

다중홉 릴레이 시스템에서의 협력 통신

류현석 | 강충구
고려대학교

요약

본 고에서는 셀룰러 이동망에서 다중 홉 릴레이를 도입할 때 셀 경계 및 릴레이 노드의 서비스 영역 경계에서의 서비스 불능 성능을 향상시키기 위한 방안으로서 다이버시티 이득을 제공할 수 있는 협력 통신 방식에 대해서 살펴본다. 협력 통신의 기본 개념과 관련 요소 기술들을 살펴보고, 특히 협력 통신을 고려한 다양한 전송 프로토콜들의 특성을 분석한다. 또한, IEEE 802.16e 규격의 IP-OFDMA 기반 광대역 이동 액세스 망에서 이와 같은 협력 통신을 적용할 때 시스템 레벨의 성능 분석 결과를 고찰하고, 실제 시스템에서의 고려 사항에 대해서 살펴본다.

1. 서론

이동통신망에서 대역 효율성과 커버리지(coverage) 성능은 네트워크의 경제성을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 따라서, 대용량 멀티미디어 서비스의 출현에도 불구하고 저렴한 통신 요금을 보장하기 위해서는 일정한 수준의 서비스 불능 성능을 확보하면서 대역 효율성을 극대화해야 한다. 대역 효율성의 향상을 위해서는 최대 가능한 무선 전송률과 셀 내의 평균 수율(throughput)을 증대해야 한다. 그러나, 지금까지는 무선 OFDM 및 MIMO 기술을 통해 최대 가능한 무선 전송률이 급속히 증가하였으나(예를 들어, 현재 WiBro 서비스에서 최대 전송률은 30Mbps급이며, 4G에서는

100Mbps급을 목표로 하고 있음), 상대적으로 대역 효율성은 그에 비례하는 수준으로 향상되지 못하고 있다. 이는 셀 경계에서의 성능 열화 등에 따라 시스템 전체의 평균 수율(throughput) 성능이 급격히 저하되기 때문이다.

주파수 재사용도 1의 셀룰러 OFDMA 시스템에서는 셀 가장자리에서 신호대 간섭비(Carrier-to-Interference Ratio: CINR)의 열화로 전송률 저하가 불가피하고, 궁극적으로는 서비스 불능(outage)에 의해 커버리지 성능이 제한될 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하고 주파수 재사용 효율을 극대화하기 위한 방안으로 다중홉 릴레이(multi-hop relay: MR) 기반 중계 시스템이 고려되고 있다. 이와 같이 이동통신망에서 릴레이 시스템의 도입을 통해 주파수 재사용 효율의 극대화, 커버리지 성능의 확보(커버리지 확장), 그리고 통신에 필요한 거리를 단축함으로써 단말의 전력 소모 감소 등을 추구하기 위한 Relay-Enhanced Cellular System (RECS) 개념이 IST WINNER Project에서 고려되고 있다[1-3]. 또한, IEEE 802.16 Wireless MAN 표준화 그룹 내에서는 IEEE 802.16j TG를 결성하여 기존 IEEE 802.16e 규격의 IP-OFDMA 기반 이동 액세스 시스템과의 호환성을 유지하면서 다중홉 릴레이의 도입을 위한 규격화 작업이 진행되고 있으며[4], 이는 IST WINNER Project에서 고려하고 있는 RECS의 구체화된 한 형태로 볼 수 있다.

현재 고려되고 있는 MR 시스템에서는 단말(mobile station: MS)과 기지국(base station: BS)간의 직접적인 통신 링크 상태가 좋지 않을 경우에 중계 기능을 수행하는 한 개 또는 다수 개의 전용 릴레이 노드(relay station: RS)를 통해 링크를 확장함으로써 서비스 불능지역(coverage hole)을 커

버할 수 있다. 또한, 이와 같은 서비스 영역의 확대뿐만 아니라, RS 주변에 위치한 단말의 CINR 성능을 향상시킴으로써 수율을 증대시킬 수 있다. MR은 음영 지역을 커버한다는 점에서 이동망에서 사용되는 단순 광중계기(optical repeater)와 유사점이 있지만, 각 RS에서의 사용자별 자원 할당을 중앙에서 제어함으로써 인접 셀에 미치는 간섭을 최소화하면서 주파수 재사용이 가능하도록 하는 지능적인 중계를 수행한다는 점에서 차이가 있다[5]. 그러나, 셀 수율의 증대에도 불구하고, 인접 RS간의 경계에서는 동일 주파수의 재사용으로 인한 인접 릴레이 간의 간섭에 의해 서비스 불능률이 증가하게 된다[5]. 즉, MR을 통한 수율 증대 효과에도 불구하고 RS 커버리지 경계에서의 서비스 불능으로 인해 RECS 시스템 구축의 한계가 예상된다. 본 고에서는 이와 같은 상황에서 다수의 RS 또는 단말들간의 협력적인 릴레이(cooperative relay) 기법을 통해 신뢰성을 향상시킬 수 있는 협력 통신(cooperative communication) 방식에 대해서 살펴보고자 한다.

2절에서는 협력 통신의 일반적인 개념과 시나리오, 그리고 요소 기술을 분류하고, 3절에서는 협력 통신을 위한 구체적인 전송 방식에 대해서 살펴본다. 또한, 4절에서는 실제 IP-OFDMA 네트워크에서 릴레이 노드간의 협력 통신에 의한 시스템 성능에 대해서 살펴보고자 한다.

II. 협력 통신의 개요

본 절에서는 협력 통신의 일반적인 개념과 시나리오, 그리고 협력 통신을 구현하기 위해 고려되어야 하는 요소 기술들에 대하여 알아본다.

2.1 협력 통신(Cooperative Communication)의 개념

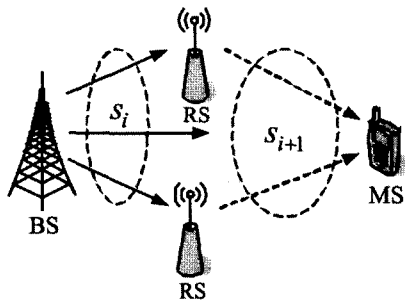
협력 통신이란 “동등한 기능을 갖는 2개 이상의 통신 노드들에 의해 형성된 다수의 경로를 통해 신호를 전달하고 적어도 하나의 경로를 통해서 목적지까지 신호가 중계되며, 이들 다수의 경로들로부터 수신된 신호를 결합하거나 또는 선택하여 전송 정보를 추정하는 통신 방식”으로 정의할 수 있다. IEEE 802.16j에서는 relay station을 이용한 이러한 협력

통신을 고려하고 있으며, 이를 “cooperative relay”라고 정의하고 있다[6]. 예를 들어, 일반적인 단순 중계(simple relay) 통신에서는 MS와 BS간에 직접 통신을 하지 않을 경우에 중간에 위치한 하나 또는 다수 개의 RS를 거쳐 상향 또는 하향 링크로 목적지 노드까지 신호가 중계되는 반면, cooperative relay에서는 송신 노드(하향 링크의 경우는 BS)와 RS 또는 RS들 간의 상호 협력을 통하여 다수의 경로를 통해 신호를 목적지까지 전달한다. 이와 같은 cooperative relay를 통해서 수신단에서는 다이버시티 이득(diversity gain)에 의해 신뢰도를 높이거나 또는 공간적 다중화 이득(spatial multiplexing gain)에 의해 대역 효율성을 높일 수 있다.

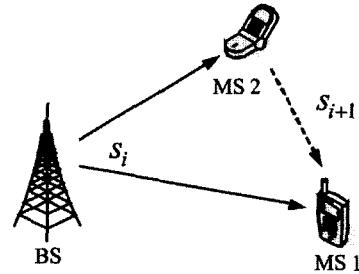
협력 통신의 일반적인 개념은 무선 채널을 통해 전파되는 신호를 주변 여러 노드들이 감지할 수 있는 특성을 최대한 이용하여 성능을 향상 시키고자 하는 것이다. 일반적으로는 RS를 이용한 협력 통신뿐만 아니라 사용자 단말이 상호간에 중계 역할을 수행하는 경우도 고려할 수 있기 때문에 보다 넓은 의미의 협력 통신을 고려할 필요가 있다. 즉, 중계 기능을 수행하는 주체는 별도의 전용 RS가 될 수도 있고, 다른 사용자 노드(MS)가 될 수도 있다.

(그림 1)은 고정 릴레이 노드를 통한 협력 통신 형태(relay cooperation)와 사용자 노드들간의 협력 통신 형태(user cooperation)를 예시한 것이다. (그림 1(a))의 경우에 MS는 BS가 송신한 신호를 직접 수신할 수도 있지만, 다수의 RS에 의해 중계된 동일한 신호를 수신할 수도 있다. 한편 (그림 1(b))의 경우에는 목적지 노드가 MS1일 때, BS가 송신한 신호를 감지한 인접 노드 MS2가 이 신호를 MS1으로 중계하는 협력 통신 형태를 예시한 것이다.

이와 같은 협력 통신은 공간적으로 분산된 노드들이 장착하고 있는 개별 안테나들간에 상호 협력적으로 MIMO 시스템을 구성한다는 관점에서 cooperative MIMO라고 언급되기도 한다[7,8]. 일반적으로 송수신 측에서 다수의 안테나를 동시에 사용하는 point-to-point MIMO 시스템에서 공간 다이버시티 및 다중화 이득을 얻기 위해서는 물리적으로 안테나 간의 간격을 충분히 유지해야 하므로 전력과 크기가 제한적인 이동 단말의 경우에는 실제 구현이 비현실적일 수 있다. 그러나, 협력 통신에서는 다중 안테나의 장착에 따른 복잡도를 유발하지 않고 분산 되어 있는 다수의 단말들(또는 릴레이 노드들)이 협력에 의해 다이버시티 이득을 추구할 수



(a) 전용 릴레이 노드를 이용한 협력 통신



(b) 사용자 단말을 이용한 협력 통신

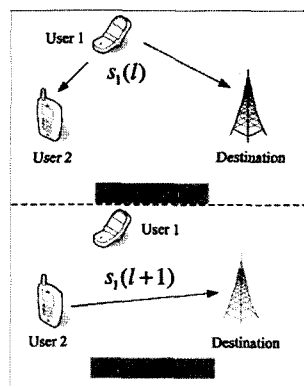
(그림 1) 협력 통신의 형태: 예시

있다[9-13].

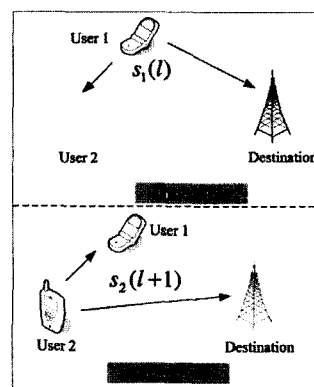
2.2 협력 통신의 시나리오 및 기술적 분류

협력 통신 방식은 중계 역할을 수행하는 노드의 기능과 전송 시나리오에 따라 구분할 수 있으며, 다이버시티와 다중화 이득을 고려한 전송 방식, 그리고 중계 노드에서의 변복조에 따른 시그널링 방식 등을 기준으로 다양한 형태로 분류될 수 있다. 우선, 앞에서 살펴본 바와 같이 협력 통신에서 중계 기능만을 담당하는 전용 노드(예를 들어, multi-hop relay system의 경우에 RS)를 이용한 relay cooperation과 사용자 노드들이 서로 간에 중계 역할을 수행하는 user cooperation으로 구분할 수 있다(그림 1 참조). 한편, user cooperation의 경우에는 특정 사용자 노드가 중계 역할만을

수행하는 단순 사용자 협력 통신(simple cooperative relaying: SCR) 방식[9-13]과 협력 통신에 참가하는 모든 사용자들이 상호간에 송신과 중계 역할을 동시에 하는 상호 사용자 협력 통신(mutually cooperative relaying: MCR) 방식으로 시나리오를 구분할 수 있다[14-16]. (그림 2)는 이들 시나리오에 따른 두 사용자 노드간의 협력 통신 방식을 예시한 것이다. (그림 2(a))는 사용자 1이 사용자 2를 위해 중계 역할을 수행하는 SCR 방식이며, (그림 2(b))는 사용자 1과 사용자 2가 노드 상호간에 송신과 중계 역할을 동시에 수행하는 MCR 방식을 예시한 것이다. (그림 2(b))의 MCR 방식에서 사용자 1은 자신의 데이터 $s_1(l)$ 를 전송할 때 이전에 수신한 사용자 2의 데이터 $s_2(l-1)$ 를 동시에 전송하며, 이 때 동시에 전송되는 심볼을 MCR 심볼이라고 하고 $s_i^*(l)$ 로 나타낸



(a) Simple Cooperative Relay (SCR)



(b) Mutually Cooperative Relay (MCR)

(그림 2) 사용자간 협력 통신 시나리오의 분류

다. 마찬가지로, 사용자 2는 자신의 데이터 $s_2(l+1)$ 와 이전에 수신한 사용자 1의 데이터 $s_1(l)$ 를 동시에 전송하기 위한 MCR 심볼 $s'_2(l+1)$ 을 전송한다. 목적지에서는 이와 같이 2개의 연속된 구간 동안 동일한 데이터를 2번 수신함으로써 다이버시티 이득을 얻게 된다. MCR 방식에서 자신의 데이터를 전송하는 사용자 노드와 이를 중계하는 다른 사용자 노드를 각각 sender와 partner라고 지칭하며, MCR에 참여하는 노드들은 상호간에 sender와 partner 관계를 갖게 된다. MCR 방식에 대한 구체적인 구현 형태는 본 고의 3절에서 상세히 다루도록 한다. 한편, 각 노드들의 상호 협력을 통해 다이버시티 이득 또는 다중화 이득을 추구할 수 있으며, 일반적인 MIMO 시스템에서와 마찬가지로 이들간의 득실관계를 고려할 수도 있다. 이때 릴레이 노드의 역할 및 릴레이 노드의 개수에 따라 다양한 전송 프로토콜이 설계될 수 있으며, 시나리오 별로 다양한 요소 기술들이 결합되어 협력 통신이 수행될 수 있다.

2.3 협력 통신의 요소 기술

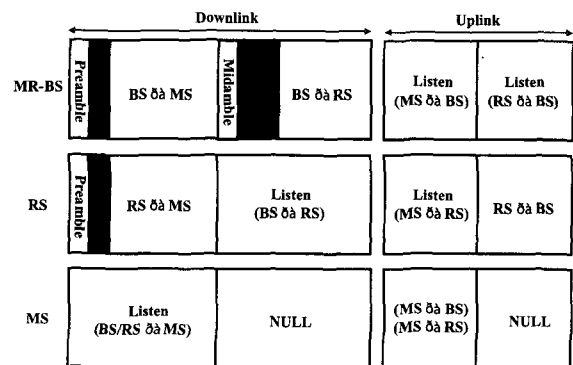
협력 통신은 전송 관점에서 물리 계층의 변복조 및 시공간 부호화가 고려되어야 하며, 동시에 다수의 노드간 협력을 위해 언제 어떤 노드에게 자원을 할당할 것인가를 결정하기 위한 매체접근제어 프로토콜과 무선자원 관리 알고리즘 등이 결합되어야 한다.

예를 들어, 상호 협력에 참가하는 릴레이 노드들이 선택되어야 하고, 시공간적으로 언제 어떤 노드를 통해 무엇을 전송할 것인지를 규정하는 전송 프로토콜(transmission protocol)이 설계되어야 한다. 한편, 주어진 전송 프로토콜에 따라 각 노드에서 중폭 및 변복조에 의한 신호 전달(signaling) 방식이 적용되며, 이때 수신 결과에 따른 feedback의 유무에 따라 각 전송 프로토콜은 기타 요소 기술들과 결합될 수 있다.

• 프레임 구조 및 자원 할당

IEEE 802.16j에서는 셀 커버리지 내의 모든 단말들이 기지국에서 전송하는 제어 정보(예를 들어, MAP 정보)를 모두 수신할 수 있는 transparent 동작과 그렇지 않은 non-transparent 동작으로 구분한다. 예를 들어, 셀 커버리지 확장을 위한 시나리오의 경우에는 non-transparent 형태로 동

작하게 되며, (그림 3)의 프레임 구조를 따른다[17]. 여기서 MR-BS와 RS는 동일한 시점에 preamble과 MAP 정보를 MS로 전송하고, RS는 midamble을 통해 BS로부터 동기를 획득할 수 있다. 또한 RS는 midamble 바로 다음에 위치한 MAP 정보를 통해 프레임 구성 정보를 파악할 수 있으며, 다음 프레임에 전송될 MAP 정보를 BS → RS 링크를 통해 버스트 형태로 수신하도록 한다.



(그림 3) IEEE 802.16j 프레임 구조: Non-transparent Case

자원 할당 방식은 BS → MS, RS → MS 링크에서 주파수 재사용 유무에 따라 overlapped 할당 방식과 orthogonal 할당 방식으로 구분할 수 있다. Orthogonal 할당 방식은 BS → MS 및 RS → MS 링크에서 BS와 RS들이 동시에 서로 같은 부채널(sub-channel)을 통해 MS에게 데이터를 전송하지 못하는 경우에 해당한다. 즉, BS와 RS들이 사용하는 부채널이 서로 직교적인(orthogonal) 경우를 나타낸다. 동일한 셀 내에서 RS들간에 직교적인 할당을 위해서는 모든 부채널은 동일한 부반송파로 구성되어야 하며(즉, 동일한 permutation에 의해 부반송파가 선택됨), 이를 위해서는 RS들 간의 virtual grouping의 개념이 도입되어야 할 것이다 [18].

Overlapped 할당 방식은 주파수 재사용 효율을 높이기 위해 BS → MS와 RS → MS 링크간의 중첩을 통해 동일한 부채널을 사용할 수 있는 할당 방식이다. 한편, BS → RS 링크는 주파수 재사용이 불가능하기 때문에 항상 orthogonal 할당 방식을 적용한다. 자원 할당에 대한 구체적인 예는 4장의 시뮬레이션 모델 부분에서 다루기로 한다.

• 릴레이 노드의 선택 및 라우팅

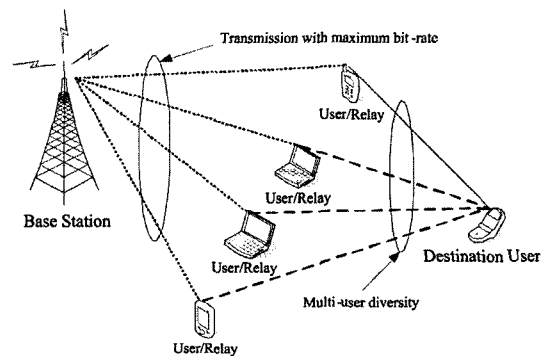
릴레이 노드는 셀 설계에 의해 고정 위치에 설치되는 고정 릴레이 노드와 버스나 기차 등과 같이 이동체에 탑재되는 이동 릴레이 노드로 구분된다. 한편, 협력 통신을 위한 릴레이 노드의 선택 알고리즘은 중앙 집중식과 분산식으로 분류할 수 있다. 예를 들어, 고정 릴레이 노드를 사용하는 이중홉 릴레이의 경우에는 기지국이 릴레이 노드를 선택하게 되며, 이때 송신 기지국으로부터 거리 또는 경로 손실이 가장 작은 릴레이를 선택하거나, 또는 신호대 간섭비가 가장 큰 릴레이를 선택하는 방식이 있을 수 있다. 거리 기반의 노드 선택 알고리즘은 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 쉽게 구현될 수 있는 반면에 shadowing과 다중 경로 페이딩을 고려하지 않으므로 정확도가 가장 떨어진다. 반면, 신호대 간섭비 기반의 릴레이 노드 선택 방식은 정확도가 높은 대신에 채널 측정 정보에 대한 시그널링(signaling)으로 인한 오버헤드가 많은 단점이 있다[19].

한편 네트워크 토폴로지(topology)를 알지 못하고(예를 들어, 릴레이 노드가 사전에 결정되어 있지 않은 경우) 자신 주변에서의 순시 채널 상태만을 이용하여 가장 좋은 릴레이를 선택하기 위한 분산식 접근 방식을 고려할 수 있다[20]. 이 경우에는 각 노드들이 무선 LAN에서의 유사한 RTS/CTS handshaking 과정을 통해 자신에 의해 릴레이되는 경로상의 종단간 순시 채널 상태를 측정하고, 그 값에 반비례하도록 자신의 타이머를 설정하고 동작시킨다. 즉, 이때 종단간 순시 채널 상태가 가장 좋은 노드의 타이머가 가장 먼저 만기되고, 자율적으로 이 노드가 릴레이 역할을 하게 된다. 이 노드의 타이머가 만기되면 자신의 존재를 알리는 flag를 전송하고, 수신된 신호를 목적지 노드로 중계한다.

한편, CTS 수신 후에 주변의 다른 노드로부터 자신의 존재를 알리는 flag를 수신하거나 또는 데이터 전송을 인지하게 되면 각 노드는 자신의 타이머를 종료시키고 backoff를 수행하게 된다.

채널 상태가 다른 다수의 사용자들이 존재하는 경우에 릴레이 노드를 거치면서 전송률과 다중 사용자 다이버시티 이득을 동시에 극대화할 수 있는 기회적 노드 선택 방식을 고려할 수 있다. 그림 4에서 예시한 것과 같이 기지국은 첫 번째 단계에서 하향링크를 통해 최대 전송률로 전송하고, 중간에서 이를 오류 없이 수신하는 단말들이 자율적으로 릴레이

이 노드 역할을 하게 된다. 그리고 이 노드들 중에서 목적지까지의 채널 상태가 좋은 단말을 통해 두 번째 단계의 전송을 수행한다. 이와 같이 다수 사용자간에 두 단계에 걸쳐 기회적으로 협력하여 릴레이를 하는 방식을 Cooperative Induced Multi-user Diversity Relaying (CIMDR)이라고 하며 [21], [20]에서 고려한 분산형 릴레이 노드 선택 방식의 또 다른 구현 형태로 볼 수 있다.



(그림 4) Cooperative Induced Multi-user Diversity Relaying (CIMDR)

• 전송 프로토콜

협력 통신에 참여하는 노드들이 결정되면, 언제 어떤 노드를 통해 데이터 심볼을 전송하게 될 것인지를 관장하는 프로토콜이 요구된다. 즉, 전송 프로토콜에 따라 언제 어떤 노드들에 의해 전송이 이루어질 지가 결정된다. 앞에서 언급한 바와 같이 단순 협력 통신 또는 상호 협력 통신 시나리오에 따라 전송 프로토콜이 구분되며, 협력 통신에 참여하는 릴레이 노드의 개수에 따라 구분되기도 한다. 또한, 전송 프로토콜에 따라 시공간 부호화를 실현할 수 있으며, 이를 통해 다이버시티 또는 공간 다중화를 제공할 수 있다. 상호 협력 통신을 위한 전송 프로토콜은 3절에서 별도로 상세히 살펴볼 예정이다.

• 시그널링 방식

릴레이 노드에서의 시그널링 방식은 중계 과정에서의 복조 및 복호화 여부에 따라 amplify-and-forward (AF) 와 decode-and-forward (DF) 방식으로 구분된다. AF 방식은 송신 노드로부터 수신한 신호를 복조 및 복호화 과정 없이 아날로그 도메인에서 증폭한 후 목적지 노드로 재전송한다.

이 방식은 현재 이동통신망에서 사용하고 있는 중계기(repeater)의 기능과 유사하다. 이에 비해 DF 방식은 릴레이 노드가 송신 노드로부터 수신한 신호를 복조 및 복호화한 후 다시 재변조하여 목적지 노드로 전달한다. AF 방식에서는 릴레이 노드에서의 잡음 증폭에 따른 성능 열화 문제가 다르며, DF 방식에서는 릴레이 노드에서 발생한 오류가 다음 노드로 전파됨에 따른 성능 열화 문제가 발생할 수 있다 [7,9,12,13].

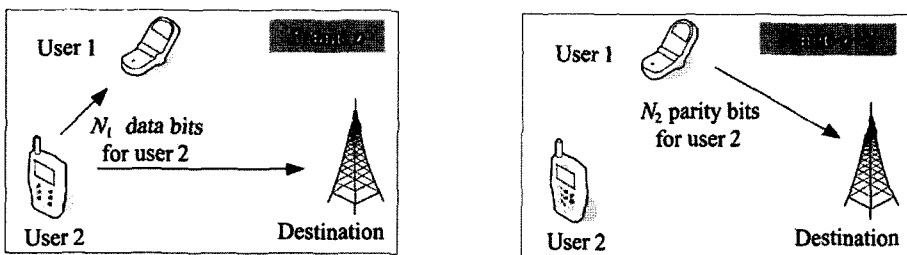
• 분산 오류 제어 기법

사용자 협력 통신 시나리오의 경우에는 오류 제어 기능을 분산적으로 수행할 수 있는 오류 정정 기법을 고려할 수 있으며, 이를 coded cooperation이라고 부르고 있다[22,23]. 일반적으로 DF 시그널링 방식을 사용할 경우, 한 사용자가 전송한 데이터를 수신한 중계 노드는 이를 단순히 복호하고 재부호화하여 반복 전송하게 된다. 반면, 분산 오류 정정 기법의 한 예로서, 사용자가 자신의 데이터 비트만을 전송하고 중간에서 이를 성공적으로 청취한 릴레이 노드가 있으면 그에 대한 패리티 비트를 생성하여 목적지 노드로 대신 전송해주는 방식을 고려할 수 있다. 이를 예시하면 (그림 5)에서 보는 바와 같이, n 번째 프레임에서 사용자2가 자신의 N_1 비트 길이의 데이터를 목적지 노드로 전송하며 이때 사용자 1이 중간에서 엿듣게 된다. 사용자 1은 n 번째 프레임에서 엿들은 사용자 2의 데이터에 대해서 오류를 검출하여, 오류가 없을 경우에는 N_2 비트 길이의 패리티 정보를 생성한다. 사용자 1은 이렇게 생성한 N_2 비트 길이의 패리티 정보를 그 다음 ($n+1$)번째 프레임에서 전송을 한다. 즉, 릴레이 노드에 의해 패리티 정보의 오류가 발생할 확률을 최소화하여 오류

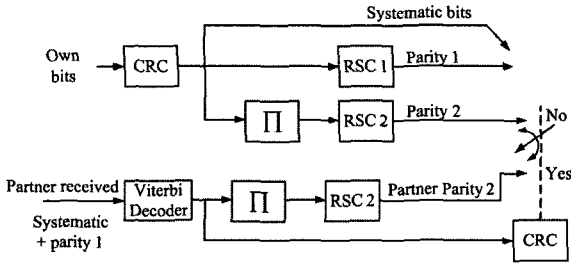
정정 기능을 극대화할 수 있으며 데이터 비트와 패리티 비트가 서로 다른 경로를 통해 전송되어 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 이 분산 오류 정정 기법은 각 사용자와 목적지 노드의 상향 링크 채널과 각 사용자들 사이의 사용자간 채널(inter-user channel)의 품질에 따라 릴레이 노드에서 복호 성공 여부가 달라질 수 있으며, 그에 따라 패리티 정보의 전달 가능한 시나리오가 달라지게 된다[22,23]. 예를 들어, 각 사용자가 서로의 데이터에 대한 복호에 실패한 경우에는 패리티 정보를 생성할 수 없기 때문에 목적지 노드로 직접 전송(direct transmission)한 경우와 동일한 상황이 될 것이다.

한편, (그림 6)은 앞에서 설명한 분산 오류 정정 기술을 코딩을 1/3의 터보 부호화를 통해 구현한 형태를 예시한 것이다[22-24]. 여기서, 각 사용자는 자신의 데이터에 대한 시스템 비트(systematic bits)와 패리티 비트(parity 1)를 전송하고, 이를 성공적으로 수신한 릴레이 노드는 추가적인 패리티 비트(partner parity 2)를 생성하여 전송한다. 따라서, 목적지 노드에서는 2개의 다른 경로를 통해 다이버시티 효과를 갖고 수신된 패리티 비트를 이용하여 터보 복호화를 수행할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 파트너의 정보를 성공적으로 복호하지 못해 패리티 비트를 생성할 수 없을 경우에는 자신의 데이터에 대한 추가적인 패리티 비트(parity 2)를 전송하여 목적지 노드에서 터보 복호화를 수행한다.

HARBINGER (Hybrid-ARQ-based intra-cluster geographic relaying)는 coded cooperation을 일반화한 분산 오류 정정 기법의 한 형태로서[25], 이는 ad-hoc 네트워크 관점에서 제안된 것이다. 송신 노드가 목적지 노드로 전송한 데이터를 다수의 노드들이 엿듣게 되고, 목적지 노드가 복호에 실패할 경우 신호를 엿들었던 노드들 중에서 복호에 성공한 노



(그림 5) 분산 오류 정정 기술



(그림 6) 분산식 Turbo-coded cooperation: encoding

드들이 재전송을 수행하게 된다. 즉, 릴레이 노드를 통해 보다 신뢰성 높은 재전송이 가능하도록 하며, 이와 같이 중간에서 복호를 수행하는 릴레이 노드는 패리티 정보를 생성할 수 있고, Rate Compatible Punctured Convolutional (RCPC) 코드 등을 이용하여 분산적으로 hybrid ARQ를 구현할 수 있다. 이때 다수의 릴레이 노드들이 어떤 순서로 재전송을 할 것인지를 결정해야 하는 릴레이 선택 문제가 있으며, 예를 들어 경쟁 프로토콜에 의해 하나의 노드가 선택될 수 있다. 이 과정을 통해 임의의 한 릴레이 노드가 ACK신호를 전송할 경우 나머지 릴레이 노드들은 송신 노드로부터 수신한 데이터를 버린 후 송신 노드로부터 전송될 새로운 데이터를 수신할 준비를 한다. 목적지 노드는 송신 노드로부터 직접 수신한 데이터와 릴레이 노드로부터 수신한 데이터를 결합하여 복호화를 수행하며, 복호에 성공할 때까지 이 과정은 반복된다.

• 전력 할당

전력 제어를 고려하는 시스템에서 최적의 전력 할당은 전송 프로토콜과 시그널링 방식, 그리고 릴레이 노드의 위치에 따라 달라진다. 예를 들어 3개의 노드(송신 노드, 릴레이 노드, 목적지 노드)로 이루어진 협력 통신 시스템에서 모든 노드에 할당 가능한 전력의 합이 제한되어 있을 때 비트 오류율을 최소화 하거나[13,26] 또는 서비스 불능률을 최소화 하는[27-29] 성능 측정 기준에 따라 각 노드에서 최적의 전송 전력이 달라지게 된다. 그러나, 이동통신망의 경우에는 전송 전력의 합이 제한되는 것이 아니라, 노드별 전송 전력의 최대값이 제한되고 전력 할당에 따라 인접 셀에 미치는 간섭이 달라지므로, 이를 고려한 전력 제어가 이루어져야 할 것이다.

• 기타 요소기술

전송 프로토콜 및 시그널링 방식이 결정되면 그 외의 요소 기술들이 협력 통신에서 결합될 수 있다. 예를 들어, Alamouti 부호화는 노드간 협력을 통해 다양한 형태의 분산식 시공간 부호화로 실현될 수 있다[7,12,30]. 또한, rate adaptation [31,32], gain allocation [33], pre-coding [34], 그리고 협력 통신에 적합한 변조 방식[14-16,35-38] 등도 기타 주요 요소 기술로 고려할 수 있다. 한편, 협력 통신에 참여하는 노드들간의 프레임/슬롯 동기화와 링크별 채널 추정 문제도 함께 고려해야 한다.

III. 전송 프로토콜

본 절에서는 협력 통신을 위한 다양한 전송 프로토콜을 분류하고 그 특성을 알아본다. 실제로 한 프레임은 여러 개의 심볼로 구성되나, 설명의 편의를 위해 심볼 당 전송(symbol-by-symbol transmission)을 고려하여 한 프레임은 한 심볼로 구성되었다고 가정한다.

3.1 단순 협력 통신을 위한 전송 프로토콜

• 전송 프로토콜의 분류

단순 협력 통신을 위한 전송 프로토콜은 릴레이 노드의 개수에 따라 달라질 수 있으며, 또한 이들 전송 프로토콜들은 수신 노드에서 다수의 동일한 심볼을 반복해서 수신하게 되는 다이버시티 방식과 송수신 노드간에 다수의 상이한 심볼을 다른 경로를 통해 다중화해서 전송하는 공간 다중화 방식으로 구분된다. (그림 7)은 릴레이 노드가 1개일 때 하향 링크에서의 다이버시티 이득을 위한 협력 통신 전송 프로토콜을 예시한 것이다. 이때, 목적지 노드에서 2개의 다른 경로를 통해 각각 수신한 후에 결합하는 경우와 동시에 수신하여 결합하는 경우로 구분되며, 이를 각각 Cooperative Receiver Diversity (CRD)[39]와 Cooperative Source Diversity (CSD)[40]라고 명명한다. CRD는 2개 이상의 릴레이 노드가 존재할 경우로도 확장할 수 있으며, 이때 1단계에서 RS들이 수신한 동일한 BS 신호를 2단계에서 동시에 전송함으로써

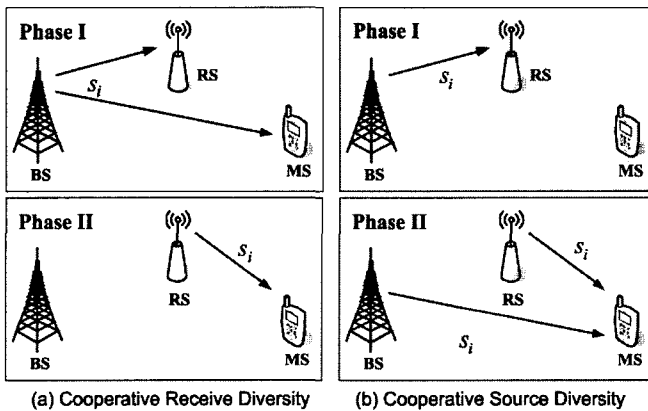
단말에서 이들을 결합할 수 있다. 이들 전송 프로토콜을 MIMO 관점의 전송 행렬(transmission matrix)로 요약하면 <표 1>과 같다. 이 전송 행렬의 각 행은 BS와 RS를 나타내고, 각 열은 시분할 슬롯을 나타낸다.

CRD 전송 프로토콜은 링크의 상태에 따라 선택적으로 중계 여부를 결정할 수 있는 변형된 형태로 구현될 수 있다. 릴레이 노드에서 수신한 신호가 미리 정해진 임계값보다도 큰 경우에만 선택적으로 목적지 노드로 중계를 할 수 있으며, 이 방식을 선택적 중계(selection relaying) 또는 적응적 중계(adaptive relaying)라고 한다[1,9,12]. 한편, 첫 번째 단계(Phase I)에서 목적지 노드가 수신한 신호에 오류가 있을 때 단말이 RS에 재전송을 요청하여 RS가 이전 단계에서 수

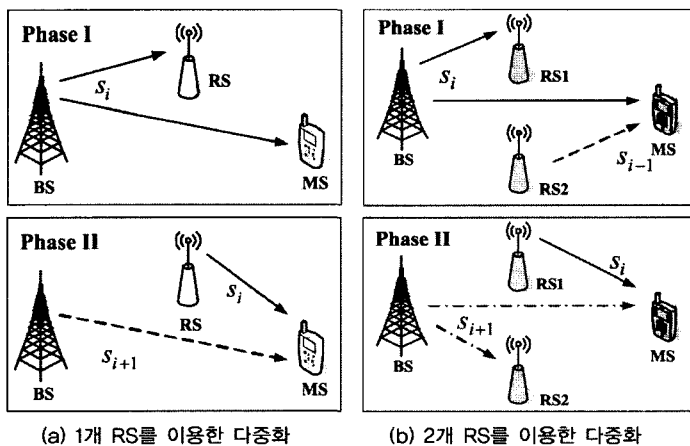
신한 BS 신호를 두 번째 단계에서 목적지 노드로 중계할 수 있으며, 이 방식을 순차적 중계(incremental relay)이라고 한다[1,12]. 한편, (그림 8)은 2개의 단계에 걸쳐서 다른 경로를 통해 2개의 서로 다른 심볼을 다중화하면서 CRD를 혼용한 방식을 예시한 것이며, 이 방식을 Spatial Multiplexing with Receive Diversity (SMRD)라고 명명한다[40]. RS가 1개일 때와 2개일 때의 전송 프로토콜을 전송 행렬로 나타내면 <표 1>과 같다.

<표 1> 전송 프로토콜에 따른 전송 행렬

전송 프로토콜	CRD	CSD	SMRD: 1 RS	SMRD: 2 RS
전송 행렬	$\begin{bmatrix} s_i & 0 \\ 0 & s_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} s_i & s_i \\ 0 & s_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} s_i & s_{i+1} \\ 0 & s_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} s_i & s_{i+1} \\ 0 & s_i \\ s_{i-1} & 0 \end{bmatrix}$



(그림 7) 다이버시티 이득을 위한 협력 통신 전송 프로토콜: RS의 수가 1개일 때



(그림 8) 공간 다중화 이득을 위한 협력 통신 전송 프로토콜

현재 IEEE 802.16j에서는 Cooperative Source Diversity와 Alamouti 부호화를 결합하여 (그림 9)에서 보는 바와 같은 Cooperative Transmit Diversity (CTD) 프로토콜을 고려하고 있다[41]. 이는 하나 또는 두 개의 릴레이를 고려한 경우로 구분할 수 있으며, 각 경우에 대한 전송 프로토콜은 그림 9와 같다. (그림 9(a))의 경우에는 BS에서 Alamouti 부호화가 수행된 후, BS와 RS, 또는 2개의 RS가 공간적으로 분산된 안테나처럼 동작하며 시공간 부호화된 심볼을 전송하게 된다. 한편, (그림 9(b))에서 보는 바와 같이 BS에서만 시공간 부호화가 수행되는 대신에 각 RS를 통해 분산적으로 시공간 부호화가 수행될 수 있다.

• 단순 협력 통신을 위한 자원 할당 및 간섭 분석

협력 통신을 위해서는 일반적으로 중간에 RS를 통한 중계 과정을 위한 별도의 자원 할당이 요구된다. 한편, 2개 이상의 RS들이 협력 통신에 참여하는 경우에는 추가적인 자원 할당이 요구될 뿐만 아니라, 다중 셀 환경에서 이는 인접 셀에 추가적인 간섭 요인이 되기도 한다[42]. 이에 따른 시스템 레벨에서의 성능은 4절에서 구체적으로 살펴보기로 한다. 한편, SMRD 프로토콜

을 지원하기 위한 프레임 구조가 고려되어야 한다. 예를 들어, (그림 8(b))의 SMRD 프로토콜은 현재 IEEE 802.16에서 제시된 프레임 구조 내에서는 지원할 수 없는 반면, WINNER II에서는 효율적인 전송 프로토콜로서 언급되고 있다[1, 3].

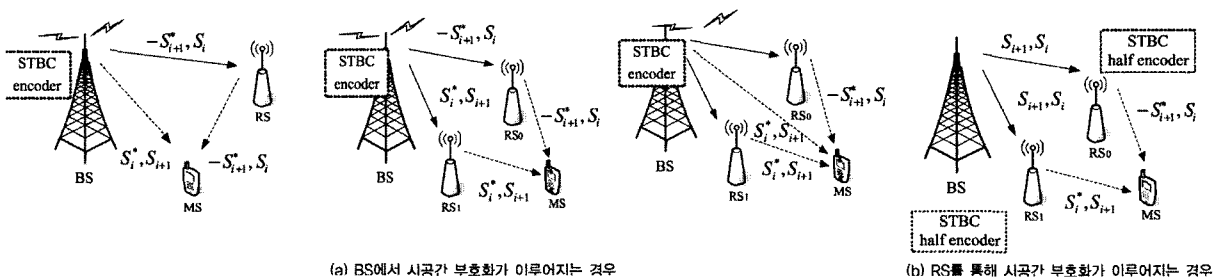
앞에서 언급한 것처럼 CSD 프로토콜은 Alamouti 부호화와 결합하여 분산식 Alamouti 부호화를 실행할 수 있으며, [4]에서는 이를 CTD (Cooperative Transmit Diversity)라 명한다. CTD 프로토콜은 분산식 Alamouti 부호화로 인한 성능 이득을 얻을 수 있으나, (그림 3)의 프레임 구조를 고려할 경우 다중 셀(multi-cell) 환경에서 BS → MS와 RS → MS 링크 사이의 간섭이 심각해질 수 있다. 다시 말해 한 셀에서 RS의 서비스를 받는 MS를 위해 그 셀 내의 BS와 RS는 분산식 Alamouti 부호화를 사용하여 신호를 전송하게 된다. 이때 인접 셀에서 BS에게 직접 서비스를 받는 MS들과 RS로부터 서비스를 받는 MS들에게 간섭을 미치게 된다. 또한 셀 내에서 BS로부터 서비스를 받는 MS들과 RS로부터 서비스를 받지만 분산식 Alamouti 부호화를 위해서 BS로부터 서비스를 받아야 하는 MS들을 위해 (그림 3)의 MR-BS 프레임 구조에서 BS→MS 구간을 분할하여 각각 할당해야 한다. 이러한 추가적인 자원 할당으로 인해 자원의 손실을 가져오게 된다. 반면에 (그림 7(a))의 CRD 프로토콜은 CTD 프로토콜처럼 인접 셀에서의 간섭이나 추가적인 자원의 소모 문제는 발생하지 않는다. 다만 phase I에서 BS-RS의 정보를 overhearing하는 BS → MS 링크와 phase II에서의 RS → MS 링크의 AMC (Adaptive Modulation and Coding) 레벨이 일치하지 않을 수 있기 때문에 실질적으로 시스템 내에서는 MRC (Maximal

Ratio Combining)을 수행하지 못하고 LLRC (Log-Likelihood Ratio Combining)을 사용해야 한다. 이때 RS → MS 링크와 BS → MS 링크의 품질에 따라 LLRC 이득이 결정된다. 일반적으로 RS로부터 서비스를 받는 MS는 BS로부터 멀리 떨어진 셀 가장자리 주변에 위치하며, 이에 따라 BS → MS 링크의 품질의 열화로 인해 LLRC 이득이 크지 않을 수 있다.

3.2 상호 사용자 협력 통신(MCR)을 위한 전송 프로토콜

상호 사용자 협력 통신은 그림 2(b)에서 예시한 바와 같이 동일한 목적지를 갖는 두 사용자가 상호간에 sender와 partner 역할을 하면서, 사용자 자신의 데이터와 이전 단계에서 partner가 전송한 데이터를 다중화하여 동시에 전송함으로써 수신 다이버시티 이득을 얻는 방식이다. 이때 각 노드에서 다중화된 심볼을 MCR 심볼이라고 칭하고, 만일 목적지 노드에서 2개 구간에 걸쳐서 수신된 MCR 심볼로부터 각 노드가 전송된 심볼을 검출할 수 있다면 단순 중계 방식보다 대역 효율성이 높게 된다. 즉, 단순 사용자 협력 방식의 경우에는 한 심볼을 전송하기 위해 2개 심볼 구간이 필요하나, 상호 사용자 협력 통신 방식에서는 2개 심볼 구간을 통해 2개 심볼이 동시에 전송될 수 있다. (그림 2)는 TDMA 시스템에서 시분할 슬롯 할당 구조에 따른 단순 사용자 협력 방식과 상호 사용자 협력 방식간의 차이를 예시한 것이다. 여기서 보는 바와 같이 상호 사용자 협력 방식의 대역 효율성은 단순 사용자 협력 방식에 비해 최대 2배가 되는 것을 알 수 있다.

MCR 방식은 다음과 같은 전송 행렬로 나타낼 수 있다.



(그림 9) Cooperative Transmit Diversity

$$s^* = \begin{bmatrix} s_i^*(l) & 0 \\ 0 & s_j^*(l+1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 행과 열은 각각 사용자 ($i, j \in \{1, 2\}, i \neq j$) 와 전송 시간 ($l, l+1$)을 나타내고, $s_i^*(l)$ 은 사용자 i 가 시간 l 에 전송하는 MCR 심볼을 나타낸다. 이때 MCR 심볼을 구성하는 방법에 따라 성능이 달라지며, 현재까지 orthogonal signaling, superposition modulation, spatial coordinate-interleaving을 이용한 3가지 다른 형태의 접근 방식이 제시된 바 있다. 시간 l 에 사용자 i 에 의해 전송되는 심볼을 $s_i(l)$ 이라고 할 때, 각 방식에 따른 MCR 심볼의 구성 형태는 다음과 같다.

• Orthogonal Signaling-based MCR [14]

사용자 i 는 자신의 심볼과 자신의 partner인 사용자 j 로부터 이전 시간에 수신한 심볼을 각각 I-phase와 Q-phase로 맵핑(mapping)하여 다음과 같이 MCR 심볼을 구성한다.

$$s_i^*(l) = s_i(l) + js_j(l-1) \quad (2)$$

즉, 이 경우에 MCR 심볼은 I-phase 성분과 Q-phase 성분을 각각 두 사용자가 나누어 사용하므로 대역 효율성이 1/2이 되기 때문에 동일한 채널 환경일 경우 성능 면에서 SCR 방식과 차이가 없다.

• Superposition Modulation-based MCR [15]

사용자 i 는 자신의 심볼과 자신의 partner인 사용자 j 로부터 이전 시간에 수신한 심볼에 대해서 각각 $1-\gamma^2$ 와 γ^2 의 전력을 할당하여 다음과 같이 결합한다.

$$s_i^*(l) = \sqrt{1-\gamma^2}s_i(l) + \gamma s_j(l-1) \quad (3)$$

여기서, γ 는 전력 할당 비율을 나타내는 파라미터로서, 이 값에 따라 2차원 공간에서 사용자들의 신호점들이 다양한 형태로 중첩될 수 있다. 연속된 2개의 수신 심볼로부터 각 사용자의 심볼을 추출하여 최대 우도 결합을 통해 검출한다. [15]에 따르면 이 방식의 MCR을 통해 동일한 대역 효율성을 갖는 SCR 방식에 비해 1.5 - 2dB의 성능을 향상시킬 수 있다.

• Spatial Coordinate Interleaving-based MCR [16]

여기서 $s_i(l)$ 은 사용자 심볼의 신호점들을 θ 만큼 회전시킨 새로운 공간에서 선택된 신호점을 사용하며, 이때 MCR 심볼은 다음과 같이 구성된다.

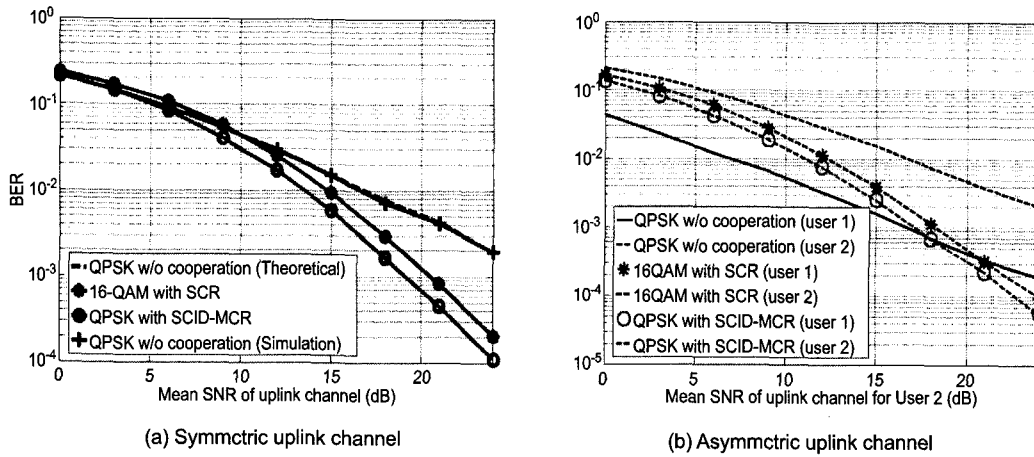
$$s_i^*(l) = s_{i,\theta}(l) + js_{j,\Omega}(l) \quad (4)$$

여기서 $s_i(l) = \text{Re}\{s_i(l)\}$ 및 로서, 각각 MCR 심볼의 I-phase와 Q-phase에 해당한다. 즉, 이전에 수신한 MCR 심볼의 I-phase 성분을 통해 해당 심볼을 추정하고 이를 자신이 전송하고자 하는 MCR 심볼의 Q-phase 성분으로 하고, 자신의 데이터 심볼을 MCR 심볼의 I-phase 성분으로 구성한다. 회전된 신호점 공간에서는 2개의 신호점들이 동일한 I-phase 또는 Q-phase 성분을 가질 수 없기 때문에 I-phase 또는 Q-phase 성분만으로도 각 사용자의 심볼을 검출할 수 있다는 점에서 착안한 것이다. 이때, 이러한 효과를 얻기 위해서는 I-phase와 Q-phase 채널들이 서로 독립성을 가져야 하며, 이 방식에서는 다른 사용자들이 공간적으로 서로 다른 채널을 겪기 때문에 이러한 특성을 가질 수 있다.

(그림 10)의 (a)와 (b)는 사용자간의 채널(inter-user channel)은 완벽하다는 가정하에 각 사용자의 상향 링크의 평균 SNR이 동일한 경우(symmetric uplink channel)와 동일하지 않은 경우(asymmetric uplink channel)에 대한 각각의 BER 성능을 나타낸다. (그림 10(a))에서 보는 바와 같이 각 사용자의 상향 링크 성능이 동일할 때는 동일한 대역 효율성을 유지하면서 SCR 방식보다 SCID 기반 MCR 방식의 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 그림 10(b)는 사용자 1의 상향 링크 평균 SNR이 사용자 2의 상향 링크 평균 SNR보다 10dB가 항상 좋은 경우로서, 한 사용자의 상향 링크 상태가 다른 사용자의 상향 링크 상태보다 충분히 좋을 경우에도 MCR의 다이버시티 이득을 통해 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

IV. 셀룰러 시스템 관점에서 협력 통신의 성능 분석

다중접 릴레이 및 협력 통신을 위한 무선망은 기존의 셀룰



(그림 10) BER 성능 비교: 상호 협력 통신 vs. 단순 협력 통신[16]

러 망과는 달리 한 셀 내에서 RS를 중심으로 여러 개의 sub-cell들이 구성되며, BS와 RS간의 데이터 중계를 위한 전송이 추가적으로 필요하게 된다. 이때 대역 효율성을 극대화하기 위해 RS들이 동일한 무선 자원을 재사용하는 overlap 할당을 고려하며, 이때 sub-cell 경계에서는 인접 RS간의 간섭으로 인해 서비스 불능이 발생할 수 있다. 또한, 다수의 RS가 협력 통신에 참여하기 위해서는 이들 RS에 추가적인 자원할당이 요구되며, 협력 통신 방식에 따라 요구되는 자원이 달라질 수 있다. 또한, 추가적인 자원할당에 따라 인접 셀간의 간섭 등으로 인한 수율 저하 및 서비스 불능률의 증가가 발생할 수 있다.

앞에서 살펴본 협력 통신을 위한 전송 프로토콜들은 주로 링크 레벨을 중심으로 성능 분석이 이루어진 반면, 이러한 전송 프로토콜들이 실제 셀룰러 이동 시스템에서 적용될 경우에 나타나는 시스템 레벨에서의 성능에 대해서도 살펴보고자 한다. 이를 위해 가장 단순한 형태의 전송 프로토콜로서 RS 2개를 사용한 cooperative source diversity (CSD) 방식을 채택하고 IEEE 802.16j 규격을 베이스라인으로 하여 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다.

4.1 협력 통신에 따른 시스템 성능

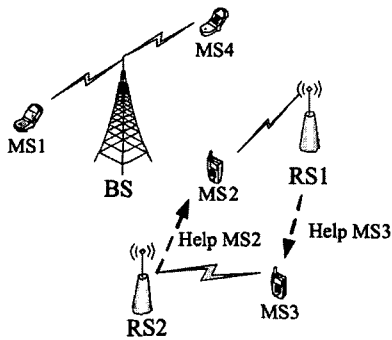
• 시뮬레이션 시나리오

Overlap 자원 할당에 따라 셀 내의 모든 RS는 RS→MS 링크를 위해 동일한 주파수를 공유한다고 가정한다. 셀 내의

모든 MS는 2개의 RS로부터 동일한 신호를 수신하여 결합하는 cooperative source diversity를 사용한다. 즉, 자신이 속한 RS뿐만 아니라 인접한 RS로부터 동일한 신호를 동시에 수신하며, 이를 위해 협력 통신에 참여하는 RS에게는 동일한 데이터 영역이 할당되어야 한다. (그림 11)은 여기서 고려하는 협력 통신의 형태를 예시한 것으로서, MS1과 MS4는 BS, MS2는 RS1, MS3는 RS2를 통해 서비스되고, RS2와 RS1은 각각 MS2와 MS3를 위해 협력 통신에 참가하여 다이버시티 경로를 제공한다. 한편, (그림 12)는 다중홉 릴레이 시스템에서의 프레임 구조에서 협력 통신에 따른 자원 할당 상황을 예시한 것이다. 이때 overlap 할당을 가정하기 때문에 BS → MS 구간은 (그림 12(a))와 같이 할당되고, 이 구간은 그림 12(b)에서와 같이 RS→MS 구간과 중첩해서 할당된다. 또한, RS 1과 RS2가 협력 통신을 하기 때문에 동일한 자원을 RS1 → MS2와 RS2 → MS2 링크(또한, RS1 → MS3과 RS2 → MS3 링크)에 대해서 중첩해서 할당한다(그림 12(b) 및 그림 12(c)). 이와 같이 하나의 MS에 대해서 2개의 링크를 제공하기 위해 추가적인 자원 할당이 이루어져야 하므로 대역 효율성이 감소하거나 또는 추가적인 인접 셀 간섭을 야기하게 되어 수율의 감소로 이어질 수 있다.

한편, 모든 사용자에게 동등한 전송 기회를 주기 위해, 각 사용자가 round robin 방식에 따라 전송 기회를 얻었을 때 자원이 부족하여 할당을 하지 못하게 되는 경우를 최대한으로 배제하고자 액세스 구간과 릴레이 구간의 비율을 가변

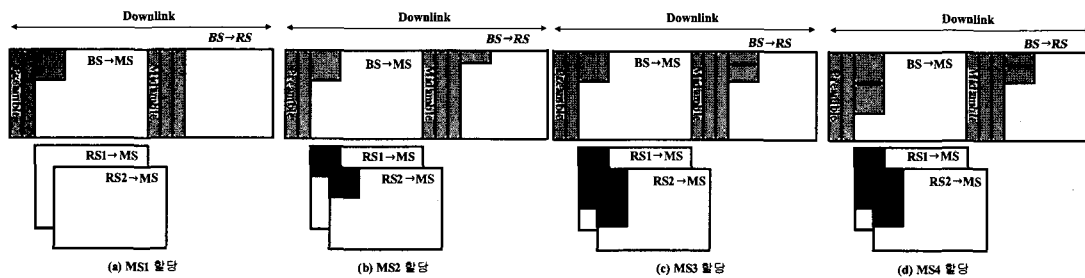
시킨다[45]. 보다 구체적인 시뮬레이션 모델과 상세한 시스템 파라미터 등은 [5]를 참조할 수 있다.



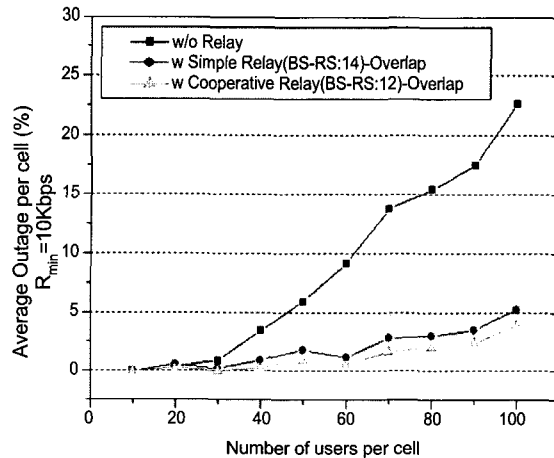
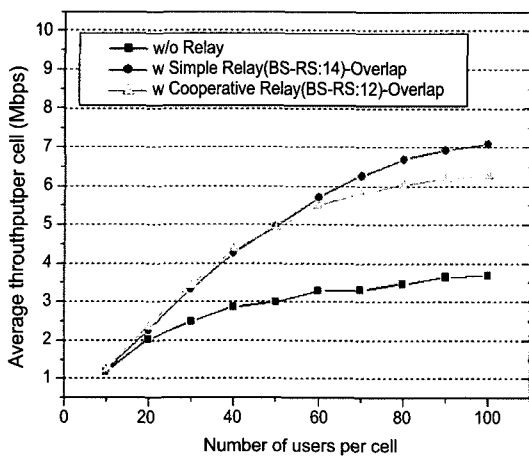
(그림 11) 단순 협력 통신의 망 구성 예시

• 시뮬레이션 결과

(그림 13)은 릴레이를 사용하지 않은 경우, 단순 릴레이를 사용하는 경우, 그리고 CSD 방식의 협력 통신을 사용하는 경우에 대해서 셀 내의 사용자 수를 증가시키면서 성능을 비교한 것이다. (그림 13)에서 보는 바와 같이 릴레이의 도입을 통해 평균 수율과 서비스 불능률 성능이 획기적으로 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나, 여기서 주목할 것은 협력 통신을 통해서 단순 릴레이에 비해 서비스 불능률이 추가적으로 향상될 수 있으나, 평균 수율은 오히려 감소하고 있다는 점이다. 이는 앞에서 지적한 바와 같이 협력 통신을 위해 요구되는 추가적인 자원 할당으로 인해, 이에 따른 자원 효율성이 감소하기 때문이다. 따라서, 여기서 고려된 CSD 방식의 협력 통신은 수율 증대 목적보다는 불능률 성능의 향상을 통한 커버리지 확장에 적합한 수단이 될 것이다.



(그림 12) 프레임 구조 및 협력 통신을 위한 자원 할당의 예시



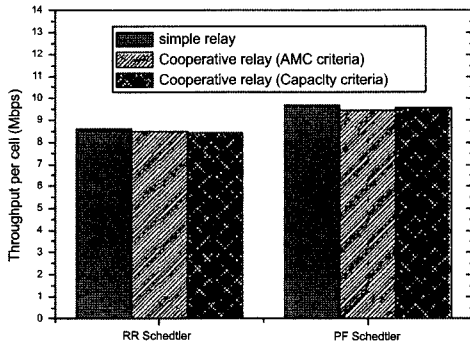
(그림 13) 릴레이 방식에 따른 성능 비교[42]

4.2 선택적 협력 통신에 따른 성능 분석

전 소절에서 살펴본 바와 같이 CSD 방식의 협력 통신은 서비스 불능 성능을 향상시킬 수 있으나 평균 수율을 감소시킬 수 있는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제는 협력 통신을 위해 인위적으로 추가적인 자원 할당이 이루어져야 하기 때문이다. 따라서, 이 문제를 해결할 수 있는 방안은 자원의 인위적인 추가 할당이 연루되지 않는 다른 형태의 전송 프로토콜을 사용하거나 또는 실제 수율 증대를 위해 필요한 경우에만 선택적으로 협력 통신을 적용하는 것을 고려할 수 있다. 전자의 경우에는 매우 제한적인 형태의 전송 프로토콜만이 적용될 수 있기 때문에(예를 들어, (그림 7(a))의 cooperative receive diversity 방식) 실제 적용 가능한 방식이 많지 않다. [45]에서는 협력 통신을 위해 추가적인 자원 할당에도 불구하고 CINR 향상에 의해 수율 증대가 가능한 경우에만 선택적으로 CSD를 적용하는 방식을 제안하고 있다. 이를 위한 선택 기준으로 채널 용량 기준(capacity criterion)과

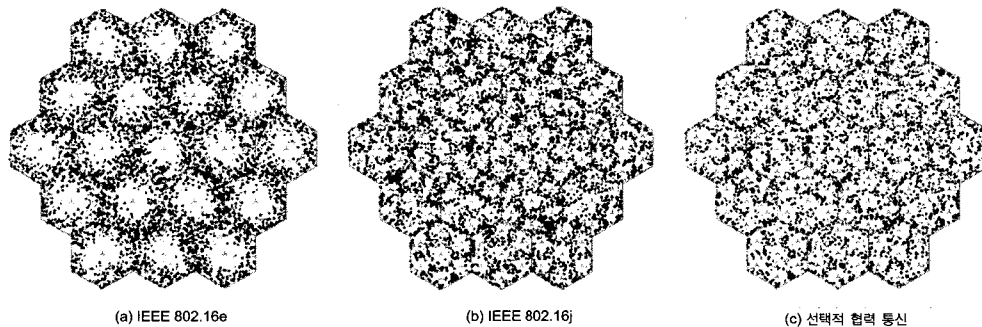
적응 변조 및 부호화 임계값 기준(AMC criterion)을 제시하였으며, 이를 통해 수율의 저하 없이 서비스 불능 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. (그림 14)는 각기 다른 스케줄링 방식(각각 round robin과 proportional fairness scheduling)을 사용하면서 선택적 협력 통신을 적용했을 때 평균 수율 성능을 비교한 것이며, 협력 통신을 적용하지 않은 단순 릴레이 방식과 거의 유사한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 한편, (그림 15)는 릴레이를 사용하지 않은 경우, 단순 릴레이를 사용한 경우, 그리고 CSD 협력 통신을 선택적으로 적용한 경우에 대해서 서비스 불능이 발생하는 단말의 분포를 각각 예시한 것이다. 여기서 단순 릴레이를 적용한 경우에는 RS 경계에 빈번한 서비스 불능이 발생하는 반면, 선택적 협력 통신을 통해 이러한 상황이 상당 부분 제거될 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구



(그림 14) 릴레이 방식에 따른 평균 수율 성능의 비교

본 고에서는 협력 통신의 기본 개념을 소개하고 실제 구현 형태에 따른 협력 통신의 시나리오 및 기술적 분류에 대해 살펴보았다. 또한, 협력 통신을 위한 전송 프로토콜을 포함한 주요 요소 기술들을 고찰하였다. 한편, 협력 통신을 적용한 셀룰러 OFDMA 시스템에서의 성능을 검토하고 시스템 레벨에 협력 통신을 적용 할 경우에 고려해야 할 사항들에 대해 논의하였다. 협력 통신 기술은 분산된 노드(릴레이 또는 사용자) 간의 상호 협력을 통해 다이버시티 및 다중화 효



(그림 15) 릴레이 방식에 따른 평균 서비스 불능 분포의 비교

과를 실현함으로써 수율을 증대하고 서비스 품질을 향상시킬 수 있다. 이는 주파수 재사용 효율을 유지하면서 셀 경계에서의 서비스 불능 성능을 향상시킬 수 있는 방안이 될 수 있다. 이동통신망의 용량 증대와 커버리지 성능의 보장을 염두에 둘 때, 협력 통신 기술은 향후 차세대 이동통신 시스템의 일부로 통합되고 핵심적인 시스템 기술로 자리 잡을 것으로 예상된다. 이와 같은 협력 통신 시스템의 안정적인 운용 및 최적화를 위해서는 셀룰러 시스템간의 셀간 간섭 및 다중 사용자 환경을 고려한 실용적 연구와 표준화 작업이 지속적으로 요구된다. 또한, 전송 프로토콜 위주의 물리 계층에만 국한되어 있던 종래의 협력 통신에 대한 연구 범위를 상위 계층으로 확대하고 계층간 연구를 활성화함으로써 협력 통신 기술의 효용성을 확보하는데 초점을 두어야 할 것이다.



- [1] IST-2003-507581 WINNER D3.1
- [2] IST-2003-507581 WINNER D3.2 ver 1.0
- [3] IST-4-027756 WINNER II D3.5.1 v1.0
- [4] <http://www.ieee802.org/16/relay/>
- [5] 박경미, 장대영, 송승호, 안종국, 임종태, 강충구, "셀룰러 OFDMA-TDD 시스템에서의 광중계기와 무선 다중홉 릴레이의 성능 비교", JCCI, 5월, 2007.
- [6] "Harmonized definitions and terminology for 802.16j Mobile Multihop Relay", IEEE 802.16j-06/014r1.
- [7] R.U. Nabar, H. Bolcskei and F.W. Kneubuhler, "Fading Relay Channels: Performance Limits and Space-Time Signal Design," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 22, no. 6, pp. 1099-109, Aug. 2004.
- [8] S. Cui, A.J. Goldsmith, and A. Bahai, "Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 22, no. 6, pp. 1089-98, Aug. 2004.
- [9] A. Nosratinia, T.E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," IEEE communications Magazine, pp.74-80, Oct. 2004.
- [10] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazahang, "User Cooperation Diversity Part I: System Description," IEEE Trans. Commun., vol.51, no.11, pp. 1927-38, Nov. 2003.
- [11] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazahang, "User Cooperation Diversity Part II: Implementation Aspects and Performance Analysis," IEEE Trans. Commun., vol.51, no.11, pp. 1939-48, Nov. 2003.
- [12] J.N. Laneman, D.N.C. Tse and G.W. Wornell, "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.50, no.12, pp. 3062-80, Dec. 2004.
- [13] J. Boyer, D.D. Falconer and H. Yanikomeroglu, "Multihop Diversity in Wireless Relaying Channels," IEEE Trans. on Commun., vol.52, no.10, pp.1820-30, Oct. 2004.
- [14] V.Mahinthan and J.W.Mark, "A Simple Cooperative Diversity Scheme based on Orthogonal Signaling," Proceedings of IEEE WCNC, vol. 2, pp. 1012-1017, March 2005.
- [15] E.G.Larsson and B.R.Vojcic, "Cooperative Transmit Diversity based on Superposition Modulation," IEEE Communication Letters, vol. 19, no. 9, pp. 778-780, Sep. 2005.
- [16] K.M. Park, H.S. Ryu, H.S. Lee, and C.G. Kang, "Spatially Coordinate-Interleaved Design for Mutually Cooperative Relay Scheme," accepted to Proceedings of ICC, June 2007.
- [17] "Frame Structure to Support Relay Node Operation", IEEE C802.16j-06/233r8.
- [18] "Relay Grouping and PUSC Segment Selection for FCH/MAP Transmission," IEEE C802.16j-06/234.
- [19] H. Hu, "Performance Analysis of Cellular Networks with Digital Fixed Relays," Master's Thesis, Sept. 2003.
- [20] A. Bletsas, A. Khisti, D.P. Reed, and A. Lippman, "A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection," IEEE Journal on Selected Areas in

- Communications, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, March, 2006.
- [21] K. Navaie and H. Yanikomeroglu, "Induced Cooperative Multi-user Diversity Relaying for Multi-hop Cellular Networks," Proceedings of IEEE VTC spring, pp 658-662, 2006.
- [22] T.E. Hunter and A. Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," IEEE Trans. on Wireless Commun. vol. 5, no. 2, pp. 1-7, Feb. 2006.
- [23] M. Janani, A. Hedayat, T.E. Hunter, and A. Nosratinia, "Coded Cooperation in Wireless Communications: Space-Time Transmission and Iterative Decoding," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 52, no. 2, pp. 362-371, Feb. 2004.
- [24] B. Zhao and M.C. Valenti, "Distributed Turbo Coded Diversity for Relay Channel," Electronics Letters vol. 39, no. 10, pp. 786-787, May 2003.
- [25] B. Zhao and M.C. Valenti, "Practical Relay Networks: A Generalization of Hybrid-ARQ," IEEE Journal on Selected Areas in Commun. vol. 23, no. 1, pp. 7-18, Jan. 2005.
- [26] 류현석, 박경미, 이희수, 이효진, 강충구, "상호 협력 통신에서 릴레이의 위치에 따른 최적 전력 할당 및 성능 분석," 2006년 5월, 통신학회
- [27] A. Hst-Madsen and J. Zhang, "Capacity Bounds and Power Allocation for Wireless Relay Channels," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 51, no. 6, pp. 2020-2040, June 2005.
- [28] N. Ahmed, M. Khojastepour, A. Sabharwal, and B. Aazhang, "On Power Control with Finite Rate Feedback for Cooperative Relay Networks," Proceedings of International Symposium on Inform. Theory and its Application, Oct. 2004.
- [29] Y. Cao, B. Vojcic, and M. Souryal, "User-cooperative Transmission with Channel Feedback in Slow Fading Environment," Proceedings of VTC Fall, Sept. 2004.
- [30] T. Miyano, H. Murata, and K. Araki, "Space Time Coded Cooperative Relaying Technique for Multihop Communications," Proceedings of VTC Fall, Sept. 2004.
- [31] E.G. Larsson and Y. Cao, "Collaborative Transmit Diversity with Adaptive Radio Resource and Power Allocation," IEEE Commun. Letters, vol. 9, no. 6, pp. 511-513, Jun. 2005.
- [32] S. Cui, and A.J. Goldsmith, "Cross-layer Optimization of Sensor Networks based on Cooperative MIMO Techniques with Rate Adaptation," Proceedings of Signal Processing Advances in Wireless Communications, pp. 960-964, June. 2005.
- [33] I. Hammerstrom, M. Kuhn, and A. Wittneben, "Impact of Relay Gain Allocation on the Performance of Cooperative Diversity Networks," Proceedings of VTC Fall, pp. 1815-1819, Sept. 2004.
- [34] C.K. Lo, S. Vishwanath, R.W. Heath, Jr., "Rate Bounds for MIMO Relay Channels using Pre-coding," Proceedings of Global Telecommun. Conference, pp. 1172-1176, Dec. 2005.
- [35] P. Tarasak, H. Minn, and V.K. Bhargava, "Differential Modulation for Two-User Cooperative Diversity Systems," IEEE Trans. Commun., vol. 23, no. 9, pp. 1891-1900, Sept. 2005.
- [36] Q. Zhao and H. Li, "Performance of Differential Modulation with Wireless Relays in Rayleigh Fading Channels," IEEE Commun. Letters, vol. 9, no. 4, pp. 343-345, April 2005.
- [37] S. Nagaraj and M. Bell, "A Coded Modulation Technique for Cooperative Diversity in Wireless Networks," Proceedings of Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 523-528, March 2005.
- [38] M.O. Hasna, "On the Capacity of Cooperative Diversity Systems with Adaptive Modulation," Proceedings of Wireless and Optical Communications Networks, pp. 432-436, March 2005.
- [39] H. Ochiai, P. Mitran, and V. Tarokh, "Design and analysis of collaborative diversity protocols for wireless sensor networks," Proceedings of VTC Fall, pp. 4645-4649, Sept. 2004.

- [40] H.S. Ryu, D.S. Kwon, and C.G. Kang, "Transmission Protocol for Cooperative MIMO with Full Rate: Design and Analysis," Proceedings of VTC Spring, April, 2007.
- [41] "Cooperative Relaying in Downlink for IEEE 802.16j," IEEE C802.16j-07/124
- [42] K. M. Park, C. G. Kang, D. Y. Chang, S. H. Song, J. G. Ahn, and J. T. Ihm, "Relay-enhanced Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," submitted for presentation in ICCCN 2007.
- [43] A. Osseiran, "Advanced Antennas in Wireless Communications: Co-located and Distributed," Ph.D. Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2006.
- [44] K. Witrals, "Antenna Diversity for OFDM using Cyclic Delays," Proceedings of VTC Fall, pp. 13-17, Oct. 2001.
- [45] I. W. Kim, E. T. Lim, and C. G. Kang, "System-level Performance of Cooperative Relaying for Mobile Wireless Broadband Services," submitted for presentation in VTC 2007 Fall.

약 력



1999년 고려대학교 전자공학과 학사
 2006년 고려대학교 전파공학과 석사
 2006년 ~ 현재 고려대학교 전기전자공학부 박사과정
 관심분야: 광대역 무선 송/수신 기술, 4세대 이동통신, 시스템 모델링 및 성능 분석

류 현 석



1987년 Univ. of California (San Diego), 전자공학과 학사
 1989년 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 석사
 1993년 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 박사
 1992년 ~ 1993년 (미) Aerospace Corp. 연구원
 1993년 ~ 1994년 (미) Rockwell International 연구원
 1994년 ~ 현재 고려대학교 전파통신공학과/전기전자전파공학 부교수

강 충 구

2000년 ~ 2001년 (미) Center for Wireless Communication, UCSD 방문 교수
 2003년 ~ 현재 TTA PG302 휴대인터넷 프로젝트 그룹 부의장/서비스 및 네트워크 실무반 의장
 2005년 한국통신학회 이동통신연구회 위원장
 2006년 한국통신학회 (상임) 학술이사
 2007년 ~ 현재 한국통신학회 (집행) 학술연구이사
 관심분야: 광대역 무선 송수신 기술, 무선 매체접근제어 프로토콜, 무선 네트워크 Cross Layer Design 기술

