

차세대 이동통신 시스템을 위한 이동 개인셀

채승엽, 임민중, 강충구*
동국대학교, 고려대학교*

요약

고정 기지국 및 셀룰러 환경을 기반으로 하는 4G 네트워크 모델이 사용자가 네트워크 커버리지 안에 존재해야 서비스가 가능한 네트워크 중심인데 반해서, 5G 시스템에서는 사용자의 위치에 상관 없이 최적의 경험이 사용자를 따라 다니는 사용자 중심의 네트워크 모델이 제공되는 것을 목표로 하고 있다. 이동 개인셀 기술은 사용자 중심의 네트워크를 실현하기 위하여 사용자와 함께 이동하는 무선 백홀 기반의 초소형 기지국 및 이를 이용한 다양한 서비스를 제공하는 기술이다. 본 고에서는 이동 개인셀 기술의 여러 가지 용도와 이동 개인셀로 인한 성능 향상에 대해 논한다.

I. 서론

최근 5G 이동통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2][3]. 4G 시스템에서는 셀 경계에 있는 사용자는 높은 데이터 전송률을 제공받지 못하는데 반해서 5G 시스템에서는 위치에 상관 없이 모든 사용자에게 높은 데이터 전송률을 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 5G 시스템은 4G 시스템에 비해서 높은 데이터 전송률뿐만 아니라 낮은 지연, 낮은 전력, 많은 수의 디바이스 연결, 높은 이동성 등 다양한 목표를 가지고 있다[4][5][6]. 이와 같은 요구 사항을 만족시키기 위하여 새로운 타입의 반송파 및 밀리미터 웨이브 등 높은 반송파 주파수를 사용함으로써 넓은 대역폭을 확보하기 위한 기술, 새로운 다중접속 및 대규모 다중안테나 기술 등을 이용한 주파수 효율을 높이기 위한 기술, 스몰셀 기술 등 기지국의 밀집도를 높이기 위한 기술, D2D(Device-to-Device) 통신, 비면허 대역의 사용, 무선LAN(Local Area Network) 시스템과의 연동, 인지 무선(cognitive radio) 기술의 활용 등 데이터 오프로딩(data offloading)을 하기 위한 기술 등 다양한 연구가 진행되고 있다[7][8][9].

5G 시스템을 위한 다양한 기술 중 아직 개념 정립 및 연구가 상대적으로 덜 되어 있는 기술 중 하나로써 이동 개인셀(이동셀) 기술이 있다[8]-[12]. 기존의 고정 기지국 및 셀룰러 환경을 기반으로 하는 4G 네트워크 모델에서는 사용자가 네트워크 커버리지 안에 존재하여야 서비스가 가능한 네트워크 중심인데 반해서 5G 시스템에서는 사용자의 위치와 상관 없이 최적의 경험이 사용자를 따라 다니는 사용자 중심의 네트워크 모델이 제공되는 것을 목표로 하고 있다[6]. 이동 개인셀 기술은 사용자 중심의 네트워크를 실현하기 위하여 사용자와 함께 이동하는 무선 백홀 기반의 초소형 기지국 기술 및 이동 기지국을 이용하여 다양한 형태의 서비스를 제공하도록 하는 기술이다[12]. 이동 개인셀 기술에서는 개인이나 차량, 로봇 등이 이동 기지국을 들고 다니거나, 혹은 개인이 휴대하는 디바이스가 일시적으로 기지국 역할을 수행한다[8]-[12]. 이동 기지국은 이동성을 지원하는 초소형 기지국이거나 혹은 단말에 추가되는 기능일 수 있으며, 예, 노트북, 스마트패드, 차량용 단말, 재난통신용 단말, 로봇 등 비교적 전력 측면에서 여유가 있는 특수 단말에 추가되는 기능일 수 있다. 이동 기지국은 이동성을 가지면서 마이크로 기지국, 피코 기지국, 무선 LAN AP(Access Point) 등과 연결되어 셀룰러 주파수 혹은 근거리 무선통신을 통해 단말을 지원할 수 있으며, 단말과 기지국을 연결하는 것뿐만 아니라 단말과 단말을 연결, 또는 서비스의 직접 제공을 위하여 자체적으로 단말에게 데이터를 공급하거나 수집할 수 있다. 이동 개인셀의 용도는 다양한 형태가 존재할 수 있으며 예를 들어 다음과 같은 것들을 포함할 수 있다.

- ▶ 피코 또는 펨토 기지국과 같은 고정 소형 기지국의 커버리지를 확장함으로써 모든 단말에게 충분한 데이터를 공급하기 위해서 사용될 수 있다[9][10][17]-[23].
- ▶ 이동 네트워크를 지원하기 위한 것으로 차량 간의 통신이나 혹은 버스, 기차, 지하철, 차량 등과 같이 그룹으로 이동하는 경우를 효과적으로 지원하기 위해 사용될 수 있다[8][9][11][13][24].
- ▶ 이동 개인셀이 데이터의 공급원으로 동작하거나, 멀티홉

D2D 통신을 지원하기 위해 사용되거나, 저장 장치에 여유가 있는 디바이스들이 데이터의 중복성 및 국지성을 이용하여 데이터 캐싱(caching) 기능을 제공하기 위해 사용될 수 있다[12][14][15][16].

▶IoT(Internet of Things) 환경에서 많은 수의 디바이스들을 효과적으로 지원하기 위해 사용될 수 있다[25].

본고에서는 이동 개인셀의 여러 용도와 그로 인한 성능 향상을 살펴 봄으로써 이동 개인셀의 가능성을 타진해 본다. 본고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이동 개인셀의 용도 및 응용, 그리고 관련된 기술에 대해서 설명하며 III장에서는 이동 개인셀을 통한 성능 향상에 대해서 논하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본론

1. 데이터 전송률 향상

차세대 이동통신 시스템은 현재보다 더 높은 데이터 전송속도를 요구한다. 셀룰러 시스템에서 데이터 전송이 필요한 활성화된 단말 당 데이터 전송률을 높이기 위해서는 대역폭 및 스펙트럼 효율을 증대시켜야 하며 셀의 크기를 더 작게 줄여야 한다[1][2][3]. 이를 위해서 새로운 타입의 반송파 및 밀리미터 웨이브 등의 높은 주파수의 사용을 고려하고 있으며, 높은 스펙트럼 효율을 얻기 위한 다양한 기술과, 작은 커버리지를 가지는 피코 또는 펌토 기지국을 많이 설치하는 스몰셀 기술 등이 연구되고 있다[1][2][3][7][8][9]. 넓은 대역폭을 확보하기 위하여 매우 높은 주파수를 사용할 경우 커버리지가 축소되는 문제가 있으나 이는 작은 커버리지를 지향하는 스몰셀 기술과 잘 부합되며, 마크로셀은 대역폭은 작지만 큰 커버리지를 가지는 낮은 반송파 주파수를, 피코셀은 커버리지는 작지만 넓은 대역폭을 사용할 수 있는 높은 반송파 주파수를 사용하는 기술이 주목 받고 있다[2][3]. 스몰셀 기술의 극단적인 경우를 가정할 경우 대부분의 영역이 피코셀 커버리지 안에 속할 수 있도록 피코 기지국을 촘촘히 설치하는 것이 필요하지만 매우 많은 수의 피코셀을 설치하는 것은 비용적인 측면에서 문제를 발생시킬 수 있다.

대역폭은 크지만 커버리지가 작은 초소형 고정 기지국을 많이 설치한다면 그 중 상당수의 셀에 데이터를 요구하는 활성화된 단말이 한 개도 존재하지 않을 수도 있으므로 기지국을 중심으로 기지국의 커버리지를 고려한 일반적인 셀룰러 시스템의 개념에서 벗어날 필요성이 있다. 이동 개인셀 기술은 단말을 중심으로 하여 단말을 초소형 고정 기지국, 무선 LAN AP 등의 데이터 공급원과 연결하는 개념을 고려하며, <그림 1>에서 볼 수

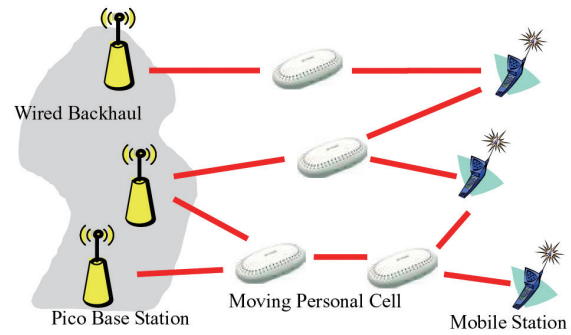


그림 1. 이동 개인셀을 통한 데이터의 공급

있는 것과 같이 이동 개인셀들이 협력하여 데이터 공급원과 데이터를 필요로 하는 단말을 효과적으로 연결한다[17]-[23]. 충분히 촘촘하게 초소형 고정 기지국이 설치되지 않았을 때, 고정 기지국만을 사용한다면 많은 단말들이 초소형 고정 기지국으로부터 데이터를 공급받지 못하고 마크로 기지국으로부터 데이터를 공급받음으로써 만족할 만한 데이터 전송률을 보장받지 못할 수 있다. 이에 반해서, 이동 개인셀 기술을 사용하면 초소형 고정 기지국의 커버리지 안에 있지 않은 단말들도 이동 개인셀의 도움을 받아 주변의 초소형 고정 기지국으로부터 데이터를 끌어와 만족스러운 데이터 전송률을 보장받게 된다. 이 때 고정 기지국은 단말들이 필요로 하는 것에 비해서 충분히 많은 데이터를 공급할 수 있어야 하며(sufficient sources) 충분히 많은 이동 개인셀이 존재하여 데이터 공급원과 단말을 효과적으로 연결할 수 있어야 한다(efficient connectivity). 단말들이 필요로 하는 데이터 양에 비해서 충분한 데이터 양을 공급할 수 있는 고정 기지국들이 주변에 없거나 이들로부터 데이터를 끌어올 수 있는 이동 개인셀들이 충분히 존재하지 않을 경우 단말들은 만족스러운 양의 데이터를 공급받지 못할 수 있다.

이동 개인셀의 장점은 단순히 기지국과 단말을 연결하는 릴레이 기능에 있지 않으며, 다양한 측면에서의 장점을 가진다. 주변에 여러 고정 기지국 중 부하가 적은 기지국으로부터 데이터 공급을 받음으로써 초소형 기지국 간의 로드 밸런싱(load balancing)을 할 수 있으며 이를 통하여 사용자에게 위치와 상관 없이 최적의 경험을 제공할 수 있다[18]. 또한 이동 개인셀은 사용자와 같이 움직임으로써 사용자의 분포의 변화에 적응적으로 변화할 수 있고 사용자의 밀도가 높은 시간 및 장소에 같이 위치하여 사용자에게 데이터를 공급할 수 있다는 장점도 있다[19]-[21]. 이동 개인셀은 일반적인 단말과 마찬가지로 다중 RAT(Radio Access Technology) 기반으로 동작할 수 있으므로 하나의 RAT을 제공하는 일반적인 기지국보다 다양한 서비스를 제공할 수 있으며 하나의 RAT을 지원하는 일반적인 릴레이

이보다 더 효과적으로 단말과 인프라를 연결시킬 수 있다[22]. 이동셀은 피코셀의 커버리지를 확장시킴으로써 시스템 성능을 향상시킬 수 있으나 고정된 기지국에 비해서 무선백홀로 인한 자원 낭비가 클 수 있으며, 우수한 성능을 얻기 위해서는 무선 백홀에 대한 최적화가 필요하다[23].

2. 이동 네트워크

이동 개인셀은 실내외 공간에 설치하는 고정형이나 개인이 들고 다니는 휴대형뿐만 아니라 개인 차량이나 대중교통 차량, 선박이나 드론과 같은 비행체 등 고속으로 이동하는 이동체에 설치되어 이동 네트워크를 구성할 수 있다. 이동 네트워크를 구성하는 이동 개인셀은 V2X(Vehicle-to-Anything) 통신을 지원하거나 혹은 버스, 기차, 지하철, 차량 등과 같이 그룹으로 이동하는 경우 등을 효과적으로 지원하기 위해 사용될 수 있다[8][9][11][13][24]. 여러 차량이 그룹을 지어 이동하면서 서로 통신을 할 때 그 중 하나의 차량이 이동 기지국의 역할을 수행하면, 고정 기지국을 사용하는 경우에 비해서 더 효과적으로 차량 간의 통신을 지원할 수 있다. 또한 버스, 기차, 지하철 등 공용차량에 탑재되어 있는 단말들과 같이, 고려되는 모든 단말들이 하나의 차량에 탑재되어 같이 이동하는 경우에는 차량에 릴레이를 설치함으로써 차량 안에 탑재되어 있는 단말들을 효과적으로 지원할 수 있다[8][9][11][13].

고속도로의 차량 등에 있는 단말과 같이 동일하지 않은 그러나 유사한 이동속도로 이동하는 단말들도 이동 개인셀을 통하여 효과적으로 지원할 수 있다[24]. 차세대 이동통신 시스템에서는 스몰셀 기술이 심화되어 셀 크기가 작아지게 될 것으로 예측된다. 초소형 고정 기지국이 많이 설치되었을 때 <그림 2(a)>와 같이 이동속도가 높은 차량에 있는 단말들을 고정 기지국을 사용하여 지원하기 위해서는 매우 많은 수의 핸드오버가 필요할 수 있다. 이와 같은 환경에서 일부 차량에 이동 기지국을 설치하는 이동 개인셀 기술을 사용하여 <그림 2>와 같이 유사한 이동속도를 가지는 단말들을 그룹 지어 지원하면 고정 기지국과의 핸드오버의 수를 크게 줄일 수 있다[24]. 단말들이 유사한 속도와 방향을 가지는지는 단말 간의 거리에 변화가 있는지 측정함으로써 알 수 있다. <그림 2(b)>에서 이동 기지국은 고정 기지국과 단말들을 릴레이하며, 따라서 이동 기지국은 고정 기지국을 따라 핸드오버한다. 이에 반해서 다른 단말들은 연결된 이동 개인셀이 이동방향과 이동속도에서 큰 차이가 없다면 핸드오버 없이 계속 이동할 수 있다. 고정셀만을 사용할 때에는 빈번한 핸드오버가 발생하지만, 이동 개인셀을 사용할 경우 빈번하게 발생하는 핸드오버는 이동 기지국의 핸드오버뿐이며 다른 단말들의 핸드오버는 상대적으로 적게 일어남으로써 핸드오

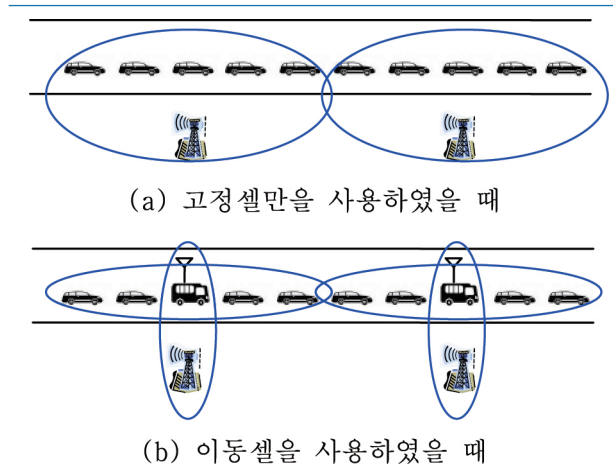


그림 2. 이동셀을 이용한 그룹 이동성 지원

버로 인한 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

기차, 버스, 지하철 안에 있는 단말들과는 달리, 서로 다른 차량에 있는 단말들의 이동속도는 모두 다르며, 단말과 이동 개인셀의 속도 차이로 인해 다른 이동 기지국으로의 핸드오버가 발생하게 된다. 이러한 핸드오버를 줄이기 위해서는 이동 개인셀을 이동 속도별로 분리하여 서로 유사한 이동속도를 가지는 단말들끼리 그룹 지어 이동 개인셀을 형성하도록 하는 것이 필요하다. 그러나 이동속도를 너무 세밀하게 나눌 경우 이동 개인셀에 의한 오버헤드가 커지므로 적절한 수의 그룹을 만드는 것이 중요하다[24].

3. 이동 캐싱

기존의 기지국이 단말을 네트워크에 연결하여 네트워크로부터 단말에게 데이터를 공급하는(혹은 반대 방향의) 중계 기능을 수행했던 것에 반해서 이동 개인셀은 자체적인 서비스와 클라우드 서버의 기능, 이동 개인셀의 협력 기능 등을 탑재함으로써 더 다양한 서비스를 제공할 수 있다[12][14][15][16]. 좀 더 구체적으로, 이동 개인셀은 단말에게 인프라를 거치지 않고 데이터의 공급원이나 수집원으로써 동작하거나, 멀티홉 D2D 통신을 지원하기 위해 사용되거나, 혹은 데이터 캐시(cache) 또는 데이터 프리페치(prefetch) 버퍼로 사용될 수 있다. 이를 효과적으로 지원하기 위해서 이동 개인셀에서는 인접한 이동 개인셀과 직접 통신을 하는 사이드홀 링크를 형성할 수 있으며, 인접한 이동 개인셀들은 사이드홀 링크를 통해서 콘텐츠 및 서비스를 공유하고 제어 정보를 교환함으로써 사용자의 트래픽 요구에 따라 유연한 네트워크를 구성할 수 있도록 한다.

이동 개인셀이 데이터 공급원으로 동작하는 예로는 국지적 광고(local advertisement) 등이 있을 수 있으며, 전시회장, 공연장, 경기장, 학교 등에서 사용자들이 원하는 데이터를 공급하기

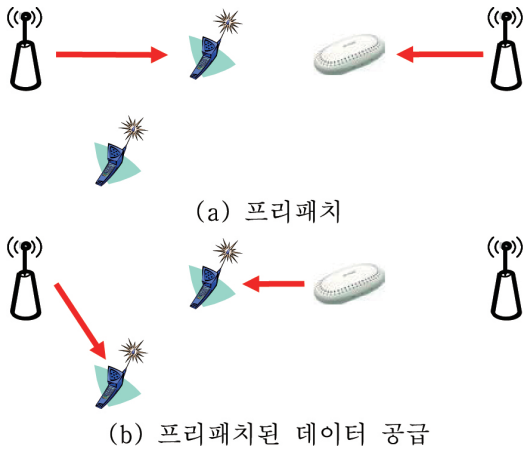


그림 3. 이동 개인셀을 이용한 프리패치

위해서 일시적으로 설치되거나, 필드 트립(field trip) 등 그룹을 지어서 이동하는 경우에 데이터의 공급, 수집이나 D2D통신을 지원하기 위해서 사용될 수 있다.

또한 노트북이나 스마트 패드처럼 비교적 많은 저장 용량을 가지고 있는 디바이스들이 이동 개인셀로 동작하여 충분한 저장 용량을 활용함으로써 기지국의 부담을 줄이기 위해 사용될 수 있다[14][15][16]. 하나의 예는 데이터의 중복성 및 국지성을 이용하여 데이터 캐시 서비스를 제공하기 위한 것으로 저장 용량이 큰 이동 기지국들이 협력하여 중복성이 높을 것으로 예상되는 데이터를 저장하고 필요할 때 재사용함으로써 고정 기지국의 부담을 줄이는 것이다[14][15].

이동 개인셀의 저장 용량을 활용하는 다른 예는 고정 기지국의 부하의 변화가 매우 클 때, 저장 용량이 충분한 이동 개인셀의 도움으로 일정한 데이터 전송률을 필요로 하는 비디오 데이터의 수신을 원활하게 하는 것이다[16]. <그림 3(a)>에서 볼 수 있는 것과 같이 다른 단말들이 비활성화되어 기지국의 부하가 적을 경우에는 단말이 비디오 데이터를 수신하는 것과 함께 이동 기지국이 프리패치 동작을 통해서 다량의 데이터를 미리 받아 저장해 둔다. <그림 3(b)>와 같이 다른 단말들이 활성화되어 기지국의 부하가 커졌을 때 이동 기지국이 미리 저장해 두었던 데이터를 공급함으로써 기지국의 부하의 변화와 상관 없이 일정한 데이터 전송률을 제공할 수 있다.

4. IoT 응용

이동 개인셀은 IoT 환경에서 매우 많은 수의 디바이스들을 효과적으로 지원하기 위해 사용될 수 있다. 앞으로 매우 많은 수의 디바이스들이 무선으로 연결되는 세상이 올 것으로 예상된다. 많은 수의 무선 디바이스를 효과적으로 연결할 수 있는 경제적인 무선 인프라를 구축하기 위해서는 디바이스들이 저출력

송신을 해야 하며 따라서 데이터를 수집하는 허브 또는 기지국이 디바이스에서 멀리 떨어져 있지 말아야 한다. 고정 기지국을 통해서 허브를 구현할 경우 매우 높은 밀도로 고정 기지국을 구현해야 하며, 이것은 비용의 증가를 가져오게 된다. 이에 대한 해결 방안으로 이동 개인셀을 이용할 수 있으며, IoT 환경을 위한 이동 개인셀의 구체적인 예는 다음과 같다[25].

- ▶Data Gathering: Metering, 비실시간 센서 데이터 수집과 같이 주기적으로 데이터를 수집하는 경우, 디바이스가 먼 곳에 있는 고정 기지국으로 데이터를 전송하는 대신 차량 등에 탑재된 이동 개인셀이 주기적으로 일정한 경로를 움직이면서 자료를 수집함으로써 디바이스의 원거리 전송 부담을 줄일 수 있다.
- ▶Support of Mobile Devices: 군사, 재난 로봇 등 이동을 하는 디바이스들을 효과적으로 지원하기 위하여 기지국이 이동을 함으로써 최적의 위치를 유지하고 디바이스들을 효과적으로 지원할 수 있다.
- ▶Update/Delivery/Dispatch: 프로그램이나 데이터의 업데이트와 같이 일시적으로 많은 데이터의 전송이 필요할 경우 이동 개인셀이 목적지로 가서 데이터를 공급하거나 수집하여 돌아올 수 있다. 또한, 평소에도 애드 혹 네트워크를 통해서 적은 양의 데이터 수집이 가능하지만 재난이나 긴급 상황 등 필요할 경우 이동 개인셀을 급파하여 다량의 데이터를 긴급히 수집할 수 있다.
- ▶Search/Patrol: 조난 환경 또는 센서가 임의로 뿌려진 경우와 같이 디바이스의 위치를 정확히 알지 못할 때 이동 개인셀이 돌아다니면서 디바이스를 찾고 데이터를 수집할 수 있다. 또한, 감시, 점검 등과 같이 이동 개인셀이 돌아다니면서 좀 더 정확하고 많은 데이터를 수집할 수 있다.

III. 성능 평가

본 절에서는 이동 개인셀을 통한 성능 향상에 대해서 간단한 형태의 실험을 통해서 살펴본다.

1. 데이터 전송률 향상

첫 번째 실험은 이동 개인셀을 사용하였을 때의 데이터 전송률 향상에 대한 실험으로 이동 개인셀을 이용하여 위치에 상관 없이 모든 사용자에게 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있다는 것을 보이기 위한 것이다. 한 변이 200m인 정사각형 영역에 초소형 고정 기지국 및 단말들을 랜덤하게 분포시킨 후 경계 효과

를 없애기 위하여 랩 어라운드(wrap around) 방법을 사용하면서 단말이 초소형 고정 기지국과 연결이 가능한가를 판단하여 단말의 평균 데이터 전송률을 측정하였다[17]. 실제 전송과 관련된 스케줄링, 간섭제어 등은 포함하지 않았으며 셀 간 간섭이나 다중홉 릴레이에 의한 성능 저하도 고려하지 않았다. 각 단말은 1Gbps의 전송률을 요구하며 초소형 고정 기지국 및 이동 기지국은 20m 거리의 커버리지 반경을 가지고, 각각 10Gbps의 데이터 전송률을 지원할 수 있으며 간섭 상황과 상관 없이 각각 최대 10개의 단말을 지원할 수 있다고 가정하였다. 실험 영역은 한 개의 매크로 기지국에 의해서 관리되며 매크로 기지국은 5Gbps의 데이터 전송률을 지원할 수 있고 초소형 고정 기지국과 연결이 되지 않은 최대 5개의 단말을 지원할 수 있다고 가정하였다. 실험은 활성화된 단말의 밀도를 1Km 제곱면적 당 25에서 5000개까지 변화시키면서 초소형 고정 기지국의 밀도 D_F 가 클 때(500/Km²)와 작을 때(250/Km²), 그리고 초소형 고정 기지국과 단말이 단일홉으로만 연결이 될 때와 이동 개인셀을 이용하여 다중홉으로 연결이 될 수 있을 때의 성능을 비교하였다. 이동 개인셀의 밀도는 활성화된 단말의 밀도와 비례한다고 가정하였다.

- (a) $D_F = 250/\text{Km}^2$, 단일홉 연결
- (b) $D_F = 250/\text{Km}^2$, 다중홉 릴레이
- (c) $D_F = 500/\text{Km}^2$, 단일홉 연결
- (d) $D_F = 500/\text{Km}^2$, 다중홉 릴레이

〈그림 4〉는 단말 밀도에 따른 평균 데이터 전송률을 나타내며 실선은 초소형 고정 기지국에 의한 데이터 전송률만을, 점선은 초소형 고정 기지국뿐만 아니라 매크로 기지국까지 고려한 데이터 전송률을 나타낸다. 먼저 초소형 고정 기지국에 의한 데이터 전송률만을 고려하면 (b)의 경우 단말 밀도가 너무 낮을 때는 이동 개인셀의 밀도가 낮고 단말과 고정 기지국의 연결 확률이 크게 되지 않음으로 인해 데이터 전송률이 낮으며 단말 밀도가 커짐에 따라 연결 확률이 커져서 데이터 전송률이 개선된다. 그러나 단말 밀도가 너무 커지면 고정 기지국이 충분한 데이터를 공급할 수 없으므로 데이터 전송률이 떨어지게 된다. 만일 (d)의 경우처럼 단말의 데이터 요구량을 충분히 지원할 수 있도록 초소형 고정 기지국의 수를 늘린다면 실험 범위 내에서 단말 밀도와 상관 없이 만족스러운 결과를 얻을 수 있다. 이에 반해서 (a)처럼 데이터 공급량이 적은 경우뿐만 아니라 (c)처럼 충분한 데이터 공급이 가능한 경우에도 고정 기지국만을 사용하고 초소형 고정 기지국의 커버리지 확률이 높지 못하다면 만족스러운 결과를 얻을 수 없다. 매크로 기지국으로부터의 데이터 공급을 같이 고려할 경우 단말의 밀도가 낮을 때 성능 개선 효

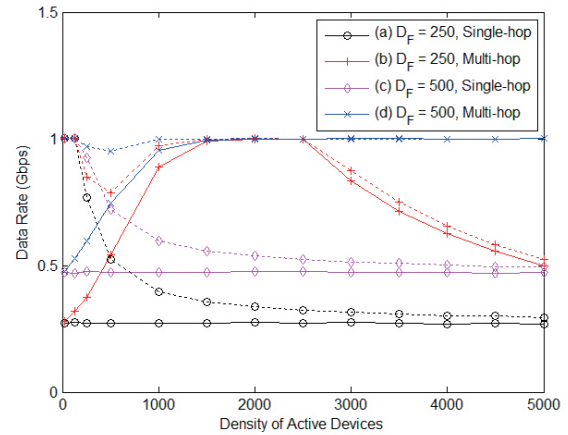


그림 4. 단말 밀도에 따른 데이터 전송률

과가 있으며, 연결 확률이 작아짐으로 인한 성능 감소를 매크로 기지국의 연결로써 보상할 수 있다. 따라서 충분한 데이터 공급원이 있다고 가정할 때 이동 개인셀을 사용하면, 단말의 밀도가 낮을 경우에는 이동 개인셀이 효과적으로 단말을 초소형 고정 기지국에 연결시키지 못하지만 매크로 기지국이 이를 해결할 수 있으며, 단말의 밀도가 높아질 경우에는 이동 개인셀이 단말을 초소형 고정 기지국에 연결할 수 있음으로 인해 만족스러운 데이터 공급이 가능하다.

2. 이동 네트워크

두 번째 실험은 서로 다른 이동속도를 가지는 단말을 지원하기 위하여 이동 개인셀을 사용할 때의 특성을 살펴본다[24]. 이동 개인셀을 이동 속도별로 분리하고 유사한 이동속도를 가지는 디바이스들끼리 그룹 지어 이동 개인셀을 형성하도록 할 때의 그룹의 수에 따른 성능 변화를 살펴보았다. 이동 개인셀의 이동속도를 하나만을 고려할 경우 다양한 이동속도를 가지는 디바이스들을 지원하기 어려우며 이동속도를 너무 세밀하게 나눌 경우 이동 개인셀에 의한 오버헤드가 커지므로 적절한 수의 그룹을 만드는 것이 중요하다.

실험에서는 〈그림 2〉와 같이 고속도로의 한 방향만을 고려하여 이동셀을 사용하지 않을 때 〈그림 2(a)〉에 비해서 이동셀을 사용할 때 〈그림 2(b)〉핸드오버의 수가 얼마나 감소되는가를 실험하였다. 차량의 이동속도는 70Km/h에서 130Km/h까지 균등한 분포를 가정하였으며, 차량은 시작점을 20m의 일정한 간격으로 출발하여 11Km의 정해진 구간을 이동한다고 가정하였다. 기지국은 1Km 간격으로 일렬로 놓여 있으며 따라서 이동 개인셀이 없는 경우 각 디바이스는 11Km 구간을 이동하는 동안 10번의 핸드오버가 발생하게 된다. 이동 개인셀을 사용하는 경우 이동 기지국은 고정 기지국과 연결이 되므로 정해진 구간

동안 10번의 핸드오버가 발생하지만, 이동 기지국을 제외한 다른 단말은 이동 기지국과 연결이 되므로 이동 기지국과의 이동 속도 차이가 거의 없다면 핸드오버 없이 이동할 수 있다. 이동 개인셀의 종류가 한 종류만 있다고 가정할 때는 이동 기지국은 모두 100Km/h의 속도로 이동하며 1Km 간격으로 출발한다고 가정하였다. 이 경우 매우 느린 차량이나 매우 빠른 차량은 다른 이동셀로 넘어가는 핸드오버가 여러 번 발생하게 된다. 다른 이동 개인셀로의 핸드오버를 줄이기 위해서 이동 개인셀의 종류가 N개라고 할 때 이동 개인셀은 각 종류별로 다른 이동속도를 가지며 각 종류별로 1Km 간격으로 출발한다고 가정하였다. 디바이스가 가장 비슷한 이동속도를 가지는 이동 개인셀에 연결될 수 있다고 가정할 때 이동 개인셀의 이동속도가 다양하면 이동 개인셀을 넘어 다니는 핸드오버는 감소하게 된다. 그러나 이동 개인셀의 종류가 증가할수록 이동 개인셀의 수가 많아지게 되며 따라서 이동 기지국이 고정 기지국을 넘어 다니는 핸드오버의 수는 N에 비례하여 증가하게 된다. <그림 5>는 이동 개인셀의 종류 N이 증가함에 따라서 이동 개인셀을 사용하지 않는 경우와 비교해서 얼마나 핸드오버의 수를 줄일 수 있는지 실험한 결과이다. N이 1인 경우 이동 기지국의 수는 적으므로 이동 기지국의 핸드오버는 많지 않지만 단말의 핸드오버는 많이 발생한다. N이 증가함에 따라서 단말의 핸드오버 수는 크게 줄지만 이동 기지국의 수가 증가함으로 인해 이동 기지국의 핸드오버 수가 증가하게 된다. <그림 5>에서 최적의 이동 개인셀의 종류는 3개이며 이 때 이동 개인셀을 사용하지 않는 것 대비 약 1/9의 핸드오버가 발생하는 것을 볼 수 있다. 디바이스들의 이동속도가 차이가 많이 날 경우 이동방향 및 이동속도가 비슷한 디바이스들을 묶어서 그룹 지을 때 성능이 향상될 수 있지만, 너무 세밀하게 속도 별로 구분하게 되면 이동 개인셀에 대한 오버헤드로 인해 오히려 성능이 떨어질 수 있다.

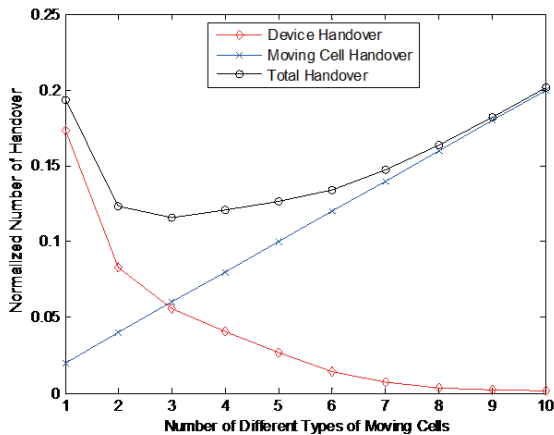


그림 5. 다른 이동속도의 이동 기지국의 수에 따른 핸드오버 수의 감소

3. IoT 응용

다음 실험에서는 주기적으로 데이터를 수집해야 하는 경우 이동 기지국이 주기적으로 일정한 경로를 움직이면서 데이터를 수집함으로써 IoT 디바이스들의 전력소모를 줄일 수 있다는 것을 확인한다[25]. 실험에서는 <그림 6>과 같이 반경 $R_0(=1000m)$ 의 원 안에 디바이스들을 랜덤하게 분포시키고, 중앙에 고정 기지국이 있는 경우와 이동 기지국이 반경 R_1 의 원을 돌면서 데이터를 수집하는 두 가지 경우에 대해서 디바이스들의 전송 시간을 측정하였다. 경로손실지수는 3.76이며 디바이스의 송신 전력은 고정기지국이 셀 경계 디바이스들로부터 받는 신호의 신호대잡음비가 $-10dB$ 가 되도록 하였다. 이동 기지국에서 데이터를 수집하는 경우, 각 디바이스는 이동 기지국이 가장 가까이 왔을 때 데이터를 전송할 수 있다고 가정하였다. 각 디바이스는 기지국이 받는 신호대잡음비에 맞추어 데이터 전송률을 결정할 수 있다고 가정하여 채널용량 계산을 통해

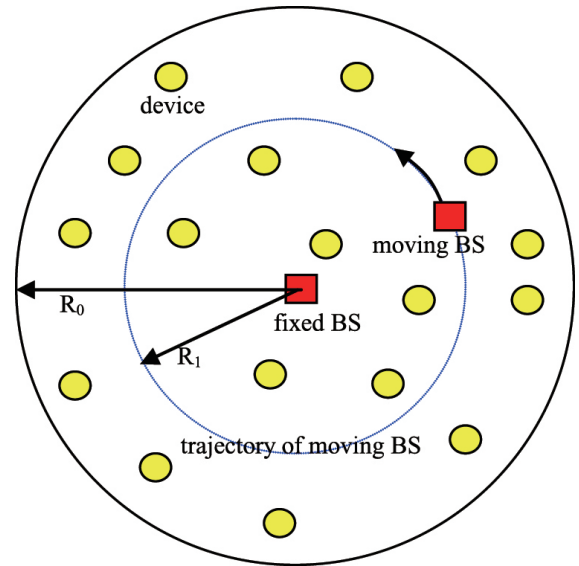


그림 6. 이동셀의 주기적 이동 경로

서 일정한 데이터 양을 전송할 때의 시간을 구하였다.

<그림 7>은 이동 기지국이 주기적으로 원을 돌 때 반경 R_1 에 따라, 고정 기지국을 사용할 때 대비 전송 시간이 얼마나 감소할 수 있는가를 실험한 결과이다. 이동 기지국이 원의 반경 R_1 을 키워나감에 따라 셀 경계의 디바이스들로부터 더 거리가 가까워질 수 있으므로 전송 시간이 감소하지만, 원의 반경이 너무 커지면 셀 중앙의 디바이스들로부터의 거리가 멀어짐으로 인해 오히려 전송시간이 더 늘어난다. 이동 기지국이 반경

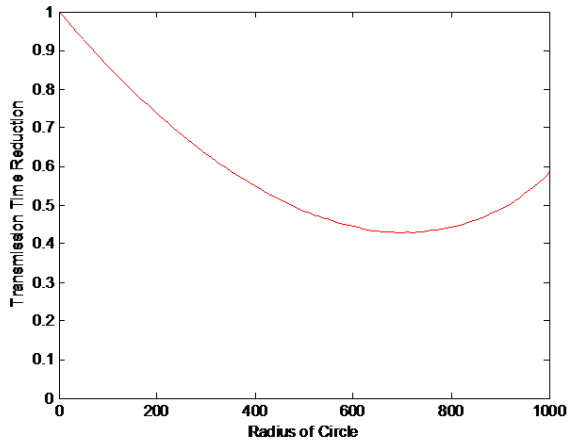


그림 7. 이동 기지국의 원 반경에 따른 데이터 전송 시간 감소

720m의 원을 둘 때 디바이스들의 전송 시간을 최소화시킬 수 있었으며, 이 때 고정 기지국 대비 43%의 전송 시간으로 동일한 양의 데이터를 전송하는 것이 가능하다. 데이터를 수집하는 기지국이 고정되어 있는 것에 비해서, 기지국이 주기적으로 일정한 경로를 이동하면서 디바이스들이 가까워졌을 때 데이터를 수집하면 디바이스들의 전송 시간을 대폭 줄일 수 있고 따라서 디바이스들의 전력소모를 크게 줄일 수 있다. 본 실험에서는 이동 기지국이 원을 따라 움직일 때만 고려하였으며 다른 임의의 경로를 다니는 것을 고려하면 디바이스들의 전력소모를 더 줄일 수 있을 것이다.

IV. 결론

본 고에서는 이동 개인셀 기술의 여러 가지 용도와 이동 개인셀로 인한 성능 향상에 대해서 논하였다. 이동 개인셀 기술은 첫째, 고정 소형 기지국의 커버리지를 확장함으로써 모든 단말에게 충분한 데이터를 공급하기 위하여 사용될 수 있다. 둘째, 이동 네트워크를 효과적으로 지원하기 위해 사용할 수 있다. 셋째, 이동 개인셀은 데이터 공급원으로 동작하거나, 단말과 단말을 연결하거나, 데이터의 중복성 및 국지성을 이요한 데이터 캐싱 기능을 제공하기 위하여 사용될 수 있다. 넷째, IoT 환경에서 많은 수의 디바이스들을 효과적으로 지원하기 위하여 사용될 수 있다. 이와 같이 이동 개인셀은 다양한 용도에서 사용자 중심의 네트워크 및 서비스를 제공함으로써 5G 시스템의 요구 사항을 만족시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J.G. Andrews, "Seven Ways that HetNets Are a Cellular Paradigm Shift," *IEEE Communication Magazine*, vol.51, no.3, pp.136–144, Mar. 2013.
- [2] T. Nakamura, S. Nagata, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, T. Hai, S. Xiaodong, Y. Ning, and L. Nan, "Trends in Small Cell Enhancements in LTE Advanced," *IEEE Communication Magazine*, vol.51, no.2, pp.98–105, Feb. 2013.
- [3] C. Hoymann, D. Larsson, H. Kooraphty, and J.F. Cheng, "A Lean Carrier for LTE," *IEEE Communication Magazine*, vol.51, no.2, pp.74–80, Feb. 2013.
- [4] E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, J. Peisa, J. Sachs, Y. Selen, and J. Skold, "5G Wireless Access: Requirements and Realization," *IEEE Communication Magazine*, vol.52, no.12, pp.42–47, Dec. 2014.
- [5] 김근영, 이상호, 김영진, "5G 통신 동향," *전자통신동향분석*, 제 30권 1호, pp.1–11, Feb. 2015.
- [6] A. Osseiran, F. Boccardi, V. Braun, K. Kusume, P. Marsch, M. Maternia, O. Queseth, M. Schellmann, H. Schotten, H. Taoka, H. Tullberg, M. Uusitalo, B. Timus, and M. Fallgren, "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," *IEEE Communication Magazine*, vol.52, no.5, pp.26–35, May 2014.
- [7] W. Chin, Z. Fan, and R. Haines, "Emerging Technologies and Research Challenges for 5G Wireless Networks," *IEEE Wireless Communications*, vol.21, no.2, pp.106–112, Apr. 2014.
- [8] METIS 2020 Deliverable D6.2, "Initial Report on Horizontal Topics, First Results and 5G System Concept," Apr. 2014.
- [9] C. Wang, F. Haider, X. Gao, X. You, Y. Yang, D. Yuan, H. Aggoune, H. Haas, S. Fletcher, and E. Hepsaydir, "Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks," *IEEE Communication Magazine*, vol.52, no.2, Feb. 2014.
- [10] F. Heider, H. Wang, D. Yuan, H. Wang, X. Gao, X. You, and E. Hepsaydir, "Spectral Efficiency Analysis

of Mobile Femtocell Based Cellular Systems, ICCT, pp.347-351, 2011.

[11] Y. Sui, J. Vihriala, A. Papadogiannis, M. Sternad, W. Yang, T. Svensson, "Moving Cells: A Promising Solution to Boost Performance for Vehicular Users," IEEE Communication Magazine, pp.62-68, June 2013.

[12] 신재승, 오성민, 박애순, 송평중, "5G 이동셀 기술 및 표준화 동향," 전자통신동향분석, 제30권 1호, pp.21-33, Feb. 2015.

[13] 정희상, 조대순, 최성우, 최승남, 오현정, 김준형, 최병, 신성문, 김일규, 방승찬, "모바일 핫스팟을 위한 이동무선백홀 기술동향 분석," 전자통신동향분석, 제 30권 1호, pp.12-20, Feb. 2015.

[14] X. Wang, M. Chen, T. Taleb, A. Ksentini, and V. Leung, "Caching in the Air: Exploiting Content Caching and Delivery Techniques for 5G Systems," IEEE Communication Magazine, vol.52, no.2, Feb. 2014.

[15] N. Golrezaei, A. Molisch, A. Dimakis, and G. Caire, "Femtocaching and Device-to-Device Collaboration: A New Architecture for Wireless Video Transmission," IEEE Communication Magazine, vol.51, no.4, Apr. 2013.

[16] E. Bastug, M. Bennis, and M. Debbah, "Living on the Edge: The Role of Proactive Caching in 5G Wireless Networks," IEEE Communication Magazine, vol.52, no.8, pp.82-89, Aug. 2014.

[17] 채승엽, 여규학, 임민중, 김황남, 강충구, 박애순, "차세대 이동통신 시스템을 위한 릴레이 기반 네트워크," 한국통신학회 추계학술대회, 2013.

[18] 채승엽, 여규학, 임민중, 김황남, 강충구, 박애순, "릴레이 기반 이동통신 시스템에서의 기지국 밀도의 결정," 한국통신학회 추계학술대회, 2013.

[19] 채승엽, 여규학, 임민중, 김황남, 강충구, "변화하는 단말 분포에서의 기지국 및 릴레이 분포," JCCI, 2014.

[20] H. Kim, S. Yoo, J. Jung, H. Kim, C.G. Kang, M. Rim, "Augmenting Small Cell with Personal Area Cell for Performance Improvement," ICUFN, pp.181-186, 2014.

[21] 김현순, 유승호, 정종택, 김황남, 강충구, 임민중, "비주기적 인구이동에 따른 기지국의 활용도 한계에 관한 연

구," JCCI, 2014.

[22] 채승엽, 여규학, 임민중, 김황남, 강충구, "다중 무선접속 기술을 사용하는 릴레이 기반 이동통신 시스템," JCCI, 2014.

[23] 채승엽, 임민중, 김황남, 강충구, "이동셀의 무선백홀 성능향상을 위한 간섭제어," 한국통신학회 추계학술대회, 2014.

[24] 채승엽, 임민중, 강충구, "서로 다른 이동속도를 가지는 디바이스들의 그룹 이동성을 지원하기 위한 이동셀," 한국통신학회 동계학술대회, 2015.

[25] 채승엽, 임민중, 강충구, "IoT 시스템에서 주기적 데이터 수집을 할 때의 이동셀을 이용한 전력소모 감소," 한국통신학회 동계학술대회, 2015.

약 력



채 승 엽

2011년 동국대학교 공학사
 2013년 동국대학교 공학석사
 2013년~현재 동국대학교 정보통신공학과 박사과정
 관심분야: 무선통신, MIMO-OFDM, 자원할당



임 민 중

1987년 서울대학교 공학사
 1990년 University of Wisconsin, Madison 공학석사
 1993년 University of Wisconsin, Madison 공학박사
 1993년~2000년 삼성전자 선임연구원
 2000년~현재 동국대학교 교수
 관심분야: 이동통신, 무선통신, 통신VLSI



강 충 구

1987년 University of California, San Diego 공학사
 1989년 University of California, Irvine 공학석사
 1993년 University of California, Irvine 공학박사
 1993년~1994년 Rockwell 연구원
 1994년~현재 고려대학교 교수
 관심분야: 5G 이동통신, 무선 MAC 및 네트워크