서 평균 데이터 전송률과 가장자리 성능 모두에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 또 단말의 전력제어가 가능하다면 추가적인 재사용을 할 수 있으나 전반적으로 볼 때 그 이득은 미미함을 확인할 수 있었다.

시뮬레이션과 달리 실제 시스템에서는 릴레이들이 불규칙적인 위치에 설치될 것인데, 제안 방식은 단말의 채널세기에 기반하여 간섭량을 체크하는 방식이기 때문에 이러한 일반적인 상황에서도 적용이 가능하다는 장점을 갖는다. 뿐만 아니라 제안 방식은 추가적인 오버헤드가 적고 계산이 간단해 시스템 복잡도를 크게 증가시키지 않는 장점을 가진다.

참 고 문 헌

[1] A. So and B. Liang, "Effect of relaying on capacity improvement in wireless local area networks," in *IEEE WCNC*, Mar 2005.
[2] S. Mengesha and H. Karl, "Relay routing and scheduling for capacity improvement in cellular

wlans," in *WiOpt*, 2003.

- [3] C. Hoymann, P. Dallas, A. Valkanas, A. Gosteau, D. Noguét and R. Hoshyari, "Flexible relay wireless ofdm-based networks," in *Funded by European Commission*, 2006.
[4] IEEE 802.16's Relay Task Group , [Online] Available : <http://www.ieee802.org/16/relay/> .
[5] IEEE 802.16 Task Group m (TGM), [Online] Available : <http://www.ieee802.org/16/tgm/>.
[6] IST-4-027756 WINNER II, D3.5.1 v1.0, "Relaying concepts and supporting actions in the context of CGs," <https://www.ist-winner.org/>, Oct. 2006.
[7] IST-2003-507581 WINNER D3.1, "Description of identified new relay based radio network deployment concepts and first assessment by comparison against benchmarks of well known deployment concepts using enhanced radio interface technologies", Oct. 2004.
[8] K. Park and Chung G. Kang, "Relay-enhanced Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," *IEEE ICCCN*, Aug. 2007.
[9] W. Ahn and H. Kim, "Proportional fair scheduling in relay enhanced cellular OFDMA systems," in *IEEE Int. Symp. PIMRC*, Sep 2008.
[10] IST-2003-507581 WINNER D5.4 v1.4, "Final Report on Link Level and System Level Channel Models," Nov. 2005.
[11] J. Zander and S.-L. Kim, "Radio Resource Management in Wireless Networks," *Boston & London: Artech House*, 2001.
[12] A. Goldsmith, "Wireless Communications," *Cambridge University Press*, 2004.
[13] W. Park and S. Bahk, "Resource management policies for fixed relays in cellular networks," *Computer Communications*, 2009.
[14] J. Jeon, K. Son and S. Chong, "Spatial Resource Reuse in the Multi-hop Cellular Networks: Difficulties and Benefits," *IEEE GLOBECOM*, 2008.
[15] K. Sundaresan and S. Rangarajan, "On exploiting diversity and spatial reuse in relay-enabled wireless networks," *ACM MobiHoc*, 2008.
[16] H. Jeong, J. Lee and H. Seo, "Resource Allocation for Uplink Multiuser OFDM Relay

Networks with Fairness Constraints,” *IEEE VTC Spring*, 2009.

- [17] M. Yang and P. Chong, “Uplink capacity analysis for multihop TDD-CDMA cellular system,” *IEEE Transactions on Communications*, 2009.
- [18] S. Baek D. Sung, “Performance Analysis of Cellular-Based Two-Hop Relay Systems,” *IEEE GLOBECOM*, 2007.



이 주 현

2008. 2: KAIST 전기 및 전자공학과 학사.

2008. 2 ~ 현재: KAIST 전기 및 전자공학과 석박통합과정.

관심분야: 다중 셀 네트워크에서의 이동성

관리, 인간 이동성, DTN 네트워크.



손 규 호

2002. 2: KAIST 전기 및 전자공학과 학사.

2004. 2: KAIST 전기 및 전자공학과 석사.

2004. 8 ~ 2005. 7: The University of Texas at Austin 방문 연구원.

2004. 2 ~ 현재: KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정.

관심분야: 다중 셀 네트워크에서의 간섭관리, 교차 계층 최적화, 무선 인지 시스템.



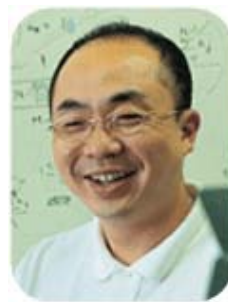
진 정 호

2006. 2: 서강대학교 전자공학과 학사

2008. 2: KAIST 전기 및 전자공학과 석사

2009. 2 ~ 현재: Department of Electrical

and Computer Engineering and the Institute for Systems Research, University of Maryland, Ph.D. course.



정 송

1988. 2: 서울대학교 제어계측공학과 학사

1990. 2: 서울대학교 제어계측공학과 석사

1995. 2: The University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1994~1996: AT&T 벨 연구소 연구원

1996~2000: 서강대학교 전자공학과 교수

2000~현재: KAIST 전기 및 전자공학과 교수

관심분야: 무선네트워크, 미래인터넷, 인간 이동성.