

이동형 소형셀 환경에서의 사이드홀 링크 관리 기술

이창희, 오성민, 권태수, 김지형, 신재승
한국전자통신연구원

요약

이동셀은 최근 급증하고 있는 모바일 트래픽을 수용함과 동시에 사용자 중심의 유연한 네트워크를 구성하기 위한 이동형 기지국이다. 본 고에서는 이동셀의 필요성과 그 개념을 소개하고, 인접한 이동셀 간 데이터 및 제어 정보의 교환을 제공하는 이동셀의 사이드홀 통신을 설명한다. 또한, 이동형 환경을 고려한 사이드홀 링크 관리 기술을 살펴보고 그 연구 결과를 간략하게 소개한다.

I. 서론

최근 이동통신 네트워크의 무선전송 능력이 향상되고 고성능 모바일 스마트기기의 보급이 확대됨에 따라, 정지뿐만 아니라 이동 중에서도 사용자들의 고품질 콘텐츠 수요가 급격하게 증가하고 있다. 이런 추세로, 매년 모바일 트래픽의 양이 폭발적으로 증가하고 있으며, 향후 현재 대비 수백 배에서 천 배에 이르는 모바일 트래픽이 발생할 것으로 전망된다[1][2].

이동통신 네트워크의 용량 증대는 주파수 효율의 향상 및 초광역 주파수의 확보를 통해서 달성될 수 있다. 하지만, 주파수 효율 향상의 기술적인 한계와 확보 가능한 주파수 대역의 한계로 인해, 이동통신 네트워크 용량 향상은 그 정도가 제한적일 것으로 예상된다. 따라서 실내 및 건물의 외벽, 가로등과 같은 시설물에 탑재하여 운영될 수 있는 소형셀을 활용한 네트워크 용량 증대가 현실적인 방안으로 각광받고 있다[3].

소형 기지국은 매크로 기지국과 같은 대용량 기지국에 비해 설치가 간단하며, 설치 장소의 제약이 낮은 덕분에 사이트(site) 확보 및 운영 비용을 절감시킬 수 있는 장점을 갖는다. 하지만 네트워크의 용량 증대를 위한 소형셀 고밀도화는 여전히 네트워크와의 연결을 위한 유선 선로 설치 및 운영 부담이라는 문제를 야기한다. 이를 해소하기 위해 최근에는 밀리미터파 무선 백홀(backhaul) 솔루션을 활용하여 네트워크와 소형셀을 연결하

는 제품이 출시되었다. 하지만, 무선 백홀을 탑재한 소형셀 역시 고정적인 형태라는 특성으로 인해 최근의 트래픽 경향에서 보이는 이동하는 사용자의 트래픽 수요를 효과적으로 지원할 수 없는 고정 인프라의 한계점을 갖는다.

유럽의 대표적인 5G 프로젝트 컨소시엄 중 하나인 METIS 2020은 사용자가 이동 중에, 예를 들어 도보 혹은 차량 안에서, 소비하는 각종 콘텐츠 및 모바일 서비스가 증가하고 있으며, 이런 경향이 더욱 가속화될 것으로 예측하고 있다[4]. 이에 따라 METIS 2020에서는 이동성을 갖는 사용자를 효과적으로 지원하기 위해 Moving Network를 제안하였다[5]. 이 외에도 3GPP 등 여러 국제 표준화 기구에서 vehicle-to-infrastructure(V2I), vehicle-to-vehicle(V2V)와 같은 이동형 네트워크에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 이동셀과 관련된 자세한 국제 표준화 동향은 [6]을 통해 확인할 수 있다. 이처럼, 차세대 이동통신 네트워크는 고정된 인프라의 제약을 벗어나, 위치와 관계없이 네트워크와 사용자를 연결시키고, 사용자가 주변 사용자들과 서비스를 공유하는 근접 SNS(Social Network Service) 환경을 조성하는 것을 목표로 한다.

이와 같은 맥락으로 ETRI에서는 사용자 중심의 차세대 네트워크 모델을 실현하기 위해 무선 백홀 기반의 이동형 소형 기지국인 이동셀을 개발 중에 있다. 이동셀은 사용자와 함께 이동하는 특성을 바탕으로 언제 어디에서든지 직접적인 서비스 제공이 가능하고, 인접한 이동셀과의 직접 통신을 통해 콘텐츠 및 서비스 공유가 가능하다. 따라서 이동셀을 통해 용량, 커버리지 그리고 사용자의 트래픽 요구에 따라 보다 유연한 네트워크를 구성할 수 있다.

본 고에서는 이동셀의 개념과 이동셀 간의 통신을 수행하는 사이드홀 링크의 특징을 설명하고, 사이드홀 링크를 관리하기 위한 요소 기술을 알아본다. 본 고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이동셀의 개념과 사이드홀 링크를 소개한다. 사이드홀 링크의 성능 향상을 위한 관리 기술의 필요성과 각 요소 기술 별 개발 내용을 III장에서 설명하고, IV장으로 결론을 맺는다.

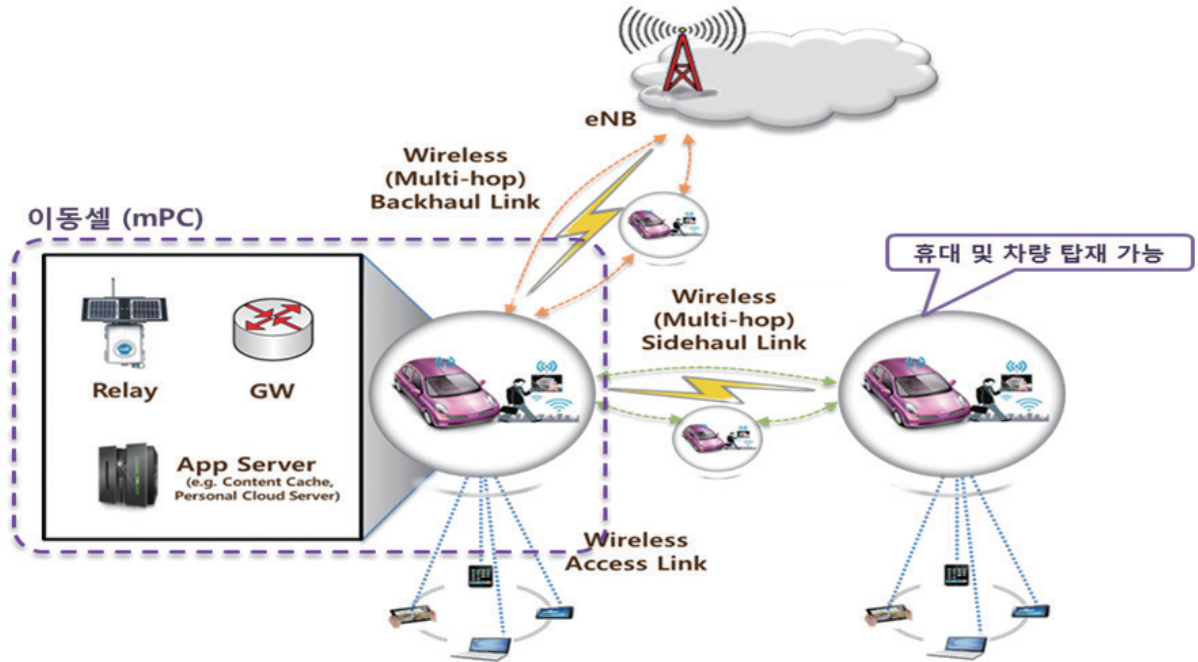


그림 1. 이동셀 기본 개념

II. 이동셀의 개념 및 사이드홀 링크

이동셀은 차량 탑재 및 휴대 등을 통해 이동이 자유롭고, 근접 이동셀과의 사이드홀 링크를 통한 직접 통신이 가능한 초소형 이동 기지국이다. 이동셀은 <그림 1>에서와 같이 자유로운 이동 중에도 네트워크와 통신을 지원하기 위해 상위로는 무선 백홀(backhaul) 링크를 통해 네트워크와 연결되고, 하위로는 액세스(access) 링크를 통해 단말들의 접속을 제공하며, 독자적인 셀(cell) 구성이 가능한 구조를 갖는다. 따라서 이동셀은 이동 백홀 링크를 통해 단말의 지속적인 네트워크 연결을 보장하고, 인접한 이동셀과의 콘텐츠 및 서비스 공유를 위해 사이드홀을 통한 직접 무선 통신 지원한다. 따라서 이동셀은 네트워크 전반적인 용량, 커버리지 그리고 사용자의 트래픽에 따라 유연한 네트워크 구성을 가능케 한다.

실내의 공간에 설치 및 탈/부착이 가능하고, 휴대 및 차량 등에 탑재를 통해 이동이 자유로운 이동셀은 비즈니스 모델 및 활용 용도에 따라 다양한 시나리오를 제공한다. 특히, 최근들어 이동통신과 자동차 기술이 접목된 LTE(Long Term Evolution)-Connected Car 등을 위한 표준화 및 기술개발 요구가 증가하고 있다. 따라서 이동셀은 유연한 네트워크 구성을

통해 포화상태인 이동통신 시장의 돌파구를 여는 비즈니스 모델이 될 것이다.

이동셀의 가장 큰 특징 중 하나는 사이드홀 통신, 즉, 사이드홀을 통한 이동셀 간 직접통신이 가능하다는 점이다. 이동셀은 인접한 이동셀과 사이드홀 링크를 설정하고, 사이드홀 링크를 통해 데이터와 이동셀 간 발생 가능한 간섭 등을 효과적으로 제어하기 위한 제어 정보를 교환할 수 있다. <그림 2>에서처럼, 이동셀은 이동셀에 접속한 단말 사이의 트래픽 혹은 이동셀 자체의 콘텐츠를 네트워크를 거치지 않고 직접 혹은 인접한 이동셀을 통해 제공할 수 있기 때문에 데이터 품질을 향상시킬 뿐만 아니라 네트워크의 부하 또한 경감되는 효과를 갖는다.

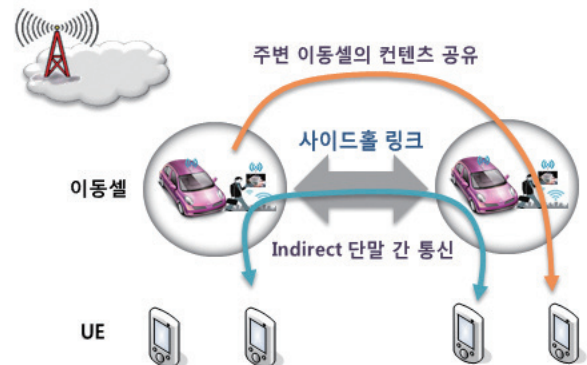


그림 2. 사이드홀 통신 개념

III. 사이드홀 링크 관리 기술

II 장의 이동셀 개념 설명에서 언급한 것처럼, 이동셀은 사이드홀 링크를 통해 인접한 이동셀과 데이터 및 제어 정보를 교환한다. 하지만 이동셀에 따른 이동셀의 분포 변화는 인접한 이동셀의 위치 변화뿐만 아니라 간섭 환경의 변화 등 사이드홀 링크에 다양한 영향을 미친다. 따라서, 비교적 장기적인 링크 관리부터 매우 동적인 링크 관리에 이르기 까지 적절한 사이드홀 링크 관리 기술이 요구된다. 본 장에서는 사이드홀 링크 관리를 위해 다음의 요소 기술을 소개한다.

- 인접한 이동셀의 발견 및 인지를 위한 탐색 기술
- 자원 공유 기반의 사이드홀 링크 자원 할당 기술
- 분산 방식의 사이드홀 전력 제어 기술
- 사이드홀 링크 협력 재전송 기술

이동셀은 인접한 이동셀을 성공적으로 탐색한 후, 발견된 이동셀의 탐색 신호 정보를 기지국에 제공한다. 기지국은 제공받은 정보를 바탕으로 이동셀 사이드홀에 자원을 할당하며, 이동셀은 할당 받은 자원을 통해 사이드홀 통신을 수행한다. 여기서, 이동셀은 잔여 간섭 및 추가적으로 발생 가능한 간섭을 사이드홀 전송 전력 제어를 통해 완화시키며, 재전송 기술을 통해 사이드홀 링크의 신뢰성을 높인다. 사이드홀 링크 관리를 위한 그 전반적인 절차는 <그림 3>과 같다. 본 장의 나머지 부분에서는 이동셀 환경에서의 각 요소 기술 별 필요성과 그 목적을 살펴보고, 연구 결과를 소개한다.

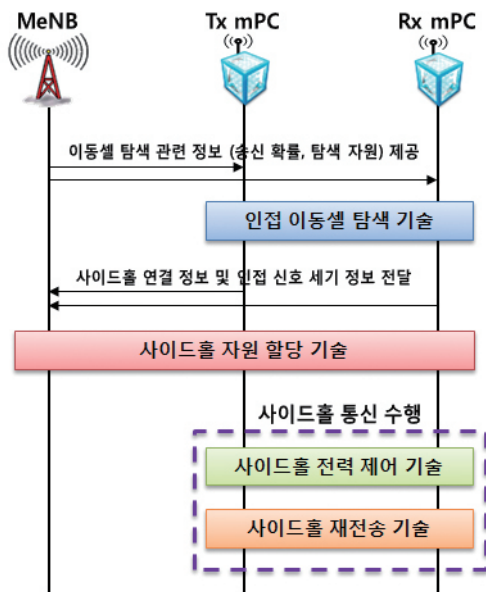


그림 3. 사이드홀 링크 관리 절차

1. 인접 이동셀 탐색 기술

매크로 셀 내에 분포하고 있는 이동셀은 인접한 이동셀과의 사이드홀 링크 형성을 위해 주변에 존재하고 있는 이동셀을 발견하고 인지할 수 있는 탐색 기술을 필요로 한다. 인접 이동셀 탐색 기술은 이동셀 간 사이드홀 통신에서 우선적으로 수행되어야 할 절차이며, 인접한 이동셀에 대한 정보가 없거나 부족한 상태에서 무선 매체를 통한 접속 및 전송 방안을 어떻게 운용할 것인가에 대한 설계를 바탕으로 한다. 본 절에서는 이동셀 환경을 고려한 이동셀 탐색 기술을 살펴본다.

이동셀 간 사이드홀 통신 시, 해당 이동셀은 자신과 사이드홀 통신을 수행할 이동셀을 탐색할 수 있어야 하며, 일반적으로 각 이동셀은 탐색 신호를 방송(broadcast)함으로써 자신의 존재를 인접 이동셀에 알린다. 이동셀 환경의 경우, 특정 이동셀 주변에 분포하는 이동셀들은 해당 이동셀이 방송하는 탐색 신호를 확인하기 전에는 그 이동셀의 존재 여부를 확인할 수 없다. 또한 대부분의 경우 각 이동셀은 주변의 어떤 이동셀이 활성화되었는지에 대한 정보가 부족하다. 따라서, 이동셀은 공용 탐색 자원을 활용한 랜덤 액세스 방식 기반의 탐색 신호를 전송 및 확인함으로써 인접한 이동셀을 탐색한다. 랜덤 액세스 기반의 이동셀 탐색 환경은 <그림 4>와 같다.

종래의 랜덤 액세스 방식에 대한 연구는 다수의 단말이 하나의 기지국으로 접속하는 업링크 상황에 초점을 맞췄으며, 다수의 단말들의 동시 접속 시 랜덤 액세스에 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 의한 성능 저하를 해결하기 위한 연구가 주를 이루었다[7][8]. 기존의 랜덤 액세스의 경우, 앞서 언급한 성능 저하를 해결하기 위해 업링크 방향으로 접속을 시도하는 단말의 접속 확률을 제어함으로써 최적의 접속 방법을 제안했다.

하지만 인접 이동셀 탐색 기술을 위해 랜덤 액세스 방식을 도입하기 위해서 이동셀 환경에 따른 고려사항들이 적절하게 반영되어야 한다. 이동셀 환경에서 모든 이동셀은 탐색 신호의 송수신 과정을 수행해야 하므로 반 이중(half-duplex) 방식으로 동작한다. 따라서, 랜덤 액세스를 기반으로 한 이동셀 탐색 신

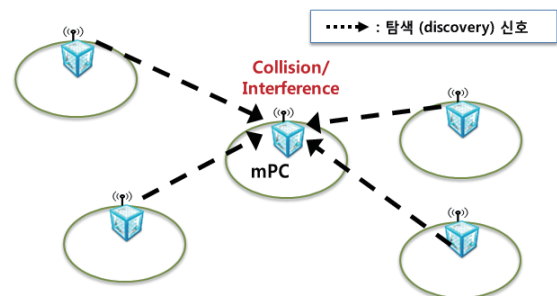


그림 4. 인접 이동셀 탐색 및 인지 환경

호의 송신 확률은 해당 탐색 신호를 수신하는 수신 이동셀의 수 뿐만 아니라, 탐색 신호를 송신하는 인접한 송신 이동셀의 수를 결정한다. 또한, 하나의 이동셀에 수신되는 모든 탐색 신호는 필요한 정보이자 동시에 간섭으로 작용할 수 있다. 즉, 상호 방송(mutual broadcasting) 환경으로 인해, 랜덤 액세스 기반 송신 방식을 특정 이동셀의 성능을 목표로 적응적으로 제어하는 것은 불가능하다. 마지막으로 이동셀은 매크로셀 영역에 분포하고 있기 때문에, 공용 탐색 자원 설정 시 성능 향상을 위한 공간 재사용(spatial reuse) 방법이 고려되어야 한다.

이동셀 탐색 방법의 성능 향상은 다양한 성능 지표에 따라 송신변수를 설계함으로써 달성할 수 있다. 성능 지표는 임의의 이동셀이 탐색할 수 있는 평균 이동셀 수 최대화, 인접 이동셀 발견 확률 극대화, 전체 이동셀의 탐색 신호의 송신 전력 최소화, 그리고 전체 이동셀 중 탐색된 이동셀 수의 확률 분포 등의 다양한 고려가 가능하다. 해당 성능 지표에 따라 랜덤 액세스 기반의 이동셀 탐색 성능을 향상시키기 위한 송신 매개변수로는 탐색 신호의 송신 확률 및 송신 전력 세기 등이 사용될 수 있다. 결과적으로 이동셀의 주변 이동셀 탐색 방법은 특정 지표에 따른 탐색 성능을 개선하기 위해, 단위면적당 평균 이동셀의 수와 같은 이동셀의 공간적 분포 혹은 탐색 자원의 크기를 고려하여 송신 매개변수를 최적화하거나 적응적으로 제어하는 것을 목적으로 한다.

우리는 앞서 언급한 성능 지표에 따른 이동셀 탐색 방법 및 관련 송신 매개변수의 최적화 방법을 제안하였다[9]–[11]. 논문 [9]는 송신 매개변수와 그에 따른 성능 지표의 관계 및 최적화 방법에 대한 전체적인 방법론을 제안하였다. 전체 이동셀 중 탐색된 평균 이동셀 수를 최대화시키는 탐색 신호 송신 확률은 논문 [10]을 통해 제안되었으며, 이 결과는 주변 이동셀의 존재 유무가 중요한 요소로 작용하는 이동셀을 활용한 광고 등의 서비스 시나리오에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 논문 [11]은 이동셀 탐색으로 인한 평균 송신 전력의 합을 최소화시키기 위한 최적화 문제를 제시하였으며, 이를 만족하는 탐색 신호의 송신 확률 및 송신 전력을 도출하였다. 여러 가지 성능 지표를 통해 도출된 이동셀 탐색 방법에 대한 자세한 결과는 [9]–[11]을 통해 확인할 수 있다.

2. 사이드홀 링크 자원 할당 기술

이동셀 간 사이드홀 통신을 수행하기 위해, 기지국은 각각의 사이드홀 링크에 자원을 할당한다. 하지만, 기지국과 이동셀 간 링크와 같은 기존의 연결 방식과는 다르게 이동셀은 인접한 다수의 이동셀과 사이드홀 링크를 연결할 수 있다. 따라서, 매크로셀 내에 존재하는 이동셀의 수가 증가할수록 기지국은 더 많

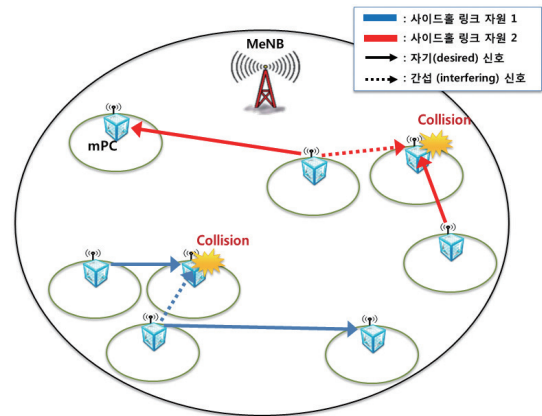


그림 5. 사이드홀 링크 간섭 환경 (1)

은 사이드홀 링크를 위한 자원을 할당하는 방법을 고려해야 한다. 특히, 사이드홀 통신을 위한 자원은 이동셀의 업링크 자원 중 일부분에 한정되어 있기 때문에, 사이드홀 통신을 위해 요청된 자원의 양이 사이드홀 링크에 할당 가능한 자원의 양보다 많은 경우, 이를 효과적으로 관리하기 위한 자원 할당 방법이 필요하다.

할당 가능한 자원의 부족으로 인해 특정 사이드홀 링크에 자원 할당을 하지 않는 경우, V2V 사고 알림/정보 서비스, 실시간 멀티미디어 서비스 등의 낮은 지연이 요구되는 서비스 혹은 사이드홀 링크를 통한 제어 정보 교환과 같은 사이드홀 통신에 치명적일 수 있다. 또한, 이동셀은 주로 인접한 이동셀과 사이드홀 통신을 수행하기 때문에 자원을 하나의 사이드홀 링크에만 할당한다면 매크로셀 전반적인 측면에서의 자원 낭비를 야기한다. 따라서, 본 절은 다수의 사이드홀 링크에 동일한 자원을 할당할 수 있는 자원 공유를 기반으로 한 자원 할당 방법에 초점을 맞춘다.

다수의 이동셀 사이드홀 링크에 동일한 자원을 할당함에 따라 이동셀 사이드홀 링크 간 간섭이 불가피하게 발생한다. <그림 5>는 이동셀 사이드홀 링크간 발생 가능한 사이드홀 링크 간 간섭 및 충돌 상황을 도시화 한 것이다. 따라서 기지국은 자원 공유로 인해 발생할 수 있는 사이드홀 간 간섭을 효과적으로 제어함으로써 사이드홀 링크의 성능을 향상시킬 수 있다.

사이드홀 링크의 성능을 향상시키기 위한 자원 공유 기반의 자원 할당 방법을 알아보자. 이동셀 환경에서, n 번째 사이드홀 링크의 SINR(Signal to Interference-plus-Noise Ratio: 간섭 및 잡음 대비 신호 세기)은 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$SINR_n = \frac{P_{max} g_{n,n}^2}{\sum_{m \neq n} \alpha_m^k P_{max} g_{m,n}^2 + N_o} \quad (1)$$

여기서 $g_{m,n}$ 은 n 번째 사이드홀 링크와 m 번째 사이드홀 링

크 간의 pathloss와 small-scale fading을 고려한 채널이득을 의미하며, α_m^k 은 사이드홀 링크를 위한 k 번째 자원이 m 번째 사이드홀 링크에 할당되었는 지 여부를 나타내는 자원 공유 매칭 변수이다. 이동셀은 최대 전송 전력으로 사이드홀 통신을 수행하는 것을 가정하며, 강한 전송 세기에 의해 발생 가능한 간섭은 다음 절에서 소개될 전송 전력 제어 기술을 통해 해결할 수 있다.

기지국은 각각의 사이드홀 링크 성능이 특정 임계값 이상이 되도록 사이드홀 링크의 신뢰도를 보장하는 한편, 사이드홀 링크의 잠재적인 성능을 고려하여 자원을 할당하는 것을 목적으로 한다. 이 때, 이동셀 사이드홀 링크의 총 용량을 최대화 시키는 최적의 자원 할당 문제는 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{opt} = \arg \max_A \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \alpha_n^k \cdot \log_2(1 + SINR_n) \quad (2)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{n=1}^N \alpha_n^k \leq N$$

$$\sum_{k=1}^K \alpha_n^k = 1$$

$$SINR_n \geq \delta_{th} \text{ for } \forall n$$

하지만, 최적화 문제(2)는 잘 알려진 NP-hard 문제이며, 그 솔루션은 매우 높은 계산 복잡도를 갖는 전역 탐색 알고리즘을 통해 얻을 수 있다.

이동셀 환경에서의 사이드홀 링크 자원 할당 방법은 D2D 시스템 환경에서의 D2D 링크 자원 할당 방법과 밀접한 유사성을 갖는다. D2D 단말이 분포하고 있는 환경에서의 자원 할당 방법을 살펴보면, D2D 단말의 분포를 고려한 자원 할당 방법[12]부터 게임 이론, 그래프 이론 등의 수학적 모델링을 도입한 자원 할당 방법[13][14]에 이르기까지 다양한 연구가 진행되었다. 하지만, 앞서 언급된 D2D 링크를 위한 자원 할당 방법은 매우 높은 계산 복잡도를 가지며, 모든 D2D 링크에 대한 채널 정보를 기지국에 제공하는 것을 가정하고 있다. 따라서 앞서 언급한 결과들은 계산 복잡도 및 피드백 오버헤드 측면에서, 이동셀 환경에 적용하는 데 제약이 따른다.

우리는 본 연구의 일환으로 간섭 회피를 기반으로 한 자원 할당 방법을 제안하였다[15]. 제안한 방법은 인접한 사이드홀 링크에 대한 모든 채널 정보를 기지국에 제공하는 대신, 특정한 개수의 가장 강한 간섭원에 대한 식별자 정보를 기지국에 제공함으로써 피드백 오버헤드를 감소시켰다. 또한, 그래프-컬러링 알고리즘을 도입하여 제공받은 식별자 정보만으로 사이드홀 링크에 자원을 할당함으로써 그 계산 복잡도를 감소시켰다. 그래프-컬러링 이론을 도입한 자원 할당 방법의 자세한 결과는 [15]를 통해 확인할 수 있다.

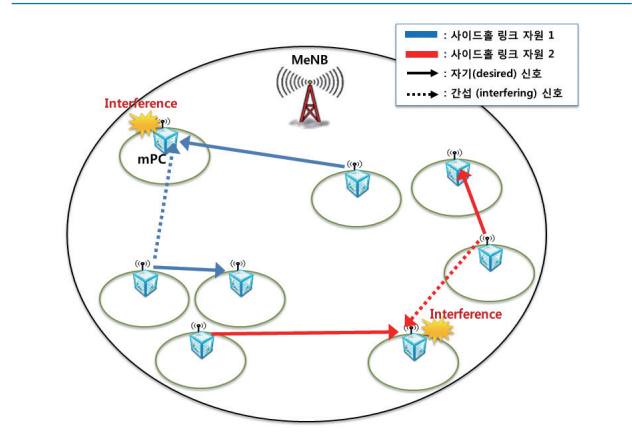


그림 6. 사이드홀 링크 간섭 환경(II)

3. 사이드홀 링크 전력 제어 기술

이동셀은 앞서 소개된 자원 할당 방법을 통해 할당된 자원을 사용하여 사이드홀 통신을 수행한다. 하지만, 이동셀 사이드홀 간 동일한 자원의 공유는 여전히 사이드홀 링크 간 간섭을 <그림 6>과 같이 발생시키며, 그 중 일부는 강한 간섭으로 인해 링크 성능이 급격히 감소하거나 통신 불가 상태에 노출될 수 있다. 간섭 회피를 기반으로 할당된 자원은 이동셀의 움직임에 따른 이동셀의 위치 변화와 그로 인한 간섭 환경의 변화를 동적으로 반영할 수 없으며, 특히 이동성이 큰 V2X 서비스 같은 경우, 사이드홀 링크 간 강한 간섭이 미치는 상황을 증가시킬 수 있다. 따라서, 동일한 자원을 사용하는 이동셀 사이드홀 간 간섭을 효과적으로 완화시키기 위해서 보다 동적인 간섭 제어 방법이 요구된다. 본 절에서는 발생 가능한 사이드홀 링크 간 간섭을 동적으로 제어하면서 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 전력 제어 기술을 살펴본다.

동일한 자원을 할당 받은 사이드홀 링크의 수를 N 이라고 가정했을 때, 사이드홀 링크의 전송 전력을 $\mathbf{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}^T$ 라고 정의한다. 이 때, n 번째 사이드홀 링크의 SINR 수식 (2)는 각각의 사이드홀 링크의 전송 전력 세기를 고려하여 수식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$SINR_n(\mathbf{P}) = \frac{P_n g_{n,n}^2}{\sum_{m \neq n} P_m g_{m,n}^2 + N_o} \quad (3)$$

수식 (3)에서 볼 수 있듯이, 각 사이드홀 링크의 SINR은 자신의 전송 전력 세기뿐만 아니라 동일한 자원을 사용하는 다른 사이드홀 링크의 전송 전력 세기에 의해 결정된다. 이때, n 번째 사이드홀 링크의 전송 전력에 따른 링크 성능을 의미하는 유틸리티 함수(utility function)를 $u(SINR_n(\mathbf{P}))$ 과 같이 정의한다면, 유틸리티의 합(network utility)을 최대화하는 전송 전력의 최적화 문제는 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\max_{\mathbf{P}} \sum_{n=1}^N U(\text{SINR}_n(\mathbf{P})) \quad (4)$$

$$\text{s. t. } 0 \leq P_i \leq P_{\max} \text{ for } i = \{0, \dots, N\}$$

이동셀 환경에서의 사이드홀 링크의 전송 전력 제어 방법 역시 D2D 시스템 환경에서의 D2D 링크의 전송 전력 제어 방법과 밀접한 유사성을 갖는다. 대다수 D2D 전력 제어 관련 논문들은 네트워크의 성능 향상 및 신호 품질 유지를 위해, 중앙 집중식 전력 제어 방식을 제안하였다[16][17]. 여기서 중앙 집중식 전력 제어 방식이란 기지국이 D2D 링크의 전송 전력 세기를 모두 관리하고 직접 할당하는 방식을 의미한다. 하지만, 제안된 전력 제어 방법은 모든 D2D 링크 간 전송 전력 및 채널 정보를 기지국이 제공 받아야 한다는 점에서 그 피드백 오버헤드가 심각하게 발생하며, 이동셀 환경에 도입 시 적합하지 않다.

앞서 언급한 것처럼, 중앙 집중식 전력 제어 방법은 그 오버헤드로 인해 이동셀의 분포 및 사이드홀 링크 간 간섭 환경의 변화를 동적으로 반영하지 못한다. 따라서, 우리는 피드백 오버헤드 등의 실용적인 측면을 고려한 분산 전력 제어 방법을 제안하였다[18]. 여기서 분산 전력 제어 방법이란, 이동셀이 전송 전력 세기를 기지국으로부터 직접 전달 받지 않고, 자신과 사이드홀 통신을 수행하는 이동셀과의 정보 교환을 통해 전송 전력 세기를 이동셀이 직접 결정하는 방법이다. 논문 [18]은 수식 (4)의 최적화 문제를 Lagrangian dual decomposition을 통해 분산 전력 제어 알고리즘을 도출하였다. 도출된 알고리즘은 송신 및 수신 이동셀 간 간단한 피드백 정보의 교환을 통해 인접한 사이드홀 통신에 의한 간섭 영향을 효율적으로 완화시킬 수 있다. 분산 전력 제어 알고리즘의 자세한 결과는 [18]을 통해 확인 가능하다.

4. 사이드홀 링크 협력 재전송 기술

다수의 이동셀이 밀집해 있는 분포를 띠는 경우, 자원 할당 및 전력 제어 방법만으로는 사이드홀 링크 간 발생하는 간섭을 완벽히 제어할 수 없으며, 이동성으로 인한 간섭 환경 및 채널 상태 변화 등으로 인해 사이드홀 링크의 성능이 급격하게 감소하는 상황이 발생할 수 있다. 이와 같은 상황에서는 사이드홀 링크를 통한 성공적인 데이터 전송 확률이 급격하게 떨어지게 된다. 따라서 성공적으로 수신하지 못한 데이터를 위한 재전송 기술이 필요하다.

무선통신에서의 재전송 기법이란 채널 변화 및 간섭에 따른 수신 신호의 오류 확률을 감소시키기 위해 이전 신호와 동일한 혹은 변형된 신호를 다시 전송하는 기법이다. 기존의 기지국과 단말 사이의 재전송 기법을 살펴보면 주로 단일 링크 적응(link

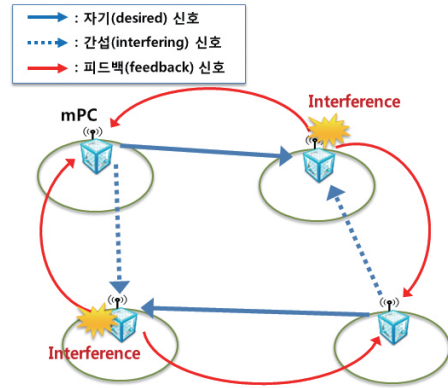


그림 7. 사이드홀 링크 재전송 환경

adaptation) 방식을 사용한다[19]. 즉, 기지국과 단말 사이의 링크만을 고려하며, 기지국 혹은 단말은 피드백 받은 정보를 바탕으로 한 closed-loop 방식 혹은 open-loop 방식을 통해 재전송을 수행한다. 하지만, 이동셀 사이드홀 링크의 경우, 이동셀 환경과 그로 인한 간섭 영향을 효과적으로 고려하기 위해, 인접한 사이드홀 링크의 간섭 영향을 반영한 재전송 방식이 필요하다. 본 절에서는 이동셀간 협력을 통한 사이드홀 링크 재전송 기술을 살펴본다.

인접한 이동셀 사이드홀 링크와의 협력을 위해 본 연구에서 제안하는 사이드홀 링크 재전송 기술은 다중 링크 적응 방식 및 closed-loop 형태의 피드백 방식을 적용하며, 기본적인 시나리오는 <그림 7>과 같다. 여기서 다중 링크 적응 방식이란, 이동셀이 자신의 사이드홀 링크뿐만 아니라 인접한 사이드홀 링크에 미치는 영향까지 고려하여 생성한 신호를 재전송하는 방식이다. 재전송의 기본 원칙은 수신단에서의 성공적인 신호 검출이다. 따라서 데이터를 수신한 이동셀은 수신한 자기 신호 및 간섭 신호를 고려하여 성공적인 신호 수신을 위해 송신 이동셀에 피드백 정보를 제공한다. 송신 이동셀은 자신과 사이드홀 통신을 수행하는 수신 이동셀의 피드백 정보와 자신의 사이드홀 링크에 의해 간섭을 겪은 이동셀의 피드백 정보를 활용하여 재전송 신호를 결정한다.

결과적으로 송신 이동셀은 인접한 이동셀과의 간섭 영향을 고려하여 재전송 신호를 생성하고 전송함으로써 자신과 사이드홀 링크를 형성하고 있는 수신 이동셀뿐만 아니라 자신에 의해 간섭을 겪는 인접한 이동셀이 성공적으로 신호를 검출할 수 있도록 지원한다. 나아가, 수신 이동셀에서의 SIC(Successive Interference Cancellation) 등의 간섭 제거 방식을 활용하여 재전송된 데이터를 조합함으로써 사이드홀 링크 협력 재전송 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

IV. 결론

본 고에서는 이동셀의 개념 및 그 필요성을 소개하였으며, 핵심적인 특징 중 하나인 사이드홀 통신을 살펴보았다. 사이드홀 통신은 근접 이동셀 간 직접 통신으로 이동셀 간 데이터 및 제어 정보의 교환을 제공하는 이동셀의 핵심 요소 중 하나이다. 하지만, 이동형 환경으로 인해 인접한 이동셀의 분포 변화 및 사이드홀 링크 간 간섭이 불가피하게 발생하며, 이를 효과적으로 해결하기 위한 사이드홀 링크 관리 기술이 요구된다. 특히, 본 고에서는 사이드홀 링크 관리를 위한 요소 기술과 그 기술별 연구 결과를 간략하게 소개하였다. 본 고에서 소개된 요소 기술은 다음과 같다.

- 다양한 매개변수를 활용한 인접한 이동셀의 탐색 기술
- 자원 공유를 통해 공간 재사용 이득을 고려한 자원 할당 기술
- 동적인 간섭 제어를 위한 분산 형태의 전력 제어 기술
- 인접 이동셀과의 협력을 기반으로 한 재전송 기술

본 고에서 제안한 사이드홀 링크 관리 기술은 이동셀 간의 효과적인 사이드홀 통신을 가능하게 해주며, 나아가 이동셀을 통해 폭발적인 데이터의 수용 및 유연한 네트워크 구성을 제공함으로써 사용자 중심의 서비스를 실현할 수 있을 것이라 기대한다.

참고 문헌

- [1] Cisco, "Visual networking index," Feb. 2014.
- [2] NTT DoCoMo, "5G Concept and Technologies," IEEE GLOBECOM 2014 Industry Workshop, Dec. 2014.
- [3] Qualcomm, "1000x: More small cells; Hyper-dense small cell deployments," June 2014. <https://www.qualcomm.com/1000x/small-cells>
- [4] METIS 2020 Deliverable D1.1, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system," Apr. 2014.
- [5] METIS 2020 Deliverable D6.2, "Initial report on horizontal topics, first results and 5G system concept," Apr. 2014.
- [6] 신재승, 오성민, 박애순, 송평중, "5G 이동셀 기술 및 표준화 동향," 전자통신동향분석 30권 1호, 2015, 2.
- [7] P. Venkitasubramaniam, S. Adireddy, and L. Tong, "Sensor networks with mobile access: optimal random access and coding," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 22, no. 6, Aug. 2004.
- [8] J.-W. Lee, M. Chiang, and A. R. Calderbank, "Utility-optimal random-access control," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 7, July 2007.
- [9] T. Kwon and J.-W. Choi, "Spatial performance analysis and design principles for wireless peer discovery," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 13, no. 8, Aug. 2014.
- [10] T. Kwon, "Transmission probability design for random access based wireless peer discovery," IEEE Communications Letters, vol. 18, no. 9, Sep. 2014.
- [11] T. Kwon, "Green random access for wireless peer discovery," IEEE Communications Letters, vol. 19, no. 2, Feb. 2015.
- [12] H. Min, J. Lee, S. Park, and D. Hong, "Capacity enhancement using an interference limited area for device-to-device uplink underlaying cellular networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 12, pp. 3995-4000, Dec. 2011.
- [13] C. Xu, L. Song, Z. Han, Q. Zhao, X. Wang, X. Cjeng, and B. Jiao, "Efficiency resource allocation for device-to-device underlay communication systems: a reverse iterative combinatorial auction based approach," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 9, pp.348-358, Sep. 2013
- [14] R. Zhang, X. Cheng, L. Yang, and B. Jiao, "Interference-aware graph based resource sharing for device-to-device communications underlaying cellular networks," in Proc. IEEE WCNC, April 2013.
- [15] C. Lee, S.-M. Oh, and A.-S. Park, "Interference avoidance resource allocation for D2D communication based on graph-coloring", in Proc. ICTC, Oct. 2014.
- [16] C. Yu, K. Doppler, C. B. Ribeiro, and O. Tirkkonen, "Power optimization of device-to-device communication underlaying cellular communication," in Proc. IEEE ICC, Jun. 2009.
- [17] J. Gu, S. J. Bae, B. G. Choi, and M. Y. Chung, "Dynamic power control mechanism for interference coordination of device-to-device communication in cellular networks," in Proc. IEEE VTC-fall, Sep.

2011.

- [18] S.-M. Oh, C. Lee, A.-S. Park, J.-H. Lee, and J. Shin, "Efficient interference control technology for vehicular moving network (VMN)", submitted to ETRI Journal.
- [19] 3GPP TS 36.321, v.12.4.0, "Medium Access Control (MAC) protocol specification," Jan. 2015.

약 력



이 창 희

2011년 고려대학교 공학사
 2013년 고려대학교 공학석사
 2013년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부
 연구원
 관심분야: 5G 이동통신 시스템, Multi-user MIMO,
 단말간 직접 통신 시스템



오 성 민

2004년 아주대학교 공학부
 2006년 아주대학교 공학석사
 2011년 아주대학교 공학박사
 2011년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부
 선임연구원
 관심분야: 5G 이동통신 시스템, 이동통신 프로토콜



권 태 수

2001년 KAIST 공학사
 2003년 KAIST 공학석사
 2007년 KAIST 공학박사
 2007년~2011년 삼성종합기술원 전문연구원
 2011년~2012년 스탠포드대학교/UBC대학교
 박사후연구원
 2012년~2013년 KAIST 연구부교수
 2013년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부
 선임연구원
 관심분야: 5G 이동통신 시스템, stochastic
 geometry, convex optimization



김 지 형

2000년 연세대학교 공학사
 2002년 연세대학교 공학석사
 2007년 연세대학교 공학박사
 2007년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부
 선임연구원
 관심분야: 5G 이동통신 시스템, 단말간 직접 통신
 시스템



신 재 승

2007년 Pennsylvania State University 공학박사
 1993년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부
 실장
 관심분야: 5G 이동통신 시스템, 이동통신 프로토콜,
 단말간 직접 통신 시스템, 소형셀,
 resource scheduling