



White Paper
Ambient IoT



목차

1. INTRODUCTION	3
1.1 5G 이후의 이동통신 기술 진화 방향.....	3
1.2 5G IoT 기술의 현주소.....	3
1.3 AMBIENT-IOT에 주목해야 하는 이유.....	4
2. AMBIENT-IOT 개요	5
2.1 AMBIENT-IOT의 기술특징.....	5
2.2 표준화 일정.....	6
3. USE CASE & REQUIREMENTS	8
3.1 AMBIENT-IOT USE CASE.....	8
3.2 사업자 관점의 서비스 제공 시나리오 및 주요 USE CASE.....	9
3.2.1 서비스 제공 시나리오	9
3.2.2 주요 USE CASE.....	11
3.3 서비스 REQUIREMENTS	11
4. AMBIENT-IOT 구현을 위한 주요 핵심기술	13
4.1 단말관리 기술	14
4.2 무선신호 간섭제어 기술.....	15
4.3 측위 기술	16
4.4 주파수효율성 향상 기술.....	17
4.5 이동성 지원 기술	18
4.6 인증관련 기술	18
5. CONCLUSION	19
ABBREVIATIONS	20

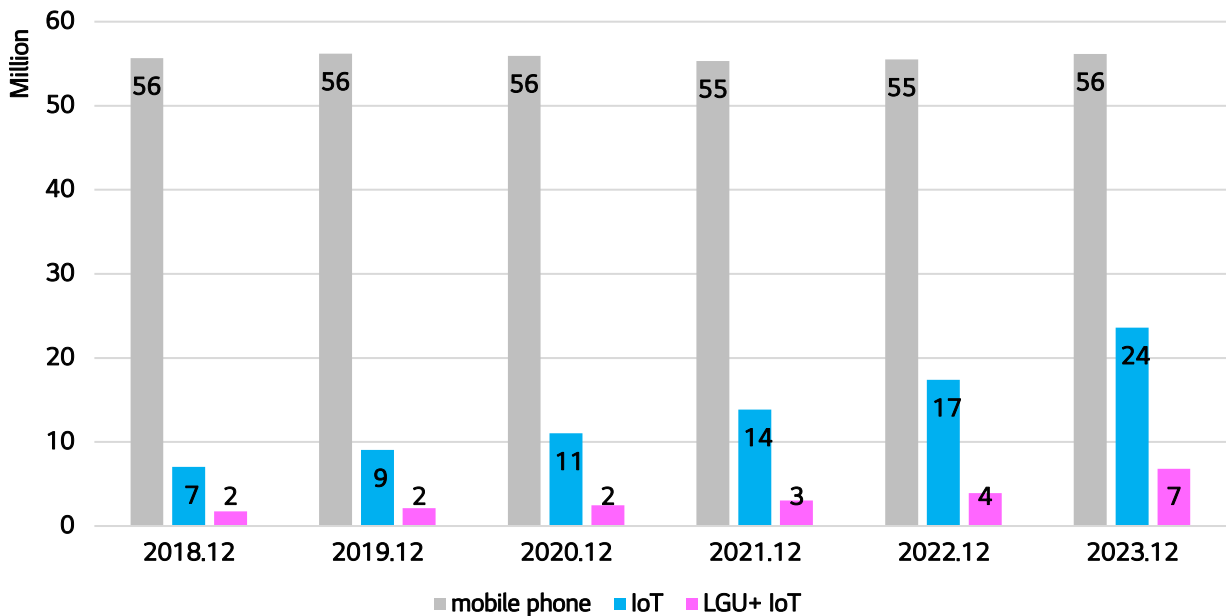
1. Introduction

1.1 5G 이후의 이동통신 기술 진화 방향

그 동안 이동통신 기술은 더 많은 양의 정보를 더욱 빠르게 전달할 수 있는 통신 기술의 개발에 주력하였고, 그 결과 현재는 고화질 영상을 실시간으로 스트리밍하고 대용량 파일을 빠르게 전송하는 것에 전혀 무리가 없을 정도의 네트워크가 구축되어 있다. 모든 기술의 발전이 그러하듯 초기에는 해당 기술의 기본 성능에 초점을 맞추어 진화가 이루어지지만, 기술이 성숙 단계에 이른 후에는 자연스럽게 서비스 영역의 확장에 대한 요구가 발생한다. 현재의 휴대전화가 디지털 카메라와 PMP 등 여타 휴대 기기들의 기능을 흡수하고 중국에는 PDA 까지도 대체하는 스마트폰으로 진화한 것과 같이, 속도 향상에 대한 요구가 이전보다 작아진 6G 기술도 앞으로 어떠한 방향으로 진화될 지에 대해서 생각해봐야 할 시점이다. 3GPP 기반의 이동통신은 현재의 모든 무선 통신 표준들 중 가장 주된 기술 중의 하나로서, 여타의 여러가지 무선 통신 기술이 융합된 플랫폼으로 진화하여 서비스 영역의 확장이 이루어질 수 있다.

1.2 5G IoT 기술의 현주소

5G 에 적용된 수많은 기술들 중에서 IoT 와 관련된 것들은 큰 주목을 받지 못하고 있지만, 실제 이동통신 시장에서 가장 큰 성장률을 보이고 있는 것은 IoT 이다. 한국에서는 2018 년부터 2023 년까지 휴대전화 가입자 수가 0.9% 밖에 증가하지 않은 반면에, 같은 기간 LG 유플러스의 IoT 회선 수가 175 만에서 681 만으로 무려 300% 가까이 증가하면서 한국의 이동통신사 가입 회선 순위가 27 년만에 바뀌는 상황이 발생하였고 이로 인해 대한민국 정부에서 이동통신 가입자 통계 기준을 변경하게 된 일도 있었다.



[그림 1] 한국 이동통신 가입회선 통계

그 동안의 IoT 단말의 진화 방향을 기술적인 측면에서 살펴보면, 보다 작은 복잡도의 하드웨어 설계와 저전력을 달성하기 위하여 제한된 대역폭과 자원만을 사용하는 방향으로 발전되어 왔었고 현재 그 종단에 위치해 있는 것이 NB-IoT 기술이라고 할 수 있다. NB-IoT 는 기존의 3GPP 기술 내에서 극단적인 저전력과 저비용을 달성할 수 있었지만, 그 근본을 이동 통신에 두고 있는 3GPP 의 체계를 그대로 적용함으로 인해서 명확한 한계를 몇 가지 가지고 있는데 그것은 바로 전원 공급을 위한 배터리와 가입자의 인증, 이동성 관리 등을 위해 존재하는

UICC 등이다.

새로운 5G advanced 기술로 검토되고 있는 Ambient-IoT는 NB-IoT 보다도 낮은 복잡도와 저전력을 사용하는 기술이기 때문에 얼핏 NB-IoT 까지 이어져온 3GPP 의 IoT 기술과 동일한 연장선상에 있는 것으로 보여 질 수 있지만 사실 그 접근 방법은 NB-IoT 와는 정반대 방향에서 이루어지고 있다. Ambient-IoT 는 RFID 와 유사한 기술로써 그 통신 방식이 기존의 3GPP 표준과는 구조적으로 큰 차이점이 있는데, 단말 관점에서 기존 UE 와 Ambient-IoT 단말과 두드러진 다른 점으로 아래 2 가지를 들 수 있다.

- 1) 매우 제한적인 용량의 배터리를 탑재하고 있거나, 배터리가 아예 없는 단말도 있다.
- 2) 단말에 UICC 가 탑재되지 않으며, 이동성을 관리하는 UE 라는 개념이 없다.

이 두 가지 차이점만 보더라도 Ambient-IoT 가 그간 3GPP 에서 정의되었던 기술과는 근본적으로 다른 철학을 가진 기술이기 때문에 단말 관리와 네트워크 운용 등에서 크나큰 변경이 수반될 거라는 점을 쉽게 예상할 수 있다.

1.3 Ambient-IoT 에 주목해야 하는 이유

현재 5G advanced 에서 study item 으로 검토중인 Ambient-IoT 와 관련하여, 물류 서비스에서 가장 많이 활용되고 있는 RFID 와 같은 기능이 3GPP 네트워크 내에서 지원될 수 있도록 그 구현 방법에 대한 논의가 이루어지고 있는 중이다. 하지만 6G 에서 완성될 Ambient-IoT 의 목표는 단순히 RFID 에서 제공하던 기능을 이동통신 네트워크 내에서 지원하는 것이 아니다. Ambient-IoT 의 존재 이유는 기존의 단말 기술로는 서비스 제공이 어려웠던 센서 네트워크, 물류, 위치 서비스 등이 실제로 실현 가능한 수준의 경쟁력을 갖추게 함으로써 새로운 비즈니스 기회를 창출하는데 있다.

하나의 예로, 물류 서비스의 각 단계에서 사전에 지정된 위치만이 아니라 제품이 이동하는 전체 경로에서의 위치 정보를 획득하게 됨으로써 유통 과정의 최적화를 위한 유용한 통계 정보를 수집할 수 있으며, 제품 포장에 부착된 태그를 통하여 배송이 완료된 이후에도 포장 용기의 수거 및 폐기 경로 등에 대한 정보를 6G 기지국을 통해 획득하여 자원의 재활용과 환경 보호를 위해 활용될 수도 있을 것이다. 하지만 그보다 더욱 큰 서비스 제공 기회는 B2B 보다 B2C 에서 발생할 수 있다. 고객은 자신의 물건에 Ambient-IoT 태그를 붙이는 것 만으로도 중요한 물건의 위치를 추적하고 이동경로를 확인할 수 있다. 예를 들어, 이미 많은 사람들이 노트북 등에 붙이고 있는 캐릭터 스티커에 Ambient-IoT Tag 가 내장되면 더 이상 분실한 물건의 위치를 찾기 위해 많은 시간을 허비할 필요가 없을 것이다. 또한 수많은 위치에서 정보를 수집해야 하는 sensor network 구축에도 Ambient-IoT 가 유용하다. 배터리 없이 동작 가능한 저가의 Ambient-IoT 단말을 다량으로 설치하면 별도의 유지 관리가 필요 없으며, 네트워크 운용 관점에서도 수많은 단말들을 개별 UE 단위로 관리하지 않아도 되기 때문에 큰 부하 없이 트래픽을 소화할 수 있게 된다. 진정한 ubiquitous network 가 Ambient-IoT 기술을 통해 6G 에서 구현되는 것을 기대하는 것도 무리가 아닐 것이다.

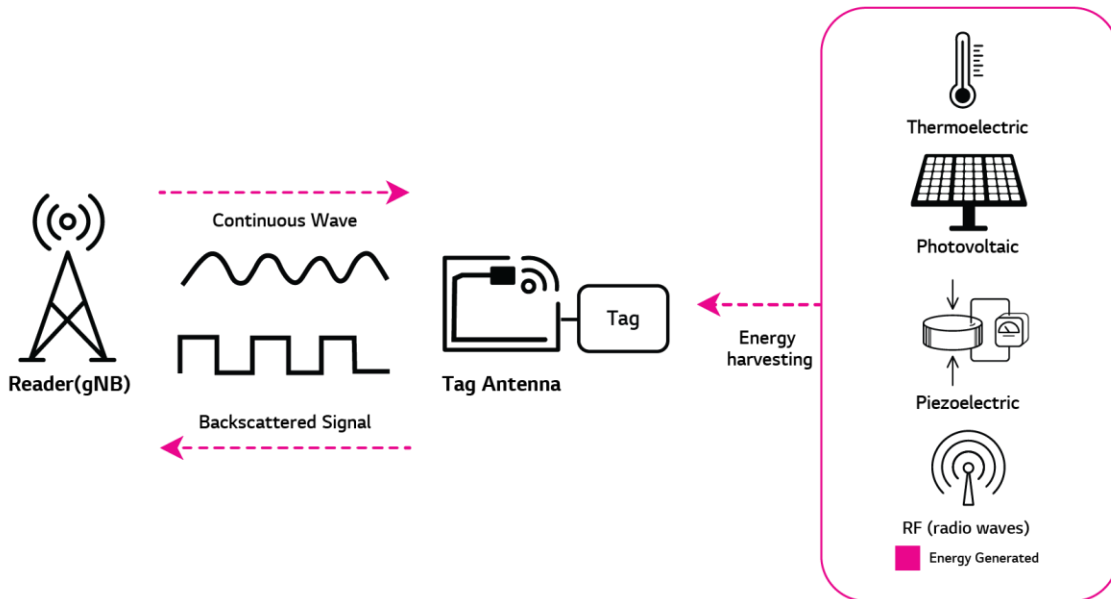
본 백서에서 우리는 3GPP 기반의 Ambient-IoT 기술을 통해서 현실화하고자 하는 서비스 시나리오들과 이를 구현하기 위한 기술적 요구사항들을 살펴볼 것이다. 그리고 이를 통해서 Ambient-IoT 가 기존의 3GPP 내의 다른 기술들과 근본적으로 어떠한 차이점이 있는지를 명확히 알 수 있을 것이다.

2. Ambient-IoT 개요

2.1 Ambient-IoT 의 기술특징

3GPP 에서는 산업계의 다양한 요구사항을 수용하기 위해 eMTC, NB-IoT 및 RedCap 등과 같은 IoT 와 연관된 기술이 도입되었다. 일반적으로 IoT 단말들은 리튬 배터리 등의 상용 배터리를 탑재하여 기기 수명이 제한되어 있어 주기적으로 교체해야 하거나 재충전이 필요하며, 배터리 교체 등의 문제로 운영 비용의 증가 및 장소/지역에 제한이 있었다.

Ambient-IoT 의 가장 큰 2 가지의 기술특징은, 배터리가 아예 없거나 전력의 공급원을 전파, 빛, 진동, 열 또는 다른 적절한 전력원에서 공급받아 동작하는 energy harvesting 과 단말(태그)의 안테나가 외부로부터 받은 Continuous Wave(CW) 신호의 흡수율을 조정함으로써 반사되는 신호의 세기를 다르게 하여 data 를 전송하는 backscattering 기술이다. 즉, 단말이 직접 RF 신호를 생성하여 보내지 않고 리더의 신호를 반사하여 전송함으로써 보다 싼 가격(단말당 수 센트 이하), 작은 크기(동전 크기), 유지보수를 최소화할 수 있으며 이러한 차이점을 통해 다양한 산업에서 활용할 수 있는 기술로 주목받고 있다.



[그림 2] Energy Harvesting & Backscattering

Ambient-IoT 통신의 기본 절차는 아래와 같이 이루어진다.

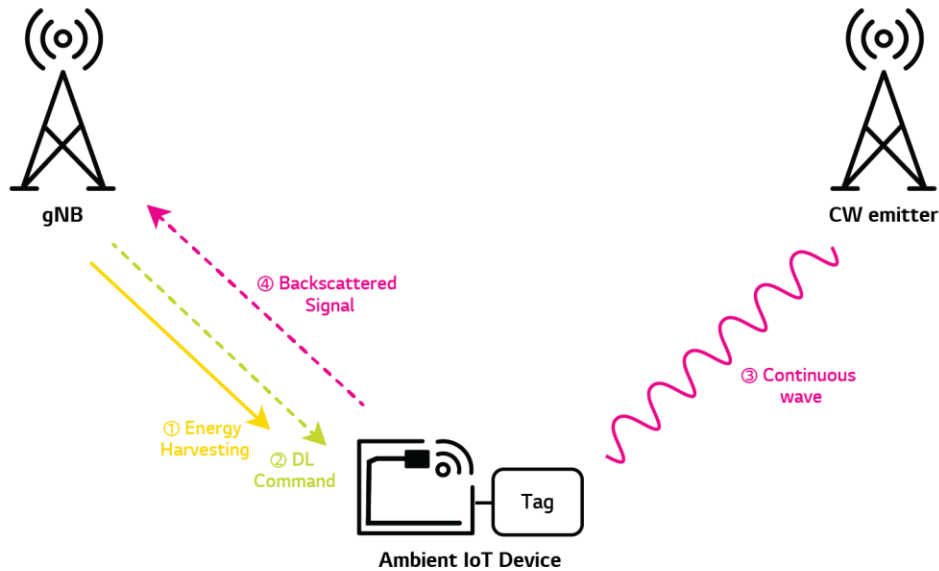
1. Energy Harvesting 으로 전원 공급
: Reader 역할을 수행하는 기지국 영역내에 Ambient-IoT 단말이 위치할 경우 기지국의 전파신호를 전력원으로 하여 하향링크 제어정보를 수신하기 위한 준비를 마친다.
2. 하향링크 제어정보 전송
: 기지국에서는 Paging 과 같은 메시지로 개별 단말 혹은 단말 그룹들에 대한 명령어를 전송하게 된다. 단말 그룹은 사업자, 제조사, Tag 의 종류 등이 될 수 있으며 명령어를 통해 각 그룹별로 응답이 가능하도록 설정할 수 있다. 이때, 단말들의 전송 시점 결정에 사용되는 최대 time slot 정보도 전달하게 된다.

3. Continuous Wave 공급

: Ambient-IoT의 주요 기능인 Backscattering 을 위해 continuous wave 신호를 단말에 공급해야 한다. 이 신호는 기지국에서 직접 전송하거나 별도의 emitter 를 통해 전송할 수 있다.

4. Backscattered signal 로 단말 ID 전송

: 하향링크 제어정보를 수신한 단말들은 단말 ID 전송을 위해 time slot 을 무작위로 선택하여 전송을 시도한다. 동일한 time slot 에 다수의 단말들이 접속을 시도할 경우 1 개의 단말만 접속을 허용하며 실패한 단말은 다음 time slot 혹은 하향링크 제어정보까지 대기 후 재시도 한다.



[그림 3] Ambient-IoT Scenario

2.2 표준화 일정

3GPP 에서도 면허대역에서의 LPWA 기술을 지원하기 위한 기술을 표준화하고 있다. Release 13 에서 저사양 단말인 LTE-M 및 NB-IoT 를 표준화하였으며 5G 시스템에서 IoT 를 지원하기 위한 기술을 발전시키고 있다. 5G 초기 규격인 Release 15 에서는 빠른 5G 의 상용화를 위해 eMBB 기능에 집중함에 따라 별도의 IoT 기능을 도입하지 않았지만, Release 16 부터 5G 시스템에서의 IoT 기능을 지원하게 되었다.

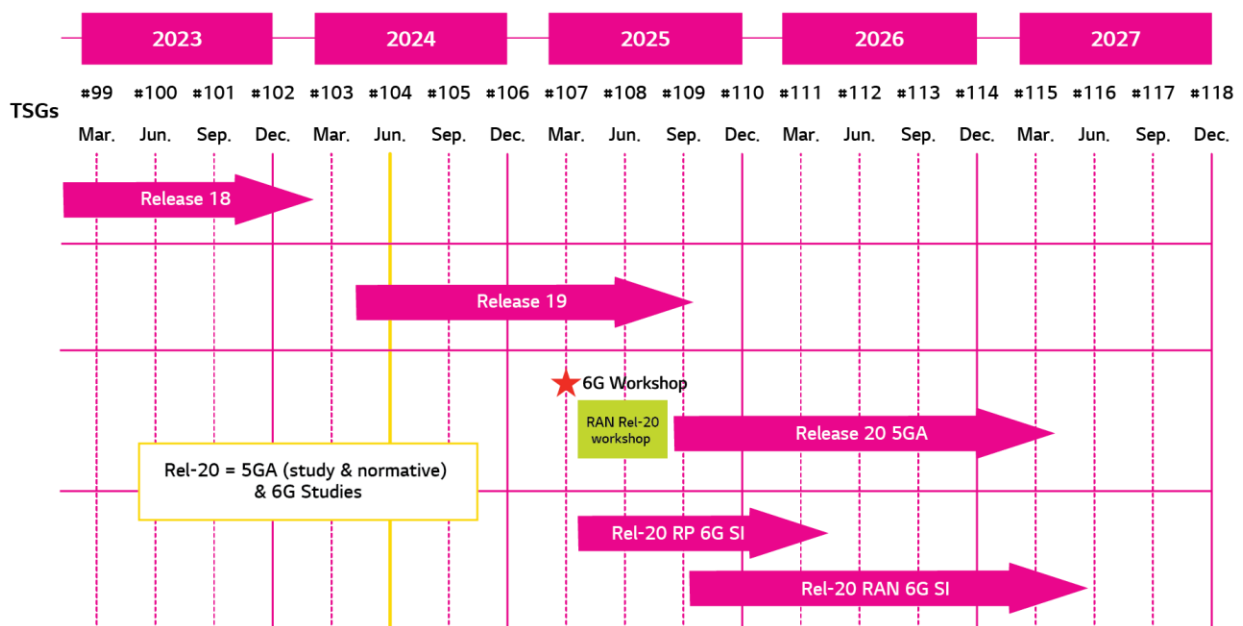
Release 16 에서는 5G 주파수의 In-band 대역에서 LTE-M 및 NB IoT 을 지원하여 LTE 의 IoT 기술을 5G 의 다른 서비스들과 동시에 제공할 수 있게 되었으며 Release 17부터 RedCap란 이름으로 LTE Cat4, Cat1 수준의 단말 성능을 지원하게 되었다.

	LTE Rel-16				Redcap Rel-17		Redcap Rel-18
	Cat.M1	Cat.M2	Cat.NB1	Cat.NB2	FR1	FR2	FR1
Frequency	In-band FR1		In-band/Guard band & Standalone FR1		FR1	FR2	FR1
DL peak rate	~300kbps	~2.4Mbps	~27kbps	~127kbps	150Mbps	150Mbps	10Mbps
UL peak rate	~375kbps	~2.6Mbps	62kbps	~159kbps	50Mbps	50Mbps	10Mbps
Battery life	> 10 years				Up to few years		
Maximum Coupling Loss	164dB				144dB		TBD
Coverage	100km		120km		100km		
Latency	< 10 sec				5-10ms safety sensor, 100ms others		
Reliability	99% ~ 99.9%				99.99%		
Bandwidth	1.4 MHz	5 MHz	200 kHz	200 kHz	20 MHz	100 MHz	20 MHz (BB 5 MHz)

[표 1] 3GPP LPWA 기술 비교

Release 18에서는 외부에서 에너지를 공급받는 Ambient-IoT에 대해 RAN 차원에서 연구를 진행하여 Use case 및 요구사항에 대해 정의하였다. Release 19에서는 indoor inventory 및 command use case에 포커싱하여 evaluation 및 feasibility에 대한 연구를 진행하고 있다.

Release 19에서 고려하지 않은 다양한 use case 지원을 위해 Release 20에서도 측위 지원 및 보안 등의 Ambient-IoT 진화가 지속될 것으로 예상된다. 또한 무전원/대규모 접속 등의 특징으로 많은 사업자/제조사들이 6G의 주요 후보기술로 고려하고 있어 6G에서도 Ambient-IoT 지원을 위한 표준화가 이루어질 것으로 예상된다.



출처 - Ambient-IoT: A missing link in 3GPP IoT Devices Landscape

[그림 4] 3GPP 표준화 일정

3. Use case & Requirements

3.1 Ambient-IoT Use case

Ambient-IoT 의 특성을 활용하면 다양한 Use case 에 적용이 가능하다. 첫째로, 수십 또는 수천억 개의 저비용 IoT 단말의 공급이 가능하여 유통/공급의 전체 과정에서 부가 가치를 제공할 수 있어 재고 관리, 위치 확인, 물류 관리 등의 서비스에 적용이 가능하다. 둘째로, 이동통신 네트워크와 결합하면 자산의 위치 확인 및 추적 서비스를 전국망 단위로 제공할 수 있다. 마지막으로, 주변 환경 에너지를 활용하여 배터리 교환 없이 영구적으로 작동할 수 있으므로 환경 모니터링 등 유지 보수가 어려운 서비스에도 적용이 가능하다.

Ambient-IoT 의 다양한 Use case 에 대하여 3GPP SA WG1 에서 논의하였고, 환경 모니터링, 헬스케어, 물류/재고 관리, 스마트 시티/팩토리 등 30 개의 사용 사례와 3 개의 트래픽 시나리오를 TR22.840 에 정리하였다(TR22.840 "Study on Ambient power-enabled Internet of Things"). 이 연구를 바탕으로 3GPP RAN 에서는 3GPP 시스템 내에서 A-IoT 의 타당성 연구를 진행하여 SA1 의 Use case 를 아래와 같이 8 가지로 분류하였다(TR38.848 "Study on Ambient IoT in RAN").

RAN Use case	Applicable SA1 Use case
Indoor inventory	Automated warehousing Medical instruments inventory management and positioning Non-Public Network for logistics, Automobile manufacturing Airport terminal / shipping port, Smart laundry Automated supply chain distribution, Fresh food supply chain End-to-end logistics, Flower auction, Electronics shelf label
Indoor sensor	Smart homes, Base station machine room environmental supervision Smart laundry, Smart agriculture, Smart pig farm
Indoor positioning	Finding Remote Lost Item, Location service Ranging in a home, Personal belongings finding Positioning in shopping centre, Museum Guide
Indoor command	Online modification of medical instruments status Device activation and deactivation, Elderly Health Care Device Permanent Deactivation, Electronic shelf label
Outdoor inventory	Medical instruments inventory management and positioning Non-public network for logistics, Airport terminal / shipping port Automated supply chain distribution
Outdoor sensor	Smart grids, Forest Fire Monitoring, Dairy farming Smart manhole cover safety monitoring, Smart bridge health monitoring
Outdoor positioning	Finding remote lost item, Location service Personal belongings finding
Outdoor Command	Online modification of medical instruments status Device activation and deactivation, Elderly Health Care Controller in smart agriculture

[표 2] 무선 액세스 네트워크 (RAN) 사용사례와 SA1 사용사례 및 트래픽 시나리오 간의 매핑

3.2 사업자 관점의 서비스 제공 시나리오 및 주요 Use case

기존 IoT 서비스는 일반적으로 IP 기반으로 E2E 통신을 사용하므로, 사업자의 역할은 단순히 네트워크 인프라를 통해 연결성을 제공하는 것으로 그쳤다. 그러나 Ambient-IoT를 위한 사업자의 역할은 서비스 애플리케이션에서 단말을 직접 컨트롤하여 다양한 서비스를 제공할 수 있도록 네트워크 내에 Ambient-IoT를 위한 기능들을 구현하고, 여러 3rd party 서비스와 쉽게 연동 가능한 플랫폼을 구축 및 제공하는데 가장 큰 차이점이 있다. 본 장에서는 6G에서 사업자의 Ambient-IoT 서비스 제공 시나리오와 실질적으로 사업자가 제공할 수 있는 주요 use case를 살펴보고자 한다.

3.2.1 서비스 제공 시나리오

그림 4는 통신 사업자가 제공하는 Ambient-IoT 서비스의 구조도를 보여준다. 이동통신 시스템에서의 Ambient-IoT 서비스는 크게 1) Ambient-IoT 단말, 2) 무선 접속을 위한 기지국과 코어 네트워크, 3) 이동통신 네트워크와 3rd party 서비스 등을 연결하는 플랫폼, 4) 서비스 애플리케이션으로 이루어지며 각각의 역할은 다음과 같다.

1) Ambient-IoT 단말 (Device)

단말은 사업자가 직접 판매하거나, 3rd party에서 제공하는 인증된 단말을 사용자가 직접 구매 후 등록하여 사용할 수도 있다.

2) 이동통신 네트워크 (Network)

이동통신 네트워크는 Ambient-IoT 기기의 무선 연결을 위한 RAN과 단말의 인증, 관리, 제어 등의 기능을 수행하는 Core로 구분할 수 있다.

단말은 기지국, 또는 기지국과 단말 사이의 intermediate node를 통해 네트워크에 접속한다. Intermediate node는 해당 이동통신 사업자의 가입 단말인 UE가 될 수 있다.

Core는 단말 관리, 인증, 제어 등의 기능을 수행하며, 서비스 제공에 필요한 위치 확인, 센싱 데이터 등의 정보에 대한 접근을 네트워크 기능 노출을 통해 제공한다.

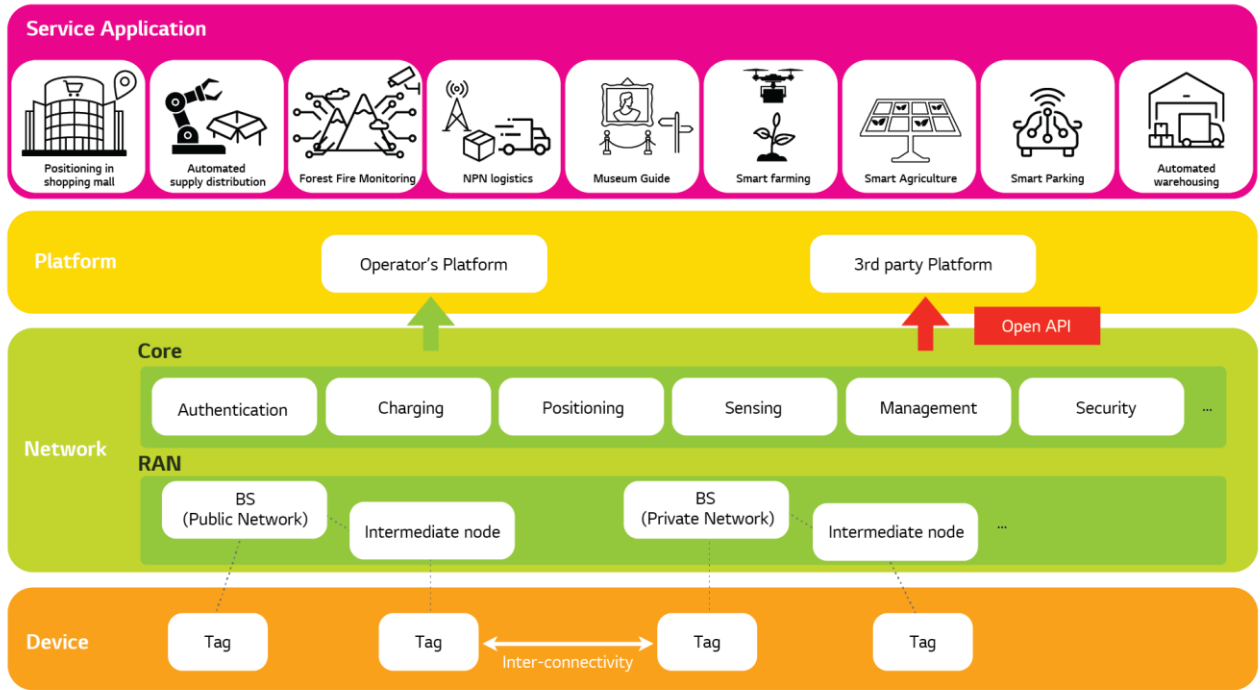
Ambient-IoT 서비스를 이동통신 네트워크를 통해 제공할 경우 전국망을 사용할 수 있는 장점이 있고, 단말의 관리나 인증 뿐 아니라, 위치 확인 등의 네트워크 부가 기능을 쉽게 제공받을 수 있다.

3) Ambient-IoT 서비스 플랫폼 (Platform)

서비스 애플리케이션과 이동통신 네트워크를 연결한다. 사업자가 네트워크 안에 구현할 수도 있고, 네트워크와 별도로 전용 플랫폼으로 구성하거나, 3rd party 플랫폼을 활용할 수도 있다. 이 때, 표준화된 Open API를 활용하면 네트워크 기능을 쉽게 애플리케이션에 제공 가능하여 다양한 서비스와의 연동을 용이하게 할 수 있다.

4) 서비스 애플리케이션 (Service Application)

창고 관리, 공급망 유통, 신선 식품 등 재고 관리, 분실물 찾기 등의 위치 서비스, 환경 모니터링을 위한 센서 네트워크, 스마트팜 등의 Ambient-IoT 기기를 활용한 서비스들을 제공한다. 서비스 시나리오에 따라 사업자가 애플리케이션을 직접 제공하거나, 3rd party 애플리케이션을 통해 제공할 수 있다.



[그림 5] Ambient-IoT 서비스 구조도

분실물 찾기를 대표 사례로 들어 Ambient-IoT 의 사용 시나리오를 살펴보면 다음과 같은 순서로 실제 서비스가 이루어질 수 있다.

- 1) 고객이 Ambient-IoT 태그를 구입하여 원하는 물품에 부착한다. 노트북에 붙이는 캐릭터 스티커 등이 이에 해당될 수 있다.
- 2) 원격 분실물 찾기 서비스 이용을 위해 애플리케이션 서버에 태그 정보(태그 ID) 등을 등록하고, 서비스 사용을 위한 요금제 및 네트워크 기능(위치, 센싱 등)을 선택한다.
- 3) 부착된 태그는 기지국 혹은 intermediate node 를 통해 네트워크 접속하여 원격 분실물 찾기 서비스와 통신한다.
- 4) 태그와 원격 분실물 찾기 서비스 간에 연결과 등록이 완료되면, 중요한 물품의 위치를 휴대폰의 애플리케이션을 통해 실시간으로 확인할 수 있다.

Ambient-IoT 서비스에서 사업자의 주요 역할을 살펴보면, 전국망을 통한 ambient-IoT 단말의 연결성 제공과 단말 등록, 인증, 운영 등의 네트워크 기능 지원이 있다. 그리고 3rd party 서비스 제공자에게 네트워크 기능을 개방함으로써 다양한 서비스 애플리케이션에 접목되는 플랫폼의 역할을 수행할 수 있다. 또한, 다수의 통신 단말을 활용한 정교한 위치 서비스, 다양한 환경 및 사물 모니터링 등 센서 네트워크를 활용한 서비스 제공을 통해 새로운 비즈니스 모델들을 창출 할 수 있다.

사업자 관점에서 제공할 수 있는 서비스 시나리오들을 살펴보면 서비스 애플리케이션, 플랫폼, 이동통신 시스템, 단말까지 모두 토탈 서비스로 직접 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 3rd party 서비스 애플리케이션과 플랫폼에 이동통신 네트워크 기능을 노출하여 단말의 인증, 관리, 제어 등의 네트워크 코어 기능 제공함으로써 다양한 수익을 창출할 수 있다.

3.2.2 주요 Use case

비용 효율적으로 대규모 IoT 장치의 구축이 가능해져 다양하고 정교한 위치 서비스 및 센싱 기능을 통해 다양한 사물에 대한 모니터링이 가능해지면 스마트 헬스 케어, 스마트 낙농 등 다양한 스마트 서비스에 적용이 가능하다. 그리고, 다수의 IoT 장치들의 간섭을 제어하고, 전국망을 사용하는 대규모 네트워크 지원을 통해 기존 RFID 와 같은 태그의 한계를 해결할 수 있다면 물류 전반에 걸친 A-IoT 사용으로 supply chain 의 전 과정의 관리가 가능하다. 또한, 이동성 고려 및 실외 환경으로 확장을 통해 자산/아이 찾기 등의 새로운 서비스 제공도 가능해질 것이다. Ambient-IoT 를 활용한 주요 Use case 는 아래와 같다.

1. **고가 물품의 자산 관리 및 위치 파악:** Ambient-IoT를 지원하는 귀금속, 고가 전자 제품 등을 구매하거나 고객이 별도의 Ambient-IoT 스티커를 원하는 제품에 부착하고 통신사 멤버십 서비스 등을 통해 ID를 등록하면 원하는 물품의 위치 정보를 제공하고 저장된 이동 이력 확인
2. **아이, 애완동물의 위치 확인:** 아이나 애완동물에 Ambient-IoT 단말을 착용하거나 부착하여 기지국과 Intermediate 노드 역할을 하는 다수의 UE를 활용하여 실시간으로 정확한 위치 정보를 제공하여 분실 및 미아 방지 서비스를 제공하고, 위험지역에 진입 시 알람 경보 등의 서비스 제공
3. **물류 관리 자동화:** 물류 센터의 다수의 물품에 Ambient-IoT 태그를 부착하여 물류의 입/출입 재고를 관리하고 상품의 위치를 모니터링하며, 출발지와 도착지 등 정보를 바탕으로 물류 자동 분류 및 실시간 추적, 관리 제공
4. **콜드체인 기술 활용:** 수산물, 육류, 신선 식품 등의 유통 기한을 고려하여 저장 및 재고 관리, 제품 위치에 따라 필요 매장의 실시간 수요 데이터를 조합하여 신선도를 유지하고 운송 과정에서 온/습도 등 환경 센싱 정보로 배송 상태 및 이력 정보 제공
5. **스마트 팩토리 활용:** 생산 진행 상황을 모니터링하고 부품 또는 완제품에 대한 재고 관리 및 근무자의 위치와 작업 진행 여부 확인, 주요 자산에 대한 관리 기능 제공
6. **스마트 농축수산업 사용:** 온도, 습도, 조도, 이산화탄소, PH 등 농업에 필요한 센싱 정보를 수집하여 모니터링 및 환경 제어를 통해 최적의 환경 조성. 낙농업에서 가축의 체온 측정을 통한 건강 상태 확인 및 질병 여부 감지
7. **환경 모니터링을 통한 자연 재해 예방:** 극한 환경에서도 동작이 가능한 Ambient-IoT 단말의 특성을 활용하여, 오지 및 고산 등 사람이 직접 상주할 수 없는 장소에 환경 센싱 정보 모니터링을 통해 산불, 홍수 등의 자연 재해 예방

3.3 서비스 Requirements

Ambient-IoT 서비스를 이동통신 네트워크에서 지원하기 위해서는 필요 기능 측면과 성능 요구사항 측면을 고려해야 한다. 3GPP 표준 문서인 TS 22.369 에 정의되어 있는 필요 기능은 통신, 측위, 관리, 수집된 정보 및 네트워크 기능 노출, 비용 청구, 보안 및 개인 정보 보호가 있으며, 성능 요구사항은 재고, 센서 데이터 수집, 자산 추적 등의 각 서비스별로 분류되어 있다.

또한 3GPP RAN 에서는 5G Ambient-IoT 단말 디자인에 반영되어야 할 9 가지 측면 및 요구사항에 대해 TR 38.848 에 정리하였다. 여기서 Ambient-IoT 서비스 지원을 위한 단말 타입은 에너지 저장공간이 없고, 독립적인 신호 생성 및 증폭이 불가능한 타입 A, 에너지 저장공간을 가지고 있고, 이를 통해 반사하는 신호를 증폭 가능하나 독립적인 신호 생성은 불가능한 타입 B 와 에너지 저장공간을 가지고 있고 독립적인 신호 생성이

가능한 타입 C 의 총 3 가지로 구분하였고, 공통 요구사항 및 각 Ambient-IoT 단말 타입의 요구사항은 다음과 같다.

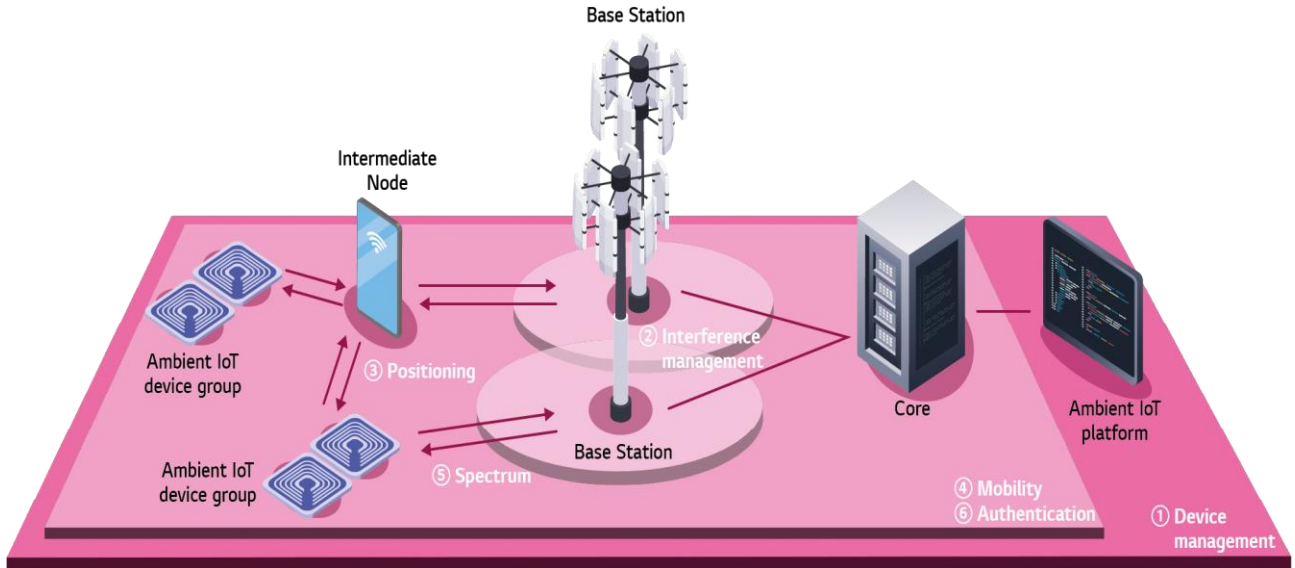
	Type A	Type B	Type C
Power Consumption	$\leq 1 \mu\text{W}$ or $\leq 10 \mu\text{W}$	Type A < Type B < Type C	$\leq 1 \text{ mW}$ to $\leq 10 \text{ mW}$
Complexity	Comparable to UHF RFID ISO18000-6C (EPC C1G2)	Type A < Type B < Type C	Orders-of-magnitude lower than NB-IoT
Coverage	Maximum distance of 10 – 50 m for indoor, Maximum distance of 50 – 500 m for outdoor		
User experienced data rate	Maximum not less than 5 kbps, and minimum not less than 0.1 kbps		
Maximum message size	1000 bits		
Latency	1s ~ 10s		
Positioning accuracy	Cellular network: 1~3 meters @ 90% indoor location, Several tens of meters @ 90% outdoor location Device: 1~3 meters @ 90% indoor and outdoor location		
Connection/device density	150 devices per 100m ² for indoor scenarios. 20 devices per 100m ² for outdoor scenarios.		
Moving speed of device	10km/h		

[표 3] Ambient-IoT 단말 디자인 타겟 및 요구사항

3GPP 에서 Ambient-IoT 서비스를 제공을 위해 서비스별 성능 요구사항, 단말 타입에 대한 요구사항을 논의하고 있으나, 5G advanced 에서는 한정된 시나리오에서 제한된 단말 타입의 Ambient-IoT 를 주요 타겟으로 하고 있다. 위에서 언급된 다양한 기능 및 Use case 들을 실제로 지원할 수 있는 Ambient-IoT 기술의 표준화는 6G 에서 비로소 구현이 가능할 것이다. 또한 6G 에서는 5G 성능 요구사항과 비교하여 단말 밀집도, 서비스 커버리지, 측위 정확도, 기기의 이동속도 등에서 성능 향상이 있을 것으로 예상된다.

4. Ambient-IoT 구현을 위한 주요 핵심기술

본 장에서는 사업자 관점의 Ambient-IoT use case 를 구현하기 위한 핵심기술에 대해 기술하고자 한다. 현재 표준에서는 디자인 타겟을 논의한 상태이고 구체적인 기술에 대해서는 논의가 되기 전이다. Ambient-IoT 는 기본적으로 RFID 의 무선구간 기술을 차용하지만, 이동통신을 기반으로 하는 Ambient-IoT 는 RFID 와 다른 측면이 많이 있다. 3GPP 에서는 UICC 를 지원하지 않는 단말을 처음으로 지원하는 것이고, 이를 위해 무선 프로토콜부터 관리, 인증까지 고려해야 할 측면이 많다. 본 백서에서는 use case 와 디자인 타겟을 고려했을 때 구현을 위해 필요한 기술을 6 가지 측면 (단말관리, 간섭제어, 측위, 이동성, 주파수, 인증)에서 살펴보았다. 각 측면에서는 현재 논의되는 내용과 더불어 개선을 위해 필요한 사항 및 기술에 대해 기술하였다.



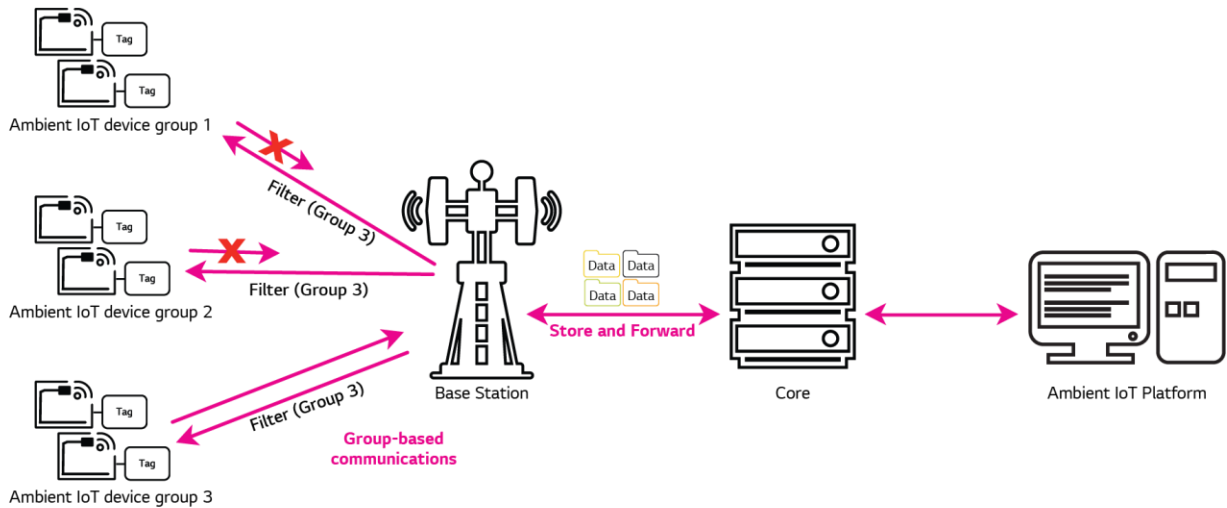
[그림 6] 주요 핵심기술 구조도

4.1 단말관리 기술

Ambient-IoT 단말의 형태는 주로 자재관리와 같이 여러 단말에 부착이 되는 형태이므로 굉장히 많은 수의 단말이 하나의 기지국과 통신을 하게 된다. RFID 에서는 단말 하나씩 통신하는 방법만 고려하고 있고, 통신대상 단말을 일부만 선택할 수 없는 제약도 있다. 또한 단말 수가 많아지더라도 통신하는 시간을 늘리는 방법으로 통신 충돌을 줄이는 방법만 사용할 뿐 효율적으로 통신을 할 수 있는 방법이 없다.

많은 단말이 있는 환경에서도 효율적으로 통신하기 위해서는 다음 두가지에 대한 고려가 필요하다. 첫번째는 그룹 기반의 paging 방식이다. Ambient-IoT 단말의 ID 는 사업자 번호, 제조사 번호, 고유번호 등 여러 field 로 구성될 것으로 예상된다. 이 때 기지국에서 Ambient-IoT 단말과 통신을 시도할 때 모든 단말을 대상으로 통신을 하는 것이 아니라 단말 ID의 특정 field의 값의 일치여부를 판단하는 조건을 두어 필요한 단말만 통신을 할 수 있다.

두번째는 기지국에서 수신 받은 단말 ID 를 코어로 전송할 때 여러 단말 ID 를 모아서 전송을 하는 방식이다. 이는 개별 단말 ID 를 따로 전송하게 되어 코어구간에서 시그널링 부하가 큰 기존방식의 문제를 해결할 수 있다. 이 때 단말 ID 를 전송하는 조건으로는 특정 그룹의 ID 가 다 모였거나, 사전에 정해둔 시간이 지났거나, 일정 사이즈의 데이터가 모였거나 등을 고려할 수 있다.



[그림 7] 단말관리 기술 구조도

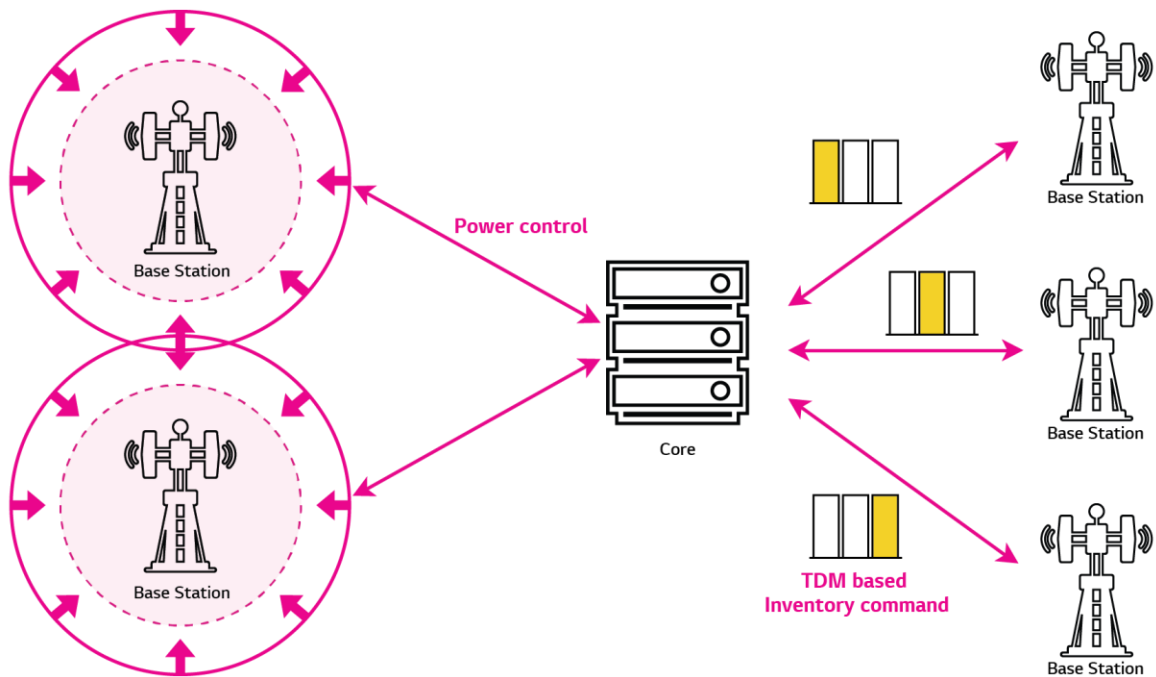
4.2 무선신호 간섭제어 기술

일반적인 이동통신의 경우 도심지역에서는 많은 사용자의 트래픽을 수용하기 위해 기지국 설치간격을 좁게 두어 한 지역에서 여러 기지국의 RF 신호가 중첩되는 상황이 발생할 수 있다.

이 경우, 일반 단말은 기지국이 지시하는 데로 무선신호 품질을 측정하고 가장 통신에 적합한 기지국을 선택하여 정상적인 통신을 할 수 있으나 Ambient-IoT 단말은 여러 기지국의 downlink command 신호가 수신되는 상황에서 정상적인 통신이 어려울 수 있다. 이는, downlink command에는 셀 ID 정보가 없어서 단말이 어느 기지국의 command인지 구분이 불가하기 때문이다.

이 문제를 해결하기 위해서는 두 가지 방식을 고려할 수 있다. 첫번째는 기지국 downlink command 커버리지가 중복될 것으로 예측되는 지역에서 시간에 따라 순차적으로 동작하는 TDM 방식을 적용하여 동시에 하나의 기지국만 동작하게 하는 것이다. 이를 통해 Ambient-IoT 단말에게 하나의 command만 수신될 수 있게 할 수 있다.

두번째는 동일한 상황에서 기지국의 downlink 신호의 송신 출력을 조절하는 것이다. OAM 단에서 기지국의 위치 및 사용 시나리오를 고려하여 기지국간 커버리지가 중첩되지 않도록 출력을 제어할 수 있다. 이 때 대상 지역 전체를 고려하여 커버리지 홀이 없도록 하고, 특정 PRB의 출력만 조절하여 다른 서비스에 영향이 없도록 전반적인 최적화를 고려해야 한다.



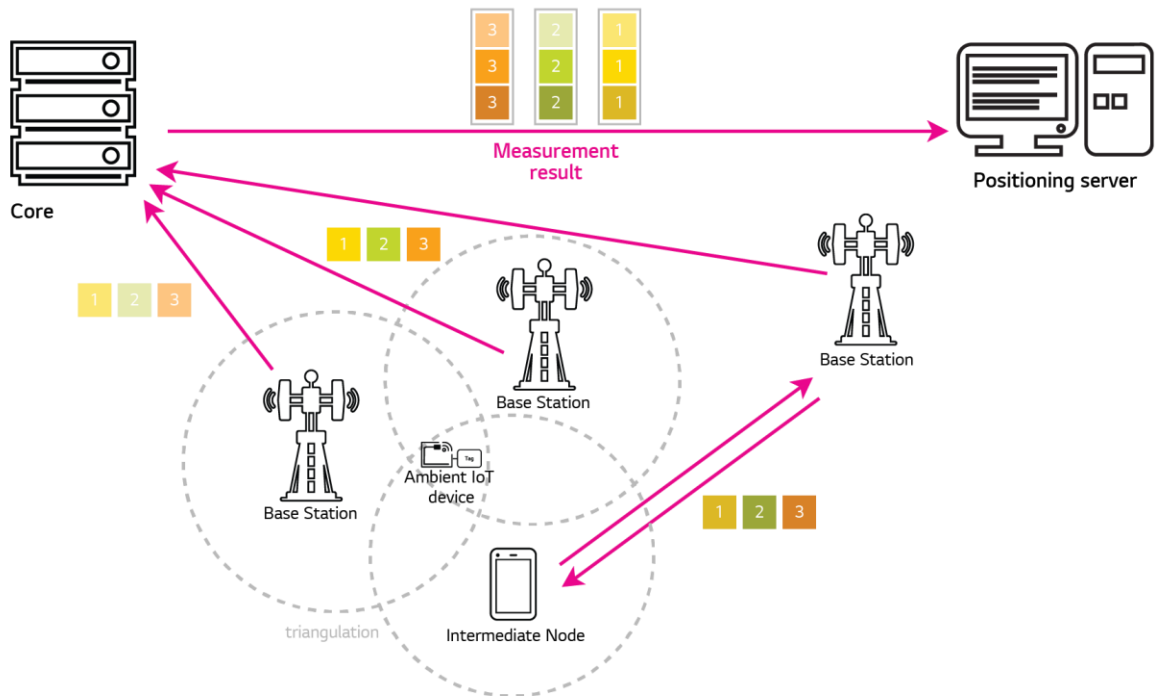
[그림 8] 무선신호 간섭제어 기술 구조도

4.3 측위 기술

Ambient-IoT 의 주요 Use case 중 하나로 트래킹이 있으며, 이는 RFID 에서는 불가능했던 시나리오다. RFID 에서는 리더(기지국)와 통신이 되는 단말의 ID 를 수집하는 것에 초점이 맞춰져 있어 단말 위치는 알 수 없었다. 하지만 Ambient-IoT 에서는 단말의 측위를 고려하고 있으며, 시나리오에 따라 상이하나 3GPP 표준에서 대략 수 m 정도의 정확도를 요구하고 있다.

3GPP 에서의 측위는 크게 기지국 셀 ID 방식, 삼각측위 방식으로 나눌 수 있다. 이 중 셀 ID 방식은 구현이 쉬우나 정확도가 높지 않으며, 삼각측위 방식은 단말이 3 개 이상의 기지국과 각각 신호를 주고받는 신호세기 혹은 시간 지연을 측정한 결과를 이용하는 방식으로 그 위치가 훨씬 더 정확하다. 하지만 Ambient-IoT 의 초저가/초경량의 단말 구조로는 신호세기 혹은 시간 지연 측정 자체가 불가하여 Ambient-IoT 에서 삼각측위 방식을 적용하기 어렵다는 문제가 있다.

이를 해결하기 위해서는 단말의 관여를 최소화하는 측위 방식으로서의 진화가 필요하다. 기존 단말의 역할인 지연시간 측정 등을 기지국에서 수행하고 이를 측위 서버에서 수집/연산하여 단말의 위치를 추정할 수 있다. 다만 단말이 관여를 하지 않는 만큼 데이터의 정확도가 떨어질 수 있으므로 정확도를 높이기 위한 방법으로 한 번의 시도가 아닌 여러 번의 측위 데이터 결과를 서버에서 조합하는 방식으로 정확도를 올릴 수 있다. 이 때 여러 번 측위하는 방법에는 동일 기지국에서 여러 번 할 수도 있으며, 기지국과 중간 노드에서 각각 측위를 하여 이를 조합하는 방법도 고려할 수 있다.



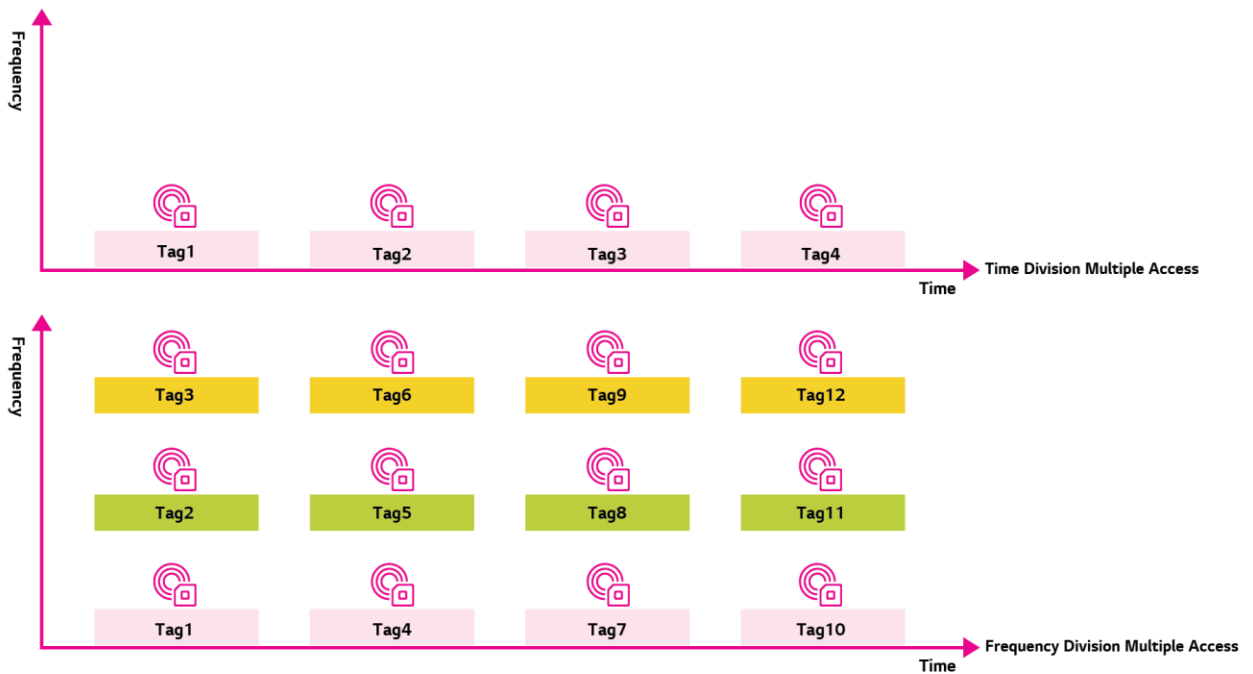
[그림 9] 측위 기술 구조

4.4 주파수효율성 향상 기술

Ambient-IoT 에서는 주파수효율성 향상을 위해 다중접속 방식 및 새로운 주파수 밴드에 대한 지원이 필요하다. Ambient-IoT 는 다중접속 방식으로 주로 TDMA 방식만 고려하여 단말의 수에 따라 통신하는 시간을 조절하는 방식으로 많은 수의 단말을 수용하고 있으나 한계가 있는 상황이다. 이에 대한 대안으로 FDMA 방식이 도입되면 동시에 여러 단말과 통신이 가능해져 더 많은 단말을 수용할 수 있다. 또한 사용하는 대역폭을 줄이면서 FDMA 방식을 전송 신호의 전력밀도를 높일 수 있어서 커버리지 개선도 가능하다.

다만 FDMA 구현 시 Ambient-IoT 단말에서 사용 주파수를 계속해서 변경해야 하는 만큼 복잡도가 늘어날 수 있어 이에 대한 고려가 필요하다. 주파수 변경을 위해 단말에 별도의 frequency shifter 소자를 요구한다면 단말의 제조단가와 구현 복잡도가 높아져서 초저가 단말에게 적합하지 않다. 별도의 frequency shifter 소자 없이 FDMA 를 구현하는 방식으로는 line coding 의 chip rate 을 조절하는 방식이 고려될 수 있다. Chip rate 에 따라 주파수에 변화를 줄 수 있어 단말의 복잡도를 낮추면서도 FDMA 를 효과적으로 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

Ambient-IoT 단말은 저비용/저복잡도로 인해 시간에 대한 정확도가 낮아서 지원 가능한 주파수 밴드에 제약이 있다. 3GPP 에서는 이중통신 모드로 FDD 와 TDD 의 2 가지를 지원하고 있으나, Ambient-IoT 는 시간오차가 있더라도 동작이 가능한 HD-FDD 만을 지원하고 있다. TDD 를 지원하기 위해서는 시간에 따라 하향링크와 상향링크를 구분하여 사용하기 때문에 시간오차가 적어야 하고, 하향링크와 상향링크간 빠른 스위칭을 지원해야 하지만 현재 수준의 Ambient-IoT 단말에서는 지원이 어렵다. 다만, 5G 부터 주파수의 효율적 사용을 위해 TDD 를 주력 방식으로 사용 중에 있으며, 6G 에서는 그 경향이 더 커질 것으로 예상된다. 따라서 6G 에서는 구현의 한계점을 극복하여 TDD 방식을 포함한 다양한 주파수 밴드의 지원이 필요할 것으로 생각된다.



[그림 10] FDMA 방식 예시

4.5 이동성 지원 기술

트래킹 시나리오에서는 측위와 더불어 Ambient-IoT 단말의 이동성 지원 또한 필수적으로 필요하다. 기존 이동통신에서는 단말이 idle 상태일 때는 tracking area 단위로, connected 상태에서는 cell 단위로 위치를 파악할 수 있었다. 하지만 UICC 가 없는 Ambient-IoT 단말은 위치 등록을 하지 않기 때문에 tracking area 가 고려되지 않아 기존 이동통신처럼 단말의 위치 변화를 서버에서 알기 어렵다. Ambient-IoT 단말의 이동성 추적은 서버에서 수동으로 할 수밖에 없는데 하나의 Ambient-IoT 서버에서 관리하는 단말의 수가 최소 수만대임을 고려한다면 이는 서버에 매우 큰 부하로 작용한다.

현재 표준에서 고려되는 내용 중 inventory area 라는 개념이 있다. 다만 이것은 inventory 동작을 수행하는 특정 지역들을 구분하기 위한 목적이고, 이동성 지원을 위한 것은 아니다. 실내에서의 이동성 지원은 필수가 아닐 것으로 예상되나 실외에서는 트래킹 등의 사용 시나리오를 위해서 이동성에 대한 지원이 필요할 것으로 보인다. 이를 위해서는 기지국에서 전송하는 paging 과 같은 메시지에 단말이 device ID 로 응답함으로써 위치 정보를 업데이트해주는 기능 구현이 필요하다. Ambient-IoT 를 위한 paging 과 같은 메시지는 inventory 동작을 위한 것이므로 단말이 특정되어 있지 않지만, 단말에서 inventory 를 수행하는 session timer 가 만료되었을 때 주기적으로 메시지에 응답하거나 또는 inventory area 가 변경되었을 때 조건부로 응답하도록 한다면 지속적인 트래킹이 필요한 서비스 시나리오도 구현이 가능하다.

4.6 인증관련 기술

가짜 kill 명령, 가짜 데이터 쓰기, 가짜 태그 등 외부로부터의 위협을 막기 위해 RFID 에서는 패스워드 혹은 암호화 기반의 방식으로 인증을 수행하고 있으며, 3GPP 에서는 Key 를 기반으로 단말 인증을 수행하는 방식을 사용하고 있다.

Ambient-IoT 에서도 외부로부터의 위협을 막기 위해 인증절차가 필요하다. Ambient-IoT 에서 고려하는 3 가지의 단말 타입 중 중가 및 고가 단말의 경우 기존 RFID 에서의 방식을 지원할 수 있을 것으로 보인다. 반면, 저가 단말의 경우 가격 및 복잡도의 문제로 기존의 인증방식을 그대로 지원하기는 어려울 것으로 예상된다. 그러므로 저가 단말을 위한 새로운 인증방식에 대한 기술 개발이 필요하며, 기지국단에서는 저가 단말이 공격을 당했을 가능성을 염두에 두고 이를 복구하거나 회피하는 기술 또한 개발이 필요하다.

5. Conclusion

앞에서 살펴본 바와 같이 Ambient-IoT 의 use cases 와 이를 구현하기 위해 필요한 기술들은 시장이 이동통신 네트워크에 요구하는 역할의 패러다임이 변하고 있음을 보여준다. 그동안은 휴대전화의 기능을 최대화할 수 있는 방향으로 발전해왔던 이동통신 네트워크였지만 앞으로는 극도로 단순화된 기능만을 제공하는 수백 수천개의 Ambient-IoT 단말들이 동시점에 접속하여 제한된 정보만을 제공하는 상황에서도 효율적으로 트래픽을 처리하고 운영될 수 있도록 진화되어야 하며, 이를 통해서만 우리가 그동안 꿈꿔 왔던 모든 것이 연결된 네트워크, 사람과 사물, 센서 등이 언제 어디서나 접속되어 있는 네트워크가 구현될 수 있다.

그러나 이것은 결코 쉽지 않은 도전이 될 것이다. UICC 가 없어 위치 등록이 불가능한 Ambient-IoT 단말들의 이동성을 관리하고, 제한된 기능만을 제공하는 수많은 단말들과 유기적으로 데이터를 주고받으면서 우리가 원하는 다양한 서비스 시나리오들을 제공하기 위해서는 6G 네트워크가 5G 보다 훨씬 더 유연하고 사용자 친화적으로 바뀌어야 한다. 궁극적으로 일반 사용자가 직접 원하는 단말을 네트워크에 손쉽게 등록하고 관리할 수 있는 솔루션을 제공할 수 있는 개방적인 네트워크로 진화되었을 때, 비로소 3GPP 이동통신 기술로 ubiquitous network 를 달성하게 될 것이다.

Ambient-IoT 기술을 바탕으로 하여 ubiquitous network 를 구현하는 것은 단순히 기능적인 측면에서 만이 아니라 산업의 지속 가능성을 위해서도 필수 불가결하다. 환경을 보호하고 우리의 삶을 윤택하게 하기 위한 목적으로 수 없이 많은 IoT 단말들에 배터리를 탑재하여 전기를 소모하고 부품을 교체하는 일을 할 수는 없다. 재사용 에너지를 활용하여 반영구적으로 동작할 수 있는 Ambient-IoT 기술로 지속 가능하고 자연 친화적인 ubiquitous network 를 실현 가능하게 할 수 있다.

3GPP 에서 Ambient-IoT 기술을 구현하는 것은 향후 6G 가 RFID 등의 다른 무선 기술이 융합된 통합 플랫폼으로 진화하고, 자율 주행과 위성 통신 등 차세대 서비스로 쉽게 영역을 넓힐 수 있는 확장성을 가진 네트워크로 얼마나 발전해 나갈 수 있을지 그 한계를 가늠할 수 있는 주요한 지표가 될 것이다.

Abbreviations

B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
NB-IoT	Narrow Band-Internet of Things
PDA	Personal Digital Assistant
PMP	Portable Media Player
RFID	Radio Frequency Identification
UICC	Universal Integrated Circuit Card
3GPP	3rd Generation Partnership Project
eMTC	enhanced Machine Type Communication
Redcap	Reduced Capability
LPWA	Low Power Wide Area
LTE-M	Long-Term Evolution Machine Type Communication
IoT	Internet of Things
eMBB	enhanced Mobile BroadBand
TSG	Technical Specification Group
RAN	Radio Access Network
SI	Study Item
WG	Working Group
SA	System and service Aspects
SA1	System and service Aspects working group 1
NPN	Non-Public Network
E2E	End-to-End
TS	Technical Specification
TR	Technical Report
ID	Identifier
OAM	Operations, Administration and Management
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
RRC	Radio Resource Control
PRB	Physical Resource Block
FDD	Frequency Division Multiplexing
TDD	Time Division Multiplexing
HD-FDD	Half Duplex FDD

