



차세대 이동 통신 시스템에서의 위치 측위 기술 및 표준화 동향

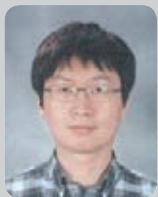
I. 서론

위치 기반 서비스는 학계 및 각 종 산업계에서 차세대 이동 통신 시스템의 필수 서비스로 대두되고 있다. 다양한 이동통신 서비스에 있어서 위치기반서비스에 대한 수요는 꾸준히 증가하며 측위 기술의 위치 정확도와 신뢰도에 대한 중요성 또한 꾸준히 높아지고 있는 현실이다. 위치 기반 서비스의 대표적인 애플리케이션으로는 응급 구조 및 무인 차량 등을 들 수 있다. 이러한 위치 기반 서비스를 효율적으로 운용하기 위해서는 위치 정보의 획득이 필수적이며 대표적인 방법에는 GPS (Global Positioning System)인공위성을 이용하는 방법, 셀룰러 이동통신 환경을 이용하는 방법, 무선 랜 등 고정된 물체에 대한 근접성을 이용하는 방법 등이 있다.

GPS를 활용한 위치 측위 기법은 정확도 면에서 셀룰러 이동통신 환경(예를 들면, LTE 시스템)을 이용한 기법보다 정확하지만, GPS 기법은 GPS의 위성신호가 수신되지 않는 곳이나 신호의 감쇠가 큰 경우에는 사용할 수 없으며 에너지 소모가 극심하다는 단점이 있다. 한편 GPS 단절 지역이라 볼 수 있는 실내 환경을 위한 위치 측위의 경우, 무선 랜의 신호세기 정보를 활용해 위치정보를 제공하는 측위 기법은 기존의 무선인터넷 인프라를 활용할 수 있는 장점이 있지만 무선 랜이 설치되지 않은 지역에서는 사용할 수 없고 핑거프린팅 방식 등을 활용할 경우 어마어마한 양의 위치정보 데이터베이스를 따로 구축해야 한다는 단점이 있다. 반면 셀룰러 이동통신 환경을 이용하는 방법은 보다 넓은 구역을 커버할 수 있고 이미 도심 환경에 설치되어 있는 기지국을 통한 통신망을 이용하여 별도의 추가적인 장비가 필요 없는 장점이 있다. 셀룰러 이동통신 환경을 사용해서 위치를 결정하는 기법은 이미 잘 갖추어진 인프라를 이용할 수 있고 우리 생활의 대부분의 지역에서 통신이



이 옹 희
LG전자 차세대표준연구소



변 일 무
LG전자 차세대표준연구소



가능하듯이, 이를 활용하여 고정밀 위치 측위 또한 가능할 것으로 전망된다.

만약 셀룰러 이동 통신 시스템이 지금보다 더 넓은 적용범위와 더 넓은 시스템 대역폭을 통한 높은 위치 해상도가 보장된다면 더욱 더 폭넓은 위치 기반 서비스가 가능할 것임을 예상할 수 있다. 하지만, 셀룰러 이동통신 환경을 이용한 무선 위치 측위에는 다음과 같은 문제점들이 존재한다. 먼저, 셀룰러 이동통신 환경은 그 특성상 주위에 많은 주파수 재사용에 의한 간섭 신호들이 공존하기 때문에, 타 시스템에 비해 신호 복효율이 낮아지고 위치 추정에 어려움을 겪게 된다. 게다가 전파의 특성에 따라 전파 전달 과정에서 전파 세기 감쇄와 전파 지연이 발생한다. 따라서 감쇄로 인해 전파세기에 대한 신뢰도가 떨어지고 전파 지연으로 인해 도달 시간에 대한 신뢰도가 떨어지는 단점이 존재한다. 특히 전파가 거의 빛의 속도로 전달되기 때문에, 시간 차이에서 거리 차이를 계산하는 데에 있어 그 거리 값이 매우 커져서 위치 측위 도출에 대한 해상도가 낮아진다. 이러한 문제점은 LOS (Line-of-Sight)가 상대적으로 덜 확보되는 실내에서는 더욱 극심히 나타난다. 전파 전달 문제 외에 또 다른 문제는 기존 이동통신 환경에서 음영 지역을 해소하기 위해 중계기를 다수 설치하는데, 이러한 중계기의 전달로 인해 신호 전달 타이밍이 맞지 않게 되고, 수신 전력 세기를 이용한 송신점까지의 거리 산출에 대한 오차가 누적되어 더욱 오차가 커지게 된다.

이와 같은 문제에도 불구하고 셀룰러 이동통신 환경을 이용한 측위 기법에 관심을 갖는 이유는, 이미 많은 셀룰러용 기지국이 구축되어 있어 위치 측위를 위한 별도의 추가비용이 필요 없으며 기본적으로 양방향 통신을 지원하기 때문에 위치정보를 이용한 각종 서비스에 강점을 보이기 때문이다. 또한 이동통신 시스템이 점점 광대역화되어 칩 속도가 높아짐에 따라 거리 추정에 대한 해상도가 높아질 여지가 있다.

이와 같은 고찰을 바탕으로 본 논문에서는 네트워크 기반 측위 관련 기술 및 표준화 동향을 살펴보고, 고정밀 위치 측위를 가능하게 하기 위해서 해결되어야 할 과제에 대해 고찰 해보도록 한다.

II. 본 론

1. 위치 측위 기술

가. 위치 측위를 위한 수학적 알고리즘

(1) 삼각 측량법

삼각 측량 방법은 송신 신호의 주파수, 신호 강도, 네트워크 MAC 주소 및 실제 기지국 액세스 포인트 좌표와 같은 셀룰러 네트워크의 매개 변수를 사용한다. 이동 장치 신호 강도에 의해 수신된 신호는 액세스 포인트와 이동 장치 간의 거리 추정에 사용될 수 있다. (Ranging 기법에 따라 전파 전송 시간 혹은 전파 전송 시간 차 등이 자유롭게 사용될 수 있다.)

이 방법을 사용하기 위해서는 절대 위치를 미리 알고 있는 3 개 이상의 액세스 포인트가 필요하다. 만약 수신 신호 세기 기반으로 ranging을 수행할 경우, 이 포인트의 신호 강도는 송신기와 수신기 사이의 거리와 랜덤 노이즈 팩터에 따라 기하급수적으로 감소한다. 따라서 의존성은 거리의 함수로 간주될 수 있다. 신호 강도로 추정된 거리는 액세스 포인트 주변의 반경을 가진 원으로 표시가 가능하다. 3 개의 액세스 포인트 반경의 교차점은 수신기의 한 지점 또는 한 영역을 제공하며, 그 지점 또는 영역이 타겟 노드의 위치를 나타내게 된다. 하지만, 수신 신호에 끼게 되는 랜덤 노이즈 성분 때문에 해당 반지름을 가진 원으로 표시하는 데에 무리가 있으며, 이를 반영하기 위해 링 형태의 원으로 표시할 수밖에 없다. 이로 인해 위치 측위에 대한 불확정성이 생기게 되고, 이는 삼각 측량법의 큰 한계점이 된다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 수신 신호 기반이 아닌 전파 전송 시간을 활용하는 방법도 존재하지만, 이 역시 전파의 대역폭에 반비례하는 ranging 오차를 야기할 수밖에 없는 현실이다.

(2) MDS: Multi-Dimensional Scaling

통신 네트워크에서 노드의 지리적 위치를 파악하기 위해 모든 노드에 GPS 수신기 또는 기타 정교한 센서를 추가하는 것은 비용이 많이 들 수 있다. MDS는 통신 범위 내에 있는 연결 정보를 사용하여 네트워크의 노드 위치를



도출하는 알고리즘이다. 이 방법은 이웃들 간의 추정된 거리 또는 특정 앵커 노드에 대한 알려진 위치 (사용 가능한 경우)와 같은 추가 정보를 이용할 수 있습니다. 이 알고리즘은 잘 알려진 다차원 스케일링을 기반으로 한다. 이 방법은 SVD (Singular Value Decomposition) 연산을 필요로 하기 때문에, $O(n^3)$ 시간이 걸리는 데이터 분석 기술이다. 노드가 평면 전체에 걸쳐 비교적 균일하게 위치할 때 더욱 뛰어난 성능을 보인다. 또한 이전 방법보다 훨씬 적은 수의 앵커 노드를 사용하여 비교 가능한 결과를 얻을 수 있으며 앵커 노드를 사용할 수 없는 경우에도 상대 좌표를 산출해낼 수 있다.

본 MDS 기법에는 세 단계가 있다. 주어진 네트워크 연결 정보로 시작하여, 가능한 한 쌍의 노드 사이의 거리를 대략적으로 추정하기 위해 모든 쌍 최단 경로 알고리즘을 사용한다. 그런 다음 수학적 기법인 MDS를 사용하여 추정된 거리를 나타내는 노드 위치를 유도해낸다. 마지막으로, 결과 좌표를 정규화하여 위치가 알려진 노드를 고려한다. 이 간단한 기술은 공간상에 타겟 노드가 밀집되어 있는 경우 삼각측량법보다 훨씬 우수한 성능을 낼 수 있다. 또한 의미 있는 결과를 내기 위해서는 노드 간 연결 정보만을 필요로 한다. 이웃 노드 사이의 거리를 추정할 수 있다면 그 정보는 알고리즘의 첫 번째 단계에서 노드간 최단 경로 계산에 쉽게 통합될 수 있습니다. 일차적인 작업을 통해 MDS는 임의의 회전 및 평행 이동에 놓인 좌표를 산출해낸다. 그 후, 미리 알고 있는 노드들의 좌표를 활용하여 알려진 위치에 가장 잘 일치하는 MDS 좌표의 완전한 변환을 유도하는 데 사용할 수 있다. 네트워크의 모든 노드에 대해 절대 위치를 제공하는 데 필요한 앵커 노드는 세 개 뿐 (2차원 평면의 경우)임이 큰 장점으로 작용한다.

(3) dw-MDS: Distributed Weighted MDS

수신 신호 세기와 노드간 연결 정보를 사용하는 무선 위치 측위 기술 중에서 dw-MDS 알고리즘은 모든 쌍 방향 거리 측정을 기반으로 한 MDS 알고리즘에 비해 계산 복잡도와 위치 추정 오차를 줄이는 잘 알려진 방법이다. dw-MDS는 원 홉 커버리지에서 거리 측정을 사용하

고보다 정확하게 가중치를 부여하는 거리 측정을 허용하는 가중 비용 함수와 관련된 SMACOF (the scaling by majorizing a complicated function) 함수 알고리즘을 표준화하여 크기 조정을 반복적으로 해결한다. dw-MDS는 분산 방식에도 불구하고 국지적 위치 오차 측면에서 기존 MDS보다 우수한 성능을 보여준다.

나. 대표 상용 기술

(1) GNSS와 A-GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite Systems)는 위성 신호의 수동 수신을 사용하여 수신기의 위치, 속도 및 시간을 해결하는 위치 확인 시스템이며, 이에 셀룰러 네트워크 정보를 결합한 형태를 A-GNSS (Assisted GNSS)라 한다. 이 기술들은 수신기가 신호의 도달 시간을 사용하여 거리를 계산하므로 LOS 조건을 필요로 한다. 따라서 3D 위치 수정을 위해 최소한 4 개의 위성의 명확한 가시성이 필요하다. 위성 위치, 전파 지연 (대기 효과) 및 도플러 효과를 알고 있어야 한다. GNSS 신호는 낮은 대역폭 (따라서 다중 경로 해상도가 낮다)으로 인해 다중 경로 오류의 영향을 받기 쉽고 밀도가 높은 도시 시나리오에서는 문제가 될 수 있다. GNSS 기반 기술의 장점은 저비용이며, 절대 위치 면에서 가장 정확하고 정확하다는 것이다. 반면, 가장 큰 단점은 간섭에 대한 신호의 취약성이다. 아울러, 높은 전력 소모를 필요로 하기 때문에 적은 양의 배터리를 탑재한 센서로 이루어진 특정 애플리케이션에서 문제가 될 수 있다.

(2) E-CID: Enhanced Cell ID

E-CID는 단말의 위치 측위를 위해 다양한 측정을 필요로 한다.

- 도래각 (AoA: angle of arrival)
- 경로 손실 모델을 통한 수신 신호 강도 (RSSPLM: received signal strength & pathloss model)
- 타이밍 진행 유형 1 (TADV1) 또는 유형 2 (TADV2)

AoA는 다중 안테나 시스템을 필요로 한다. 추정된 각도의 양자화 및 다중 경로 에러로 인해 기준 기지국으로부터의 더 먼 거리에 대해서는 위치 정확도가 낮다.

RSSPLM은 전파 모델 자체가 얼마나 정확한지에 달려 있다. 두 측정 신호는 다중 경로에 의한 오류의 영향을 받기 쉽다. 두 가지 방법을 결합하여, 단일 기지국은 단말 위치의 추정치를 제공 할 수 있다. 위의 두 측정 신호의 단순성은 대부분의 시스템이 여전히 이 두 가지만을 사용하는 이유이다 (이것은 정확도가 낮은 IoT 요구 사항에 이점이 될 수 있음).

또한, 시스템이 RSS를 주기적으로 추적하기 때문에 추가 비용이나 에너지 소비가 RSSPLM 측정에 필요로 하지 않는다. AoA 배치는 다중 안테나 시스템으로 인해 더 많은 비용이 들 수 있지만 massive MIMO 등을 고려한다면 큰 문제가 될 것은 없다. RSSPLM은 AoA에 비해 간섭에 조금 더 민감하다.

TADV1은 왕복 시간 측정이고, 상향 및 하향 링크에 대한 LOS 조건 및 대칭 전파 채널은 거리를 적절하게 추정하기 위해 필요한 가정이다. TADV2는 동일한 양을 측정하지만 단말 및 기지국 동기화를 시간 및 위상에서 사용한다. (TDD: Time Division Duplex)가 구현되어있는 LTE에 적용 가능). 따라서 단일 업 링크 프레임에서 이동 시간을 계산할 수 있다. 또한 TADV1 및 TADV2 양은 하드웨어 시간 소인에 따라 정확한 범위를 제공한다. TADV1 및 TADV2는 AoA 및 RSSPLM과 비교하여 RF 체인의 하드웨어 전파 지연 오류 (아래 텍스트에서 자세히 설명)에 대해 매우 민감하다. 또한 두 타임 스탬프 절차의 해상도는 두 개의 LTE 기본 시간 단위 (Ts)로 제한됩니다. Ts는 20MHz 대역폭의 경우 약 32.6 나노 초와 같다. 타임 스탬프 분해능은 샘플링 주파수와 관련이 있으며, 이것은 널리 알려진 Nyquist-Shannon 정리를 통한 시스템의 대역폭에 비례한다. 원칙적으로 두 신호 사이의 타이밍 오프를 하나의 샘플보다 작게 해결할 수는 없다 (가장 간단한 예는 교차 상관 함수이며 피크는 샘플의 두 신호의 시간차를 나타낸다).

(3) OTDoA: Observed TDoA 와 UTDoA: Uplink TDoA

두 가지 방법은 위치 신호 사이의 기준 신호 시간차 (RSTD: Received Signal Time Difference)를 측정하

는 것과 동일한 원리, 즉 OTDoA의 위치 결정 기준 신호 (PRS: Positioning Reference Signal)와 UTDoA의 사운드링 기준 신호 (SRS: Sounding Reference Signal)를 사용한다. UTDoA의 가장 큰 단점은 OTDoA에 비해 위치 서비스가 필요한 장치의 수와 전력 제한을 전송하기 때문에 여러 기지국이 단말을 청취하는 것이 어려울 수 있다. OTDoA 추정 신호의 장점은 캐리어 집합 (CA: Carrier Aggregation) 방식 (다운 링크 채널이 더 많은 대역폭을 얻음)을 사용하여 더 많은 대역폭을 쉽게 할당할 수 있다는 것이다. O/UTDoA는 Ts의 절반 (즉, LTE의 경우 16.3 나노초)의 최대 해상도를 가진다. 두 방식 모두 LOS 조건, 잘 정의 된 타임 스탬핑 레퍼런스, 위치 측위 프로세스에 참여한 동기화 된 BS (즉, 순간 위상 오프셋에 대한 완벽한 정보)를 가정한다. 기지국 간의 순간 오프셋은 X2 인터페이스를 통해 검색 할 수 있지만 타이밍 오류를 유발하는 가변 네트워크 대기 시간으로 인해 충분하지 않다. 따라서 매우 우수한 동기화가 필수 조건이 된다. OTDoA 및 UTDoA 모두 RF 체인의 전력 증폭으로 인한 전파 지연 변동성으로 인해 레인지 오류가 높아질 수 있다. E-CID 측정 신호와 비교할 때 SRS 및 PRS 신호가 더 많은 대역폭을 사용하므로 O/UTDoA는 더 많은 리소스를 소비한다.

2. 위치 측위 표준화 동향

3GPP 표준화에서는 5G 통신 시스템(New Radio 통신 시스템)의 신규 서비스에 따라 위치 측위의 적용 시나리오와 그에 따른 요구 사항을 정리하였다. 위치 측위를 적용하는 시나리오에는 대표적으로 5G V2X, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), mIoT 시나리오가 있다.

가. 5G V2X^[4-5]

V2X 시나리오는 고속 이동 시나리오와 저속 이동 시나리오로 나눌 수 있다. 고속 이동 시나리오는 차량이 실외에 있는 경우를 가정한다. 대표적으로는 차량 A와 B가 시내 교차로에서 서로 다가오는 경우가 있다. 차량 A와 B는 대략적인 위치정보를 V2X통신을 통해 교환함으로써 사전에 충돌의 위험을 감지할 수 있다. 차량들은 교차로

에 도달하기 전에 100ms단위로 1m이내의 위치 측위 정확도를 갖는 정보를 V2V통신을 통해서 교환한다. 이를 통해 차량의 속도가 60km/h인 경우 교차로에서 1초 정도의 시간 차 (17m정도의 거리 차)를 두고 교차로를 통과할 수 있다. 만약, 차량의 이동 속도가 200km/h와 같이 높은 경우에는 보다 짧은 주기로 위치 정보를 교환하는 것이 필요하다.

저속 이동 시나리오는 차량이 실외와 실내에 있는 경우를 모두 포함한다. 차량이 소펄물 등의 주차장에 진입할 때, 네트워크를 통해 1m이내의 정확도의 위치 정보를 통해 주차 정보를 제공받을 수 있다. 또한, 운전자가 주차된 차의 위치를 찾고자 하는 경우 위치 정보를 통해 주차된 차의 위치를 정확히 파악할 수 있다.

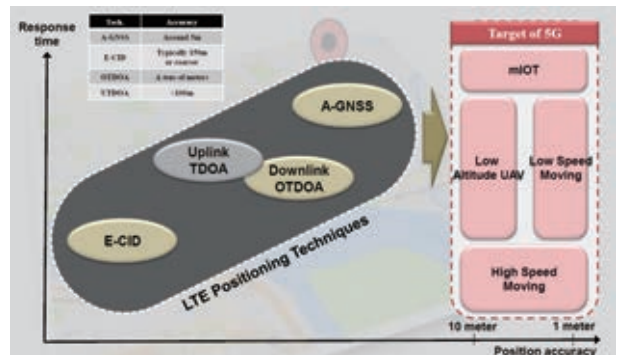
나. UAV^[4]

UAV가 배송을 위해 이용되는 경우에 정확한 위치 정보를 활용할 수 있다. 또한, 응급 상황에서 사람이 신속하게 도달하기 어려운 경우에 UAV가 먼저 도달하여 사건 발생 지역의 영상 정보를 전송하고 응급 물품을 배송하기 위해서 위치 측위를 활용할 수 있다. 또한 UAV가 팀을 이루어서 모니터링, 센싱 등을 수행할 때 위치 측위 정보가 활용될 수 있다.

다. mIoT^[4]

창고, 배송 시스템, 물류 관리 시에 위치 정보가 활용될 수 있다. 각 아이템에는 저복잡 저전력 센서가 부착된다. 각 센서는 아이템 부착 시 수동 또는 자동으로 활성화되며, 각 센서는 상향링크를 통해 위치 정보 등을 송신하고 하향 링크를 통해 ACK 등의 정보를 수신하므로, 해당 시나리오에서는 상향링크 통신이 주가 된다.

상기와 같은 시나리오를 위해서 3GPP TR22.862에서는 5G NR 시스템이 80%이상의 상황에서 3m이하의 위치 측위 정확도를 제공해야 하고, 위치 정보를 요청한 단말에게 10초 이내에 위치 정보를 제공할 수 있어야 한다고 잠재 요구 조건을 설정하였다^[4]. 또한, 차세대 고정밀 위치 측위는 95%이상의 서비스 지역에서 1m이내의 정확도를 요구할 것이라고 예측하였다.



〈그림 1〉 LTE와 5G NR의 위치 측위 정확도와 반응 시간 비교

〈그림 1〉은 5G NR이 목표로 한 위치 측위 정확도와 반응 속도를 LTE의 위치 측위 정확도와 반응 속도를 비교한 그림이다. 〈그림 1〉을 통해 5G의 서비스 들이 전반적으로 LTE대비 높은 정밀도의 위치 측위를 요구함을 알 수 있다. 그러나 반응 속도에 있어서는 서비스마다 차이가 발생한다. mIoT의 경우에는 물류 관리가 주된 목표이므로 빠른 반응 속도는 요구하지 않는 반면, 고속 주행 자동차의 경우에는 빠른 반응 속도를 요구한다. 〈그림 1〉의 LTE 하향링크 OTDOA는 위치 측위 전용 참조 신호를 이용해 위치를 측정한다. 위치 측위 참조 신호는 기존의 cell-specific reference signal만을 이용한 위치 측위로는 한계가 있어서 도입되었다. 단말은 서로 다른 기지국으로부터 수신한 위치 측위 참조 신호의 도착 시간 차를 이용해서 위치 측위를 수행하므로, 위치 측위 참조 신호의 전송 주기에 따라서 위치 측위의 반응 속도가 변화한다. 3GPP TS36.211에서 가장 짧은 위치 측위 참조 신호 전송 주기는 160ms이고 가장 긴 전송 주기는 1280ms로 보여지며^[6], 이를 적절히 활용하여 타겟 시스템의 목적에 알맞는 위치 측위 참조 신호를 적응적으로 활용할 수 있다.

III. 결론

셀룰러 이동통신 환경을 이용한 위치 측위 기법들은 GPS 단절 환경은 물론, 생활의 거의 모든 곳을 커버할 수 있고 별도의 추가적인 장비가 필요 없는 장점이 있다. 이러한 장점을 바탕으로 다양한 고정밀 위치 측위 기술들

이 개발되고 있으며 차세대 이동 통신 시스템의 새로운 요구 조건으로 대두되고 있다. 아울러 점점 밀집되어가는 셀룰러 이동 통신 환경을 고려할 때, 단말 간의 협력적 통신은 기지국-단말 링크에 의존한 위치 측위 기법들보다 우수한 성능을 보일 수 있다. 또한, 정확한 사용자 위치 측위는 단순 위치 기반 서비스를 제공해줄 뿐만 아니라 통상적인 데이터 통신 서비스 (예를 들면 MIMO 빔포밍 등과 같은 무선 자원 관리 기법) 에도 새로운 기회를 열어 줄 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] S. X. Wang and A. M. Taratorin, Magnetic Information Storage Technology, Academic Press, 1999, ch. 12.
- [2] B. Jeon and J. Jeong, "Blocking artifacts reduction in image compression with block boundary discontinuity criterion," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., Vol. 8, no. 3, pp. 345-357, June 1998.
- [3] W. G. Jeon and Y. S. Cho, "An equalization technique for OFDM and MC-CDMA in a multipath fading channels," in Proc. of IEEE Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.
- [4] 3GPP TR 22.862, Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for critical communications, 3rd Generation Partnership Project, V14.1.0 pp. 1-31, September, 2016.
- [5] 3GPP TR 22.886, Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services, 3rd Generation Partnership Project, V15.1.0, pp. 1-58, March 2017.
- [6] 3GPP TS 36.211, Physical channels and modulation, V14.0.0, September, 2016.



이윤희

- 2009년 KAIST 전기 및 전자공학과 학사 졸업
- 2017년 서울대학교 전기 및 정보공학 석박통합과정 졸업
- 2017년~현재 LG전자 CTO 차세대표준연구소

〈관심분야〉

5G 통신 시스템, 무선 자원 관리, 무선 위치 측위



변일무

- 2005년 연세대학교 전기전자 공학과 학사 졸업
- 2007년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2010년 University of Texas at Austin 방문 연구원
- 2013년 연세대학교 전기전자 공학과 박사 졸업
- 2013년~현재 LG전자 CTO 차세대표준연구소

〈관심분야〉

5G 통신 시스템, 채널 코딩, 저지연 고신뢰 통신