

1

FDMA(1G)

->

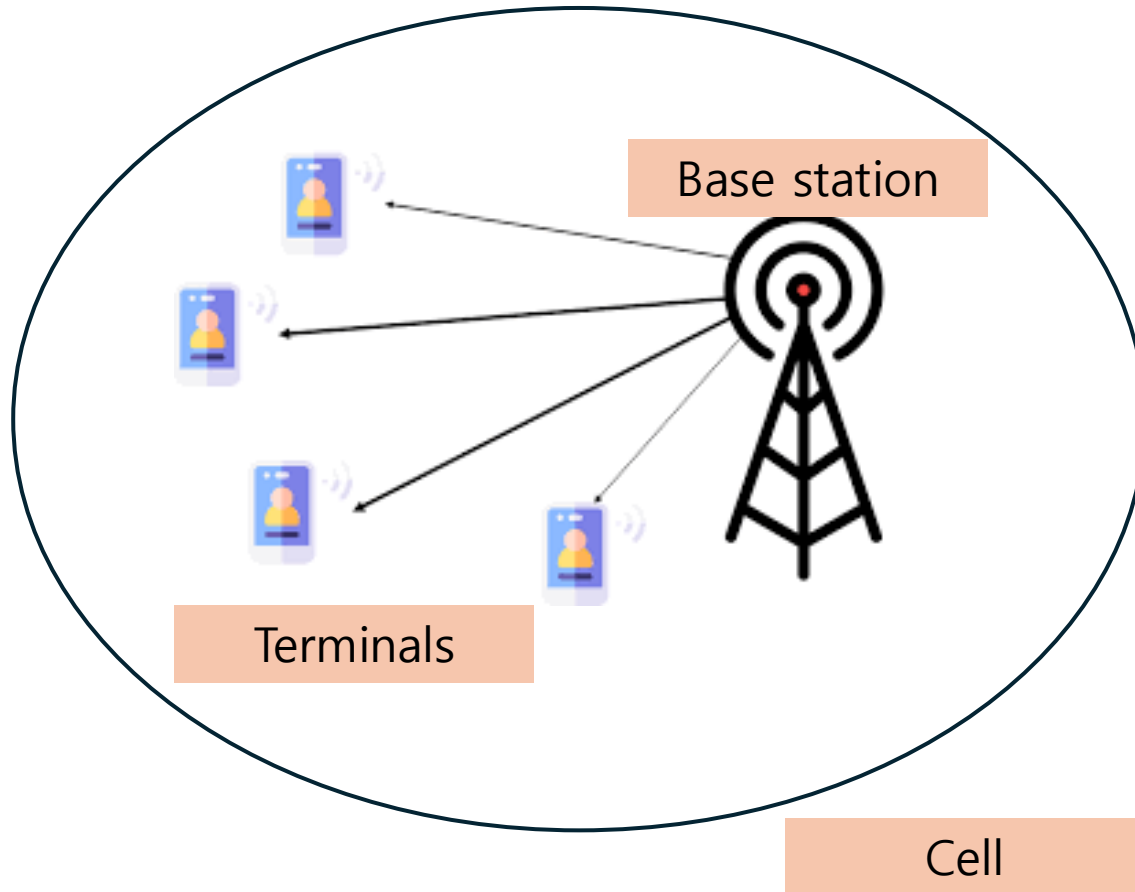
TDMA(2G)

->

CDMA(3G)

->

OFDMA



- **Multiple access** : base station(안테나)와 terminal(모바일)들 사이의 동시 접속
 - (목소리가 높은 주파수(헤르츠)변환을 거쳐 베이스로 간 후: UPLINK_UL, 베이스에서 다른 모바일로 전달: DOWNLINK_DL)
 - **LINK** : 터미널, 베이스 간 path
- **CELL** : 베이스가 커버하는 범위의 구역(셀의 수용인원(Capacity)은 한정되어 있고, 근원거리 목소리 전달과 같이 넓은 범위를 위해서는 많은 파워 소모, 또한 터미널(모바일)의 파워는 한정되어 있기에 먼 곳의 베이스 접속 불가)
 - 여러가지 불이익을 고려, 전력과 효율성 등 여러 측면에서 이득인 좁은 범위의 베이스 = **cellular system**
 - 셀은 동물의 세포와 같이 고정되지 않은 유기적인 범위, 셀은 서로 붙어 있기에 모바일의 이동에 따라 셀의 범위를 고려, 베이스와의 링크가 자동으로 변하고 유지
 - Handover, Handoff : WIFI와는 달리, 기지국(베이스)간의 이동을 지원(Mobility)

FDMA(1G)

->

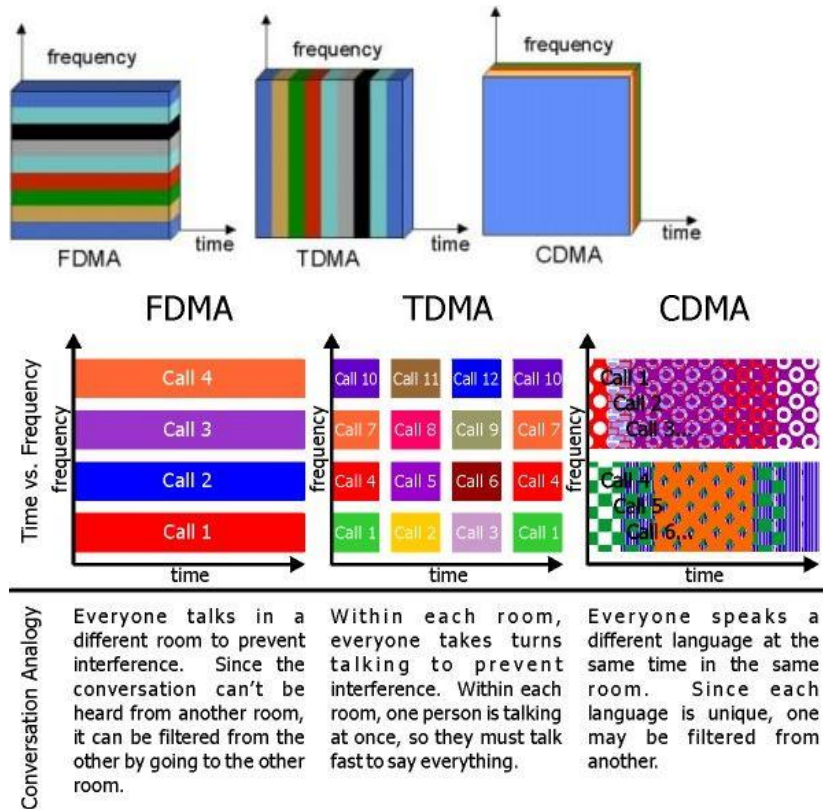
TDMA(2G)

->

CDMA(2G-3G)

->

OFDMA(4G, LTE)



Frequency
division

Time
division

Code
division

- **FDMA** : 베이스의 주파수를 각 채널로 나눈 뒤, 다른 사용자들에게 배분(simultaneous, 동시 통신 가능), time 축과 평행(주파수 분배), 화장실 칸과 같이 어떤 사용자가 나와야 빈 채널 사용자 할당 가능
- 주파수 나누기 -> 4개의 채널
- **TDMA** : 주파수로 나눈 각 채널에서, 20ms(Time) 간격으로 사용자 전환 및 목소리 전달 => 이런 주기(Period)를 모든 터미널들이 가지고 있기에 채널 공유(Share)가 가능
- 주파수 나누기 -> 4개의 채널 -> 시간 분배를 통해 채널 당 4개의 통신
- 이 기술을 활용한 시스템이 **GSM**(Global system for mobile communication)
- **CDMA** : 주파수와 시간을 모두 겹치게 사용, 즉 채널(방)을 모두 공유하면서 자기만의 고유한 언어로 대화
 - 전쟁 이후 폴린 기밀 통신 방식 (1950~1980), 미국 Qualcomm 협업으로 개발
 - Market share : TDMA(GSM) 85%, CDMA 15%

FDMA(1G)

->

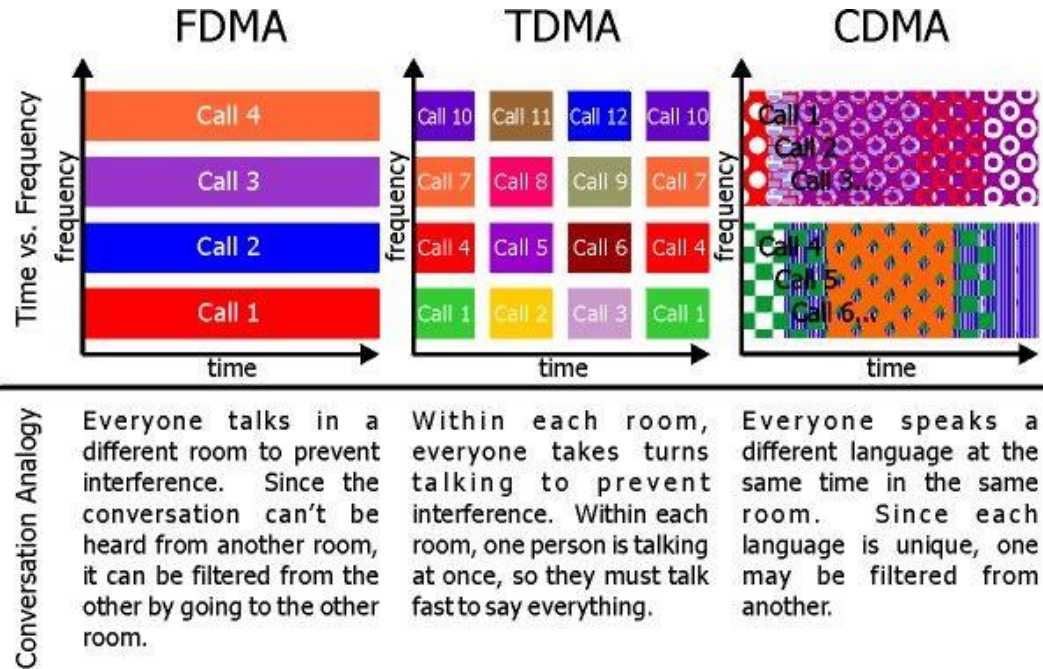
TDMA(2G)

->

CDMA(2G-3G)

->

OFDMA(4G, LTE)



• **WCDMA(3G)** : Wideband CDMA, GSM 기반의 '시스템'이기는 하나, CDMA '기술'을 계승, 기본 베이스 주파수가 4배

• **OFDMA** : 신호들을 일정 주파수 간격으로 겹쳐 두 주파수가 직교(내적 0) 방식을 통해 기존 대비 절반의 주파수 save 및 주파수 속도 speedy

• 시공간에서 샘플링 된 신호를 시간 주파수, 공간 주파수에서 샘플링 된 신호로 변환, 푸리에 변환 => 어떤 신호가 1일 때, 다른 값들은 전부 0, 신호의 직교 덕에 겹친 신호도 값 구별 가능

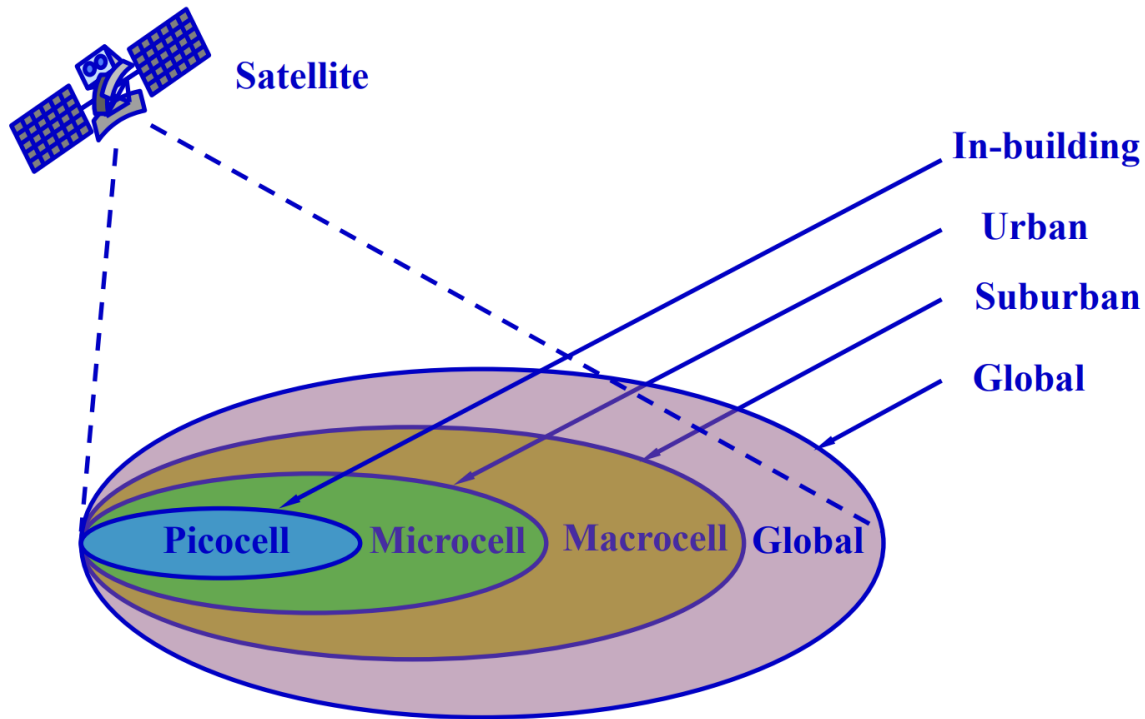
- 1980-(FDMA) : Based on **amps**(advanced mobile phone service)
- 1990-(TDMA) : 1988, 3GPP(3G partnership project), 이동통신 공동 연구 프로젝트(멤버십), 시스템 규격 작성 및 표준화 활동
- 2000-(CDMA) : ITU-R(International telecommunication union - radio communication) 첫 무선통신규격, IMT-2000 등 오피셜 표준 규약 존재
- 2010-(FDMA) : IMT-advanced
- 2020-(FDMA) : IMT-2020, 5G

- **PSTN** : 공중교환 전화망(public switched telephone network)
 - Fixed telephone network, 즉 일반적인 유선 전화
 - CS 방식 이용했으나 PS로 변화 중
- **VOIP** : 음성 인터넷 프로토콜(voice over internet protocol)
 - 일종의 카톡 인터넷 전화
 - 음성데이터를 데이터 패킷으로 변환해서 통화
 - 응용하여 인터넷까지는 VOIP, 이후 외국 회선 연결시에는 PSTN을 이용하는 방식 가능
- 3G 이전, voice=CS, data=PS
- 4G부터는 모두 패킷 스위칭 이용

- CS (circuit switching) = 노드(셀)을 통해 연결된 링크는 다른 사람과 공유되지 않는다. 즉 요금제가 비싸다. Link setup, maintain, secure.
 - Stable but very expensive
 - 한국 미국 통신(phone call)(**voice service**)
 - 데이터를 발생시키지 않아도 과금
 - 데이터를 전송하기 전부터 미리 연결 완료
- PS (packet switching) = 사용자가 보내는 메시지, 사진 등이 packet 으로 팩 배 상 자 처 럼 포 장 되 고 , (sender=source, receiver=destination, Two's IP address) IP 주소에 따라 수많은 중간지점에서 순차적으로 전달 (passing -> considering destination's IP address -> passing -> ... -> arrive)
 - Email sending case
 - 링크가 많은 사용자에게 의해 공유
 - 저렴한 비용
 - 현재 많은 카카오톡, 전화 등은 패킷 스위칭 이용(**data service**)
 - 3G에는 voice=CS, data=PS, 4G부터는 모두 패킷 스위칭

- 3G 부터는 high bearer capacity
 - **Bearer** : 품다(contains something)
 - Tx 부터 Rx 까지의 전송, bearer 링크가 셋업
- Wireless channel=사람의 이동에 따라 약간 채널이 바뀐다.
- 채널 컨디션은 폰의 안테나로 확인 가능하다.
- 그 채널 컨디션에 따라 같은 부분을 모으면 공간에서 흐르는 면(공간)을 만들 수 있다
- 고정 채널은 때때로 좋지 않다. 통신이 좋지 않을 때 약간의 움직임은 효과적이다.
- Line of sight (LOS) : 가시 거리, 너무 직접적으로 가시거리에 있는 인터넷 연결은 때때로 좋지 않다.
- None line of sight (NLOS) : blocked

- Base station의 통신 수용 범위 500m 이하, 사람이 많아지면 작아지고 시골에 가면 3km로 증가
- Morphology(형태)
 - Dense urban 20<floor
 - Urban 10~20 floor
 - Sub urban floor<10
 - Rural/open area
- Cell radius
 - Hotspot, hole (사람이 많은 지역, 셀들이 겹치지 않는 구멍)
 - Macro cell(일반적인 셀) : 100~100km
 - Small cell
 - Microcell : 100~500m
 - Picocell
 - Femtocell



- Case of airplane, ship, we cannot connect to base station
 - Because of limited coverage
 - TN : Terrestrial network (지상망)
 - NTN : non terrestrial network (비 지상망)
 - HAPS : high altitude platform station 높은 고도 스테이션
- NTN의 일종, Satellite : has own orbit(궤도)
 - GEO (geostationary) 정지 궤도 위성
 - 지구 자전과 같은 속도도 공전
 - Seems to be stopped
 - 1.5시간 지구 한바퀴
 - 7.5km/sec
 - Delay is too long (latency)
 - MEO (median) 중궤도 위성
 - LEO (Low earth orbit) 적외도 위성
 - StarLink
 - One web
 - 고급 기술이자 주요한 기술
 - 500-2000km high (low latency)
 - 지구 한바퀴 = 1.5hr(7km/sec)

- LAN(Local area net)
 - Wireless
 - Wireline
- Wireless PAN(Personal area net)
 - Bluetooth
- Wireless BAN(Body area net)
 - Onbody – glass, watch
 - Inbody – 신체 내부 칩(medical chip), 심장제세동기
- MAN(Metropolitan area net)
 - For big city level
- WAN(Wide area net)
- GPS = 3개~6개의 위성 이용, 위치나 시간을 3 선의 교점
- Ad Hoc networks = 독립 단말들끼리 자율적인 임시 망
- Temporary – sensor net – 여러 센서들 간 커뮤니케이션
 - 태풍에 1000개의 센서를 뿌리고 정보 수집
 - 센서들 간 연결이 미리 정해진 것이 아니다, can be changed, not pre-determined

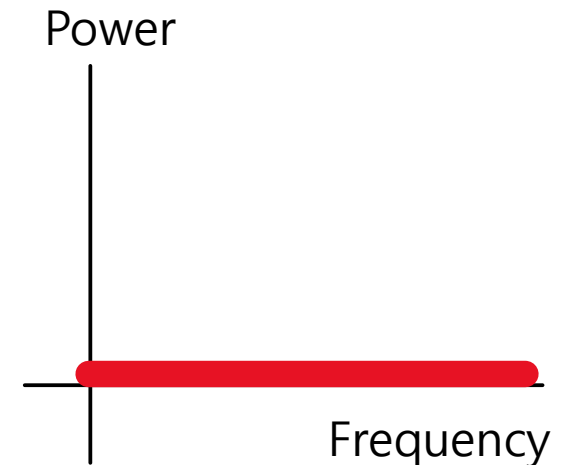
Base station's another names

- Node B – 3G
- Evolved Node B (ENB)– LTE
- GNB – 5G

UE : user equipment(mobile station)

- 이상적으로는 base station range=circle,
 - Most using model = hexagonal(6각형)
 - 큰 건물이 있다면 막혀서 모양이 틀어진다.
 - 물(강)이 있다면 범위가 크게 늘어난다.
 - 베이스가 전력이 커서 큰 범위를 커버하더라도, phone의 범위 때문에 적합하지 않다.

- FDMA(1G) – for example, 4channel, 4users
 - Voice service : 10kbps
 - One downlink frequency = many channels(part of frequency) = 주파수를 나눠서 사용자에게 할당
 - If frequency channels are full, then the other users cannot be connected until using user stop accessing
- TDMA(2g) – for example, 4channel, 5 time-division, 20users
 - Voice communication은 보통 항상 이루어지지 않는다 = 20ms차이를 두고 같은 채널에서 더 많은 할당 가능
 - GSM using TDMA(8 time slot), FDMA user * 8
- CDMA(3g) – Qualcomm(1990)
 - 군사통신 유래(for hard security, cryptography(암호화))
 - Ceasar's code(한계가 있다, 창과 방패)
 - 이와 같이 주파수 통신도 일종의 신호 파워가 존재하기에 적이 탈취할 수 있다.
 - 또한 interference를 통해 주파수 신호 간섭을 할 수 있다. (Jamming – 의도적인 전파 방해)
 - 신호를 보내는지도 모르게 하면 상쇄가능 possible?
 - 지구 코어는 매우 뜨겁고 에너지 있기에 thermal noise(모든 범위의 주파수를 가지고 있고 파워는 매우 약한 신호) 발생, 여기에 숨겨 보내기?



- 모든 신호는 시간과 주파수 축이 존재한다. Important!
- 아주 작은 기본 파워(모든 주파수에 걸쳐 펼쳐진) 아래로 신호를 숨겨서 보내기

Rectangular pulse

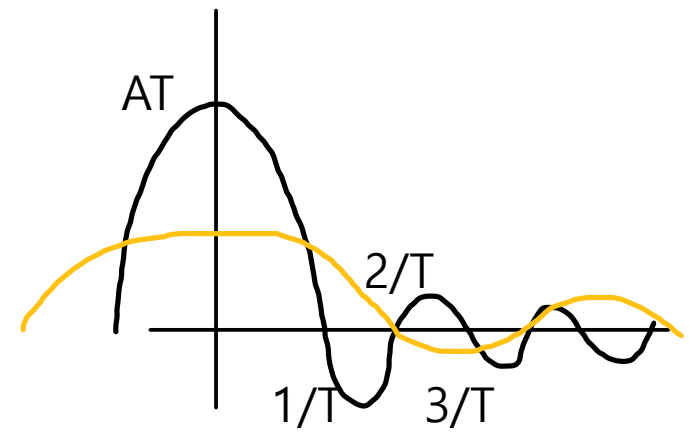
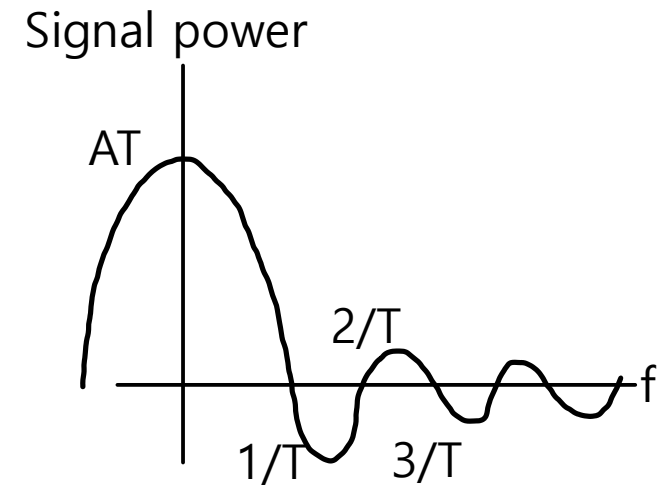
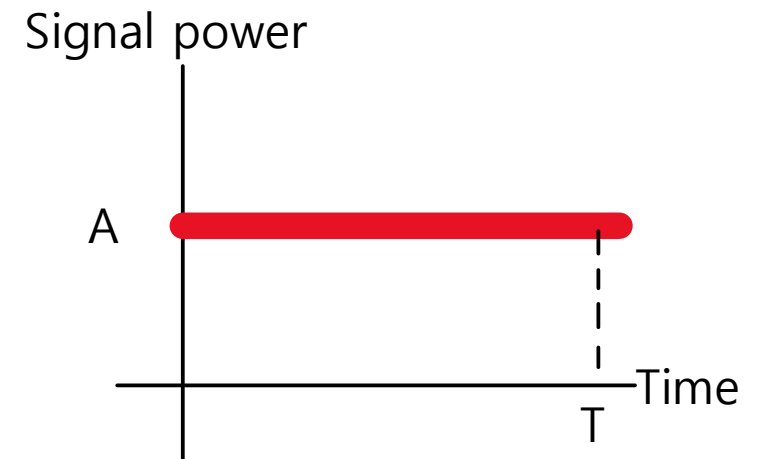
- 신호가 상수 값 constant 유지
- 상수 값이 변하는 곳(-1 to 1)에서 진동수=infinite

주파수 f 를 그래프로 그리면...

- 가장 높은 Y축 지점 : AT (시간, 파워의 곱(넓이))
- 0과 만나는 지점 : $1/T, 2/T...$
- Y축 대칭
- 싱크 함수(sinc function) -
- Y축으로 $-1/T \sim 1/T$: null to null

$A=1, T=10 \rightarrow AT=10, 1/T=1/10$

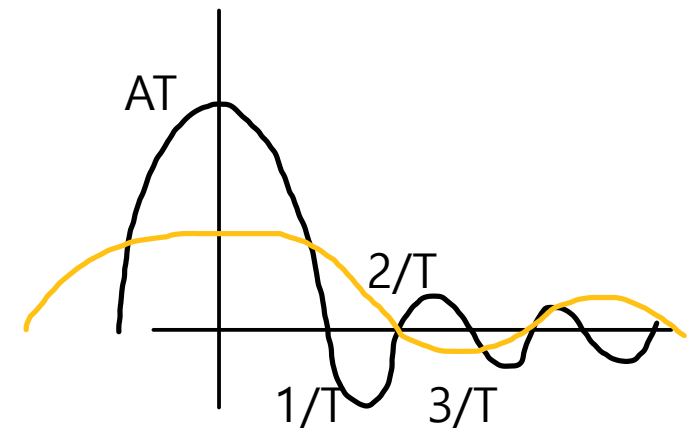
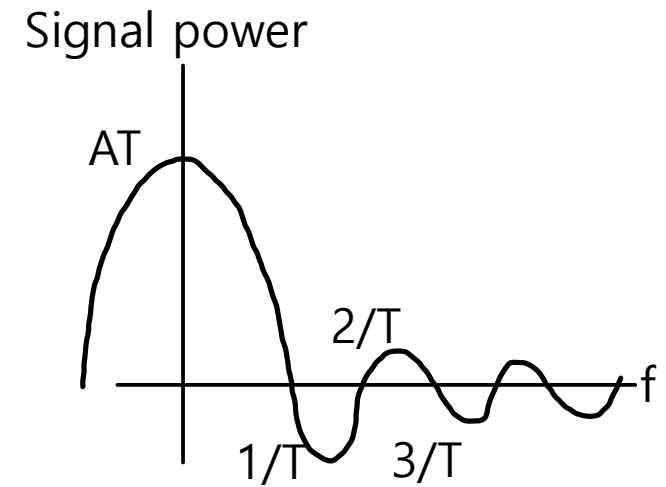
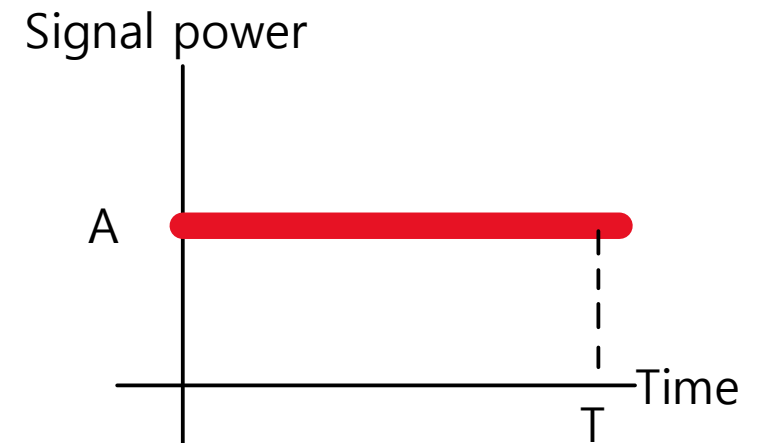
- 만약 시간을 5로 줄이면?
- $A=1, T=5 \rightarrow AT=5, 1/T=1/5$
- 즉 시간을 줄이면 주파수 그래프가 매우 평평
- 지구 신호 밑에 숨기기 가능



$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux} du$$

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi ux} dx$$

- 싱크 함수에 대해...
 - 푸리에 변환 : 임의의 신호를 다양한 주파수를 가지는 **주기함수들의 합**으로 분해 및 표현
 - 입력신호 $f(x)$ 는 주기함수 $e^{j2\pi ux}$ 들의 합(오일러 공식)
 - 주기함수의 주파수 = u
 - 주기함수의 성분의 계수 = $F(u)$
 - 즉 선형대수에서, 계수와 주기함수 내적 = $f(x)$
 - $f(x)$ 를 주기함수 성분으로 분해 = 계수
 - $f(x)$ 에 rectangular function을 넣고 적분, $\sin(x)/x$ 꼴
 - 시간 영역과 주파수 영역간 관계
 - 사각 펄스 = sinc 함수

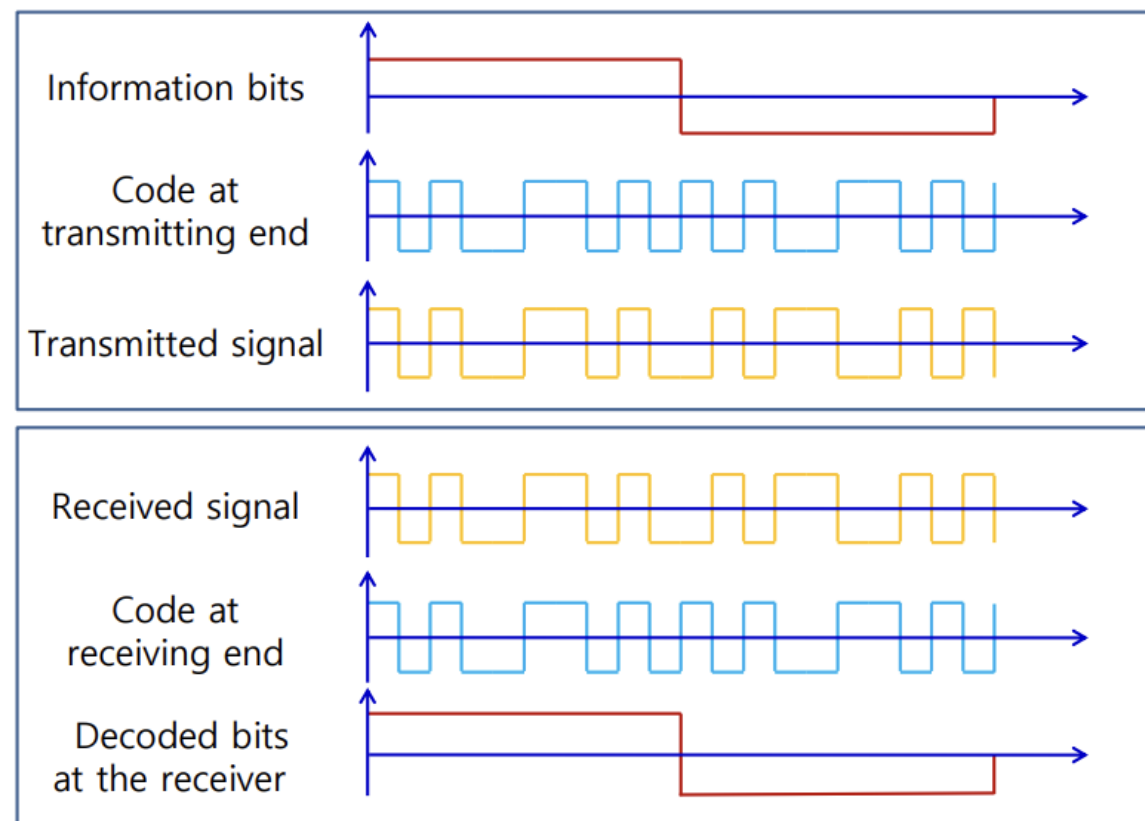


- 만약 시간의 narrow = 10, 하나의 칩 = 1(1/10)
- CDMA 사용시 $(-1)^n$
- -1과 1로 binary signal 전달 (not 0, 1)
- 매우 길고 얇게 깔린 신호를 수신자가 어떻게 복원?
 - $(1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \dots) =$ 공용 코드(칩)
 - $1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \dots * (1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \dots) = 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \dots$
 - $-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \dots * (1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \dots) = -1 \ -1 \ -1 \ -1 \dots$
 - 칩으로 쪼개서 보내고, 받아서 칩을 곱하면 신호
 - 이 과정에서 시간이 매우 잘게 쪼개짐
 - Spreading, de-spreading

모든 비트에 일정한 sequence(칩, 코드)를 곱하면 1, -1 의 원래 시그널 복원 가능

Spread spectrum communication system(SSCS)

1. Direct sequence SSCS (DS-SSCS)
2. Frequency hopping SSCS (FH-SSCS)



- Tx -> Rx 사이의 신호 스펙트럼에 강한 신호를 보내 간섭(interference) = jamming

DS-SSCS = CDMA

- 필요한 스펙트럼보다 훨씬 많은 스펙트럼 사용
- 주파수 대역이 넓어져 비효율
- 하지만, 주파수 안에 간섭이 없는 신호 여러 개 (code가 신호마다 다른 칩)
- 넓어진 스펙트럼 덕에 간섭에 강한 신호

FH-SSCS

- 중심 주파수를 정해진 순서대로 옮기면서 전송
- 10개의 신호 스펙트럼이 있다고 할 때, 모든 신호를 방해할 수 없기에 2개의 신호만 jamming
- Frequency hopping patter으로(1번 스펙 -> 3번 -> 5 10 8 6...) 변화
- 빈번하게 바꾸는 예... Bluetooth

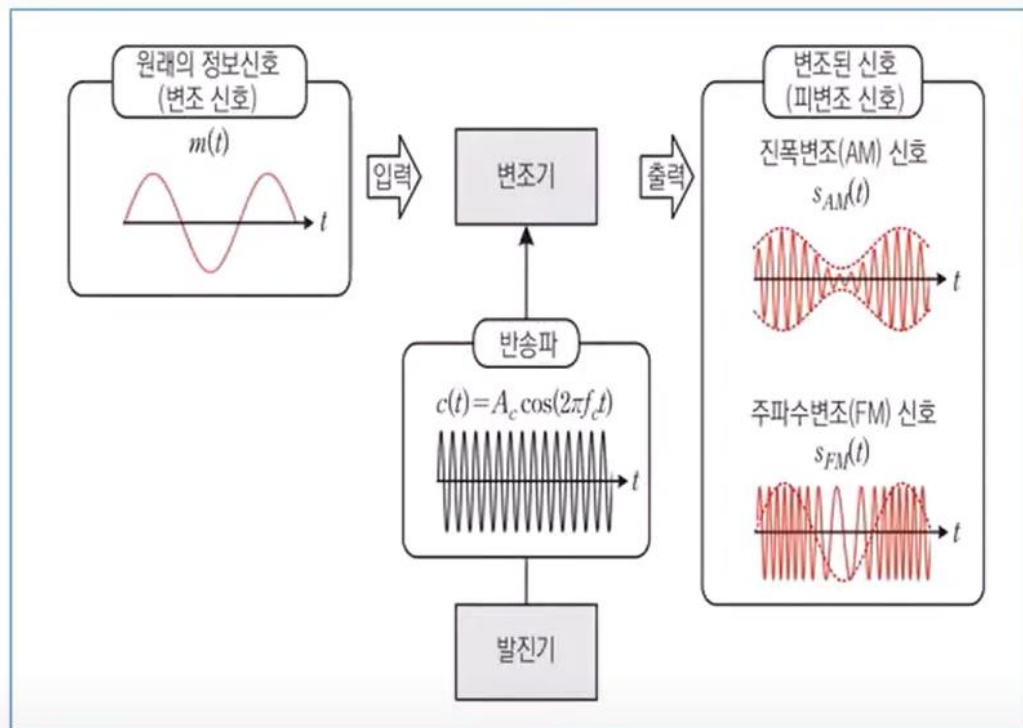
CDMA에 multiple access... How?

User A, $B_a(t) * C_a(\text{code}) = B_a C_a \rightarrow B_a C_a * C_a = B_a$
 User B, $B_b(t) * C_b(\text{code}) = \dots = B_b$

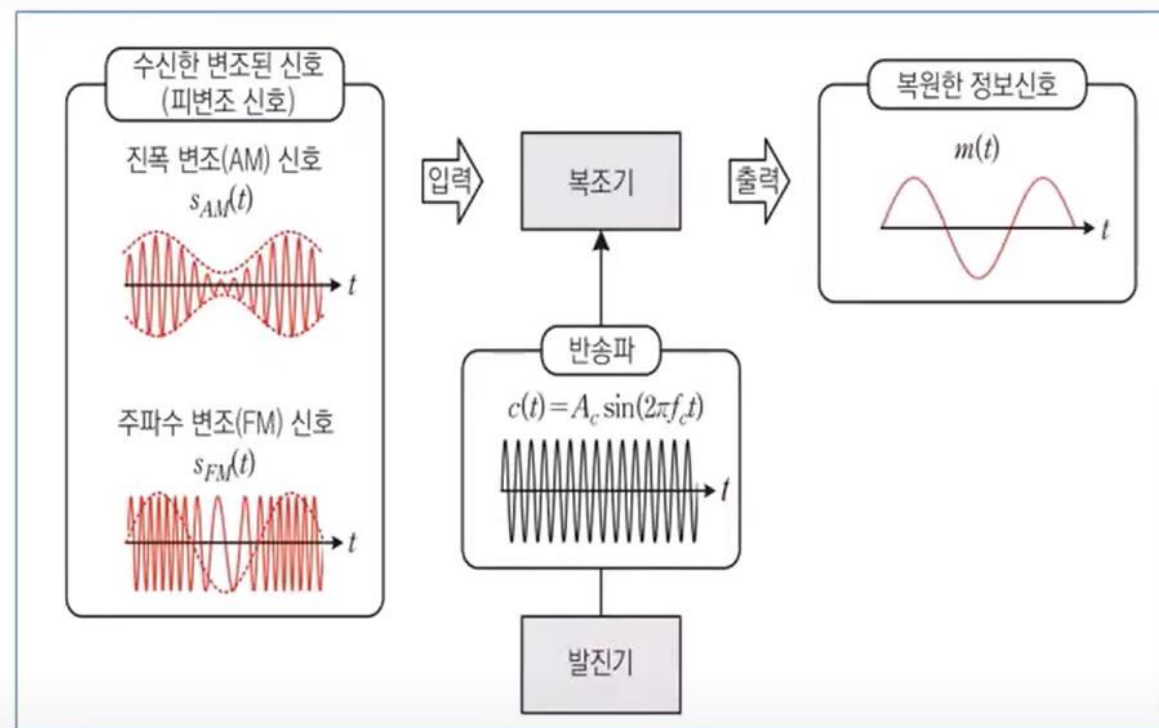
Mixed signal = $B_a C_a + B_b C_b + B_c C_c$

- RxA, Mixed signal * $C_a = B_a + B_b C_b C_a + B_c C_c C_a$
- RxB, Mixed signal * $C_b = \dots$
 - 코드에 맞는 신호는 원래 상태로 복원(파워)
 - 하지만 간섭 신호의 파워 小
 - 간섭신호는 칩에 의해 그대로 나눠진 상태
 - Spread state, 복원 불가(low, flat)
 - 넓은 주파수 대역에 분포된 간섭 신호
 - Signal power/interference power > 4
 - Signal to interference ratio(SIR) > 4
 - Signal to inter plus noise ratio(SINR=SNIR)
 - Channel quality(easily check by phone)
 - Inter가 dominant할 때, ignore noise
 - Without multiple access, SNR

- Intracell interference
 - CDMA always use
 - Signal power must larger than others
- FDMA : divide frequency for each users
- TDMA : on FDMA, divide time with fast switching
- CDMA : $S/(I+N)=4\ldots$ communication quality
 - MA based on DS-SSCS
 - DS-SSCS(don't have Multiple access)
 - 통신의 질을 위해 4를 넘지 않는 선에서 최대한 많은 유저 = capacity is not fixed(soft capacity)
 - For use capacity, "power control"(줄여, 높여)
 - Base station's control frequency=100~1500/sec
- OFDMA(4G-5G) : 주파수 스펙트럼의 내적 활용
 - MA based on OFDM
 - OFDM(don't have Multiple access)
 - Orthogonal frequency division multiplexing
 - 주파수 대역끼리 겹치게 하되, 내적을 이용하여 서로의 간섭이 없도록... 주파수 분할 다중화+a
 - Inter channel(carrier) interference = ICI
- 기존의 FDMA은 서로의 간섭을 막기위해 주파수 스펙트럼 간 guard band 존재
- 정확한 내적 상태면 OFDM은 no interference
 - 반송파들 간 내적 상태
 - 원래 신호*내적 반송파 = 여러 신호 유지
 - Not multiple access, Multiplexing
 - Vector space orthogonal : 2차원 x, y
 - Signal space orthogonal : 겹쳐 보이지만 또 다른 축에 의해 나뉜 상태
 - Spectral efficiency=Spectrum efficiency
 - bps/Hz
 - 주파수 대비 전송 효율
 - 10Hz 주파수 안에 1bps씩 20개의 내적 주파수 스펙트럼 = 2bps/Hz



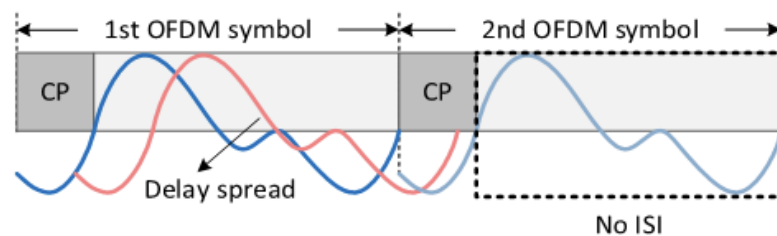
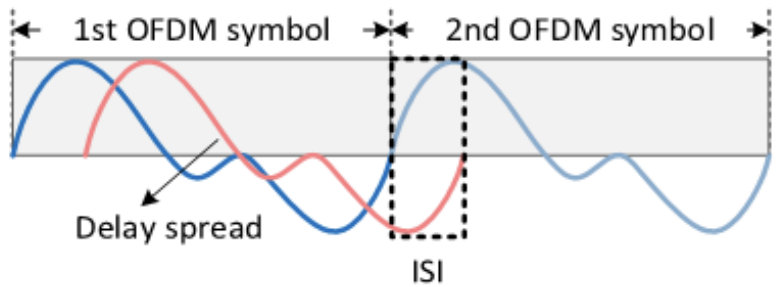
Modulator(변조기): 저주파 정보신호를 고주파 반송파에 실는 장치



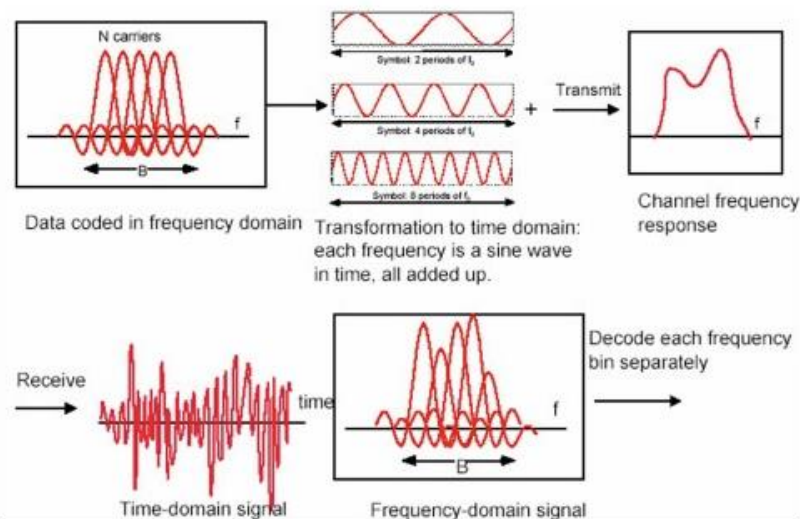
Demodulator(복조기): 고주파 반송파를 제거하여 저주파 정보신호를 내리는 장치

- 예를 들어, 사람의 목소리 통화
- Low frequency voice(20~20kHz=20,000Hz)
 - Audible frequency(가청 주파수)
 - 만약 가청 주파수가 Base band(기저대역)일 때
 - $s(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_c \cdot t)$
 - 시간 정보신호 * carrier(반송파, 운반파) signal
 - $s(t)$ 의 푸리에 변환 스펙트럼 $S(s)$ 주파수 이동
 - 주파수 대역 증폭
 - 저주파 → 고주파
 - Modulation(변조) - FM
 - Base span 주파수 증폭 전달
 - Demodulation(복조)
 - 증폭된 주파수 base span 복원
 - Case of OFDM
 - Each one is subcarrier(부반송파)
 - Orthogonal each other

- 주파수 : 도 < 레 < 미
- If power 1, 2, 3
- OFDA = deliver frequencies at the same time
 - 도레미
 - Parallel transmission
 - Recently introduced
 - **부반송파의 직교성을 활용하여 동시 전달**
 - FDM은 single carrier 이용
 - 하지만 이상적이지 않은 경우?
 - Subcarrier들 간 직교성이 간섭 경우
- 예를 들어, 안테나 - 안테나 신호
 - 모든 방향으로 신호 주고 받기(도넛 범위)
 - 안테나를 나온 신호는 시간이 지남에 따라 조금씩 power 감소 = Path loss
 - Phase(위상)이 같다
 - Constructive phase
 - Destructive phase
 - e.g. noise canceling headphone
 - Multipath delay profile(kind of echo)

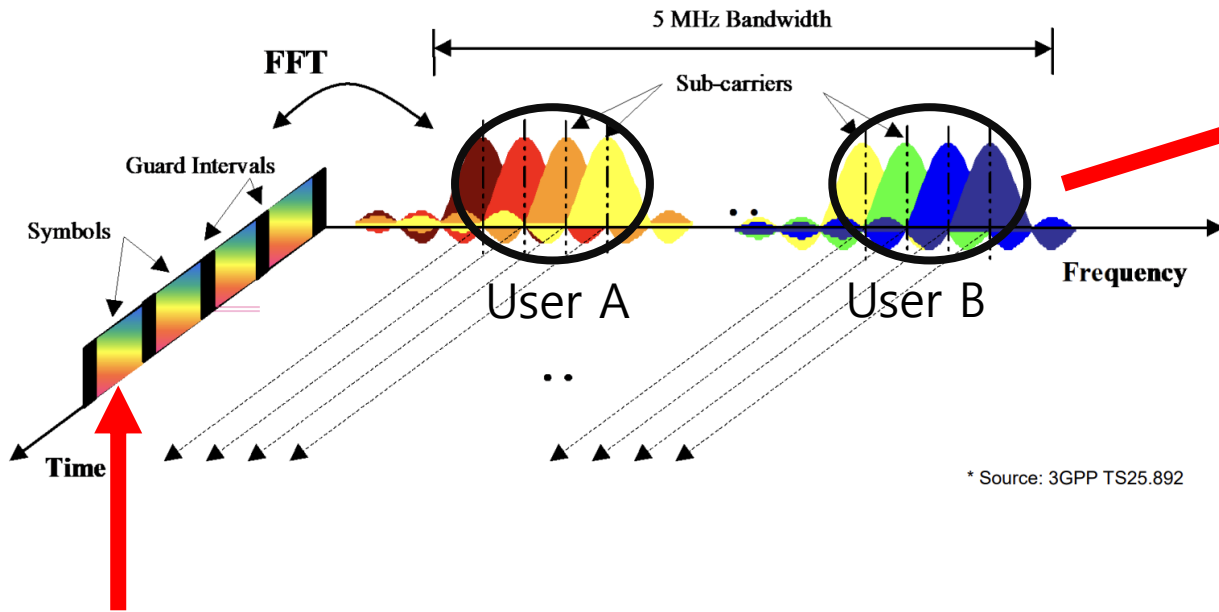


OFDM의 기본원리



- OFDM 과정
 - 여러 신호(n개의 심볼)를 서로 직교하는 n개의 carriers를 이용하여 변조, 수신자는 다시 복조
 - 즉 특정 캐리어로 어떤 성분이든 추출 가능
- 하지만 복조 후 만들어지는, 조금씩 작아지는 신호가 반복(메아리)되는 현상
 - Inter symbol interference = ISI
 - 심볼간 간섭
 - 간섭 echo들을 정렬시킨다면 신호 증폭 이득
 - Constructive phase
 - Channel equalizer
 - Adaptive channel equalizer
 - 하나의 signal 길이를 늘인다면 ISI 감소
 - Symbol length large = ISI decrease
 - 언급했듯, 변조=저주파(원본)*고주파(캐리어)
- CDMA using small symbol
- OFDM using long symbol (narrow 'Frequency')
- OFDM can decrease ISI

N subcarriers =
N different frequencies

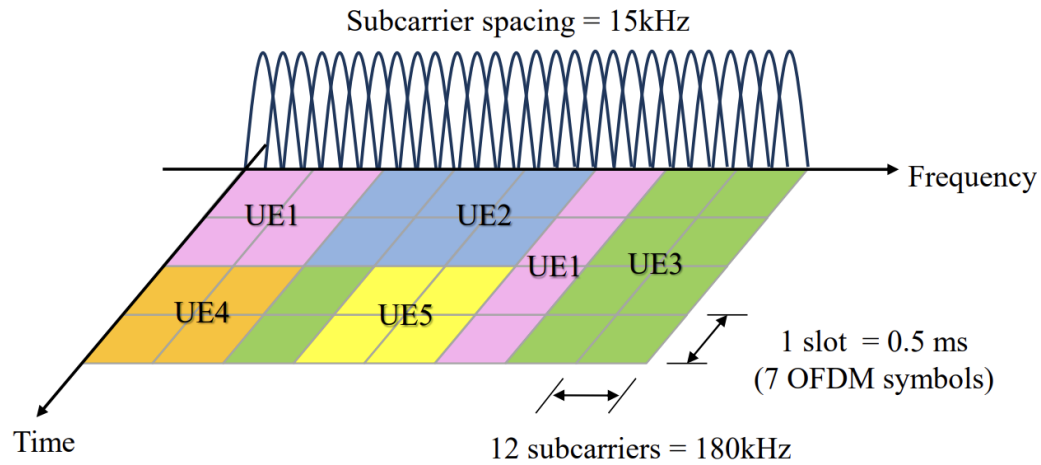


* Source: 3GPP TS25.892

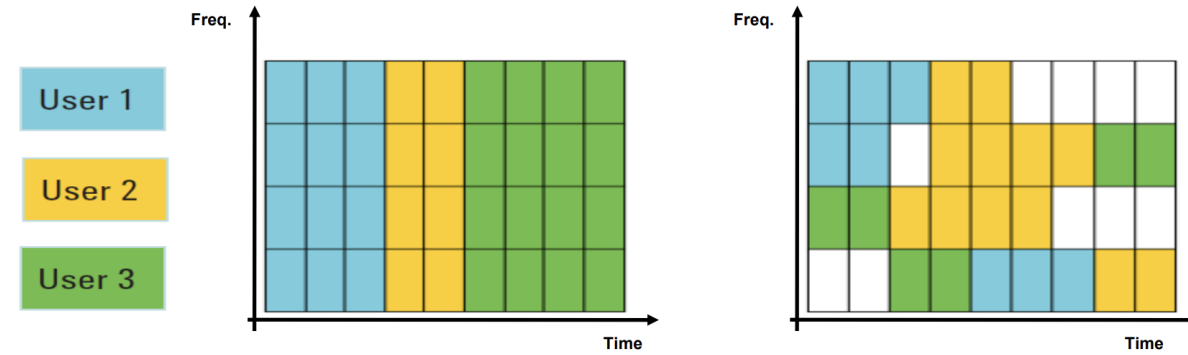
• OFDMA

- OFDM + MA(multiple access)
- Divide sub carriers with some part
- Can spread signal harmony at the same time
- Now can use multiple access
 - Divide frequency ~ like FDMA
 - Divide time ~ like TDMA
 - Mix ~ like CDMA
 - F, T resource can be divided flexibly
- Simultaneous?
 - 데이터를 항상 보내지 않아도 가능
 - e.g. < 20ms
 - Not obvious in real time

- One OFDM symbols
 - N개의 반송파에 의해 변조를 거친 여러 개가 뭉친 신호
 - Composed signal contains all frequencies(all color)
- $1/n * n$ carriers = 1 harmony of signal
- 1 harmony * various time



OFDM vs. OFDMA

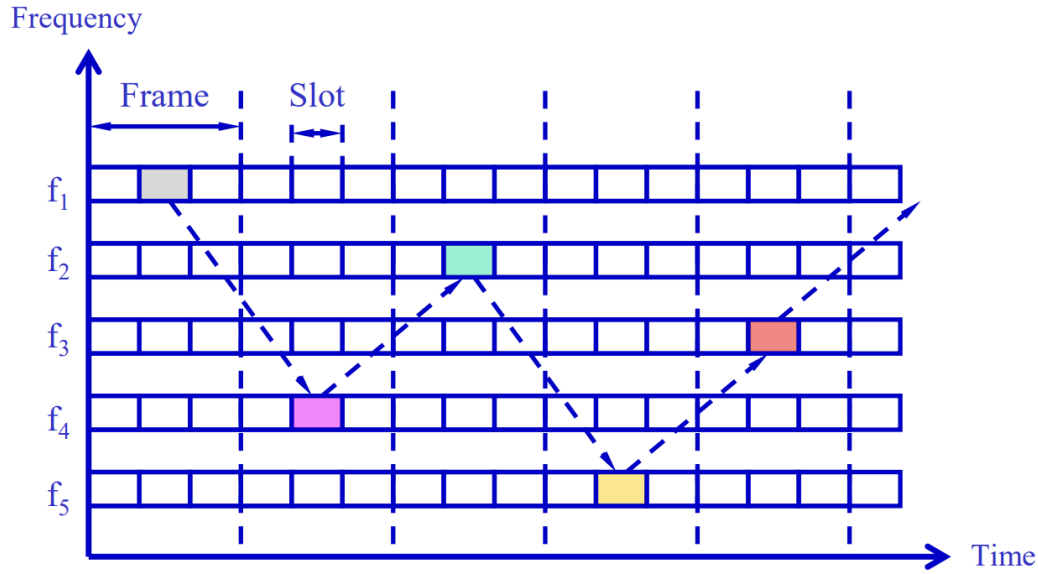


- One of OFDMA, LTE
- 결국은 CDMA에서 주파수 활용성을 극도로 올린 것 = OFDMA
 - Channel bandwidth 20MHz
 - About 1200 subcarriers
 - We cannot serve each carrier to each user = Impossible 1200users
 - 12subcarriers = one block of F
 - 7symbols = one block of T
 - To allocate resources well
 - Use 'scheduler'
 - Scheduling period : 0.5ms
 - Time is too short, use two block = RB(resource block) pair(1ms)

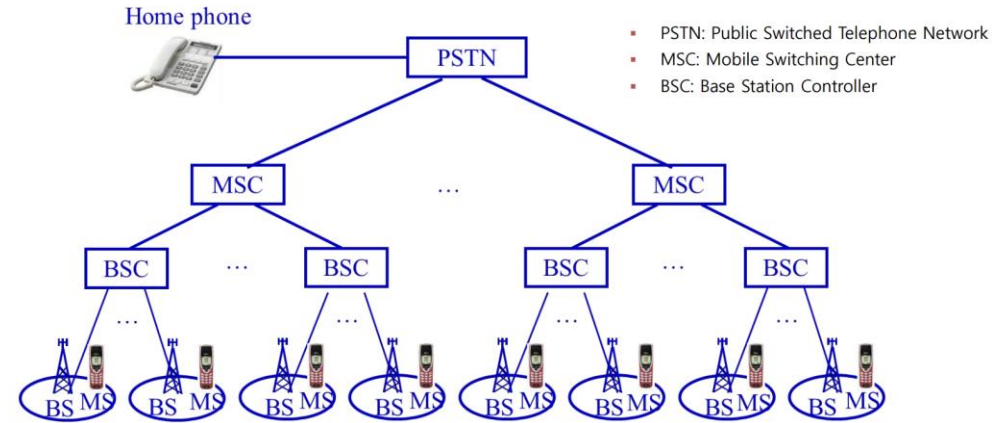
- OFDM : similar with TDMA
 - All carriers only for one user
 - 한 사용자만 더 많은 신호 전송 가능
 - IEEE(I triple E) 802.16e = LTE
 - 11 : LAN(local)
 - 15 : PAN(personal)
 - 16 : MAN(metropolitan)
- 전화선 케이블을 활용한 데이터 전송
- ADSL : asymmetric digital subscriber line
- VDSL : very high speed
- HDSL : high-bit rate

2G Cellular Systems (e.g. CDMA)

▪ Circuit Switching (CS) Network




- Frequency hopping system
 - Base on military
 - Bluetooth
 - To avoid jamming
 - Change frequency many time



MSC : one or two in area(서울)

BSC : 수백 개

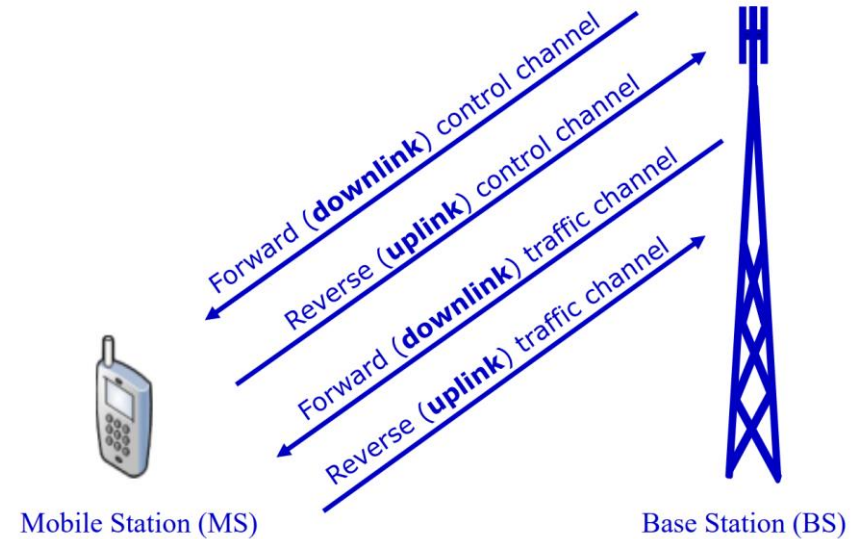
- Phone call
- Circuit switching
 - not shared by others
 - One line set, no one cannot use it, but stable, expensive
- Packet switching
 - link is automatically set(not fixed), small data unit(packet) has header(has from-to IP), router check IP, cheap
- LTE는 PS만 사용, 3G는 통화만 CS사용

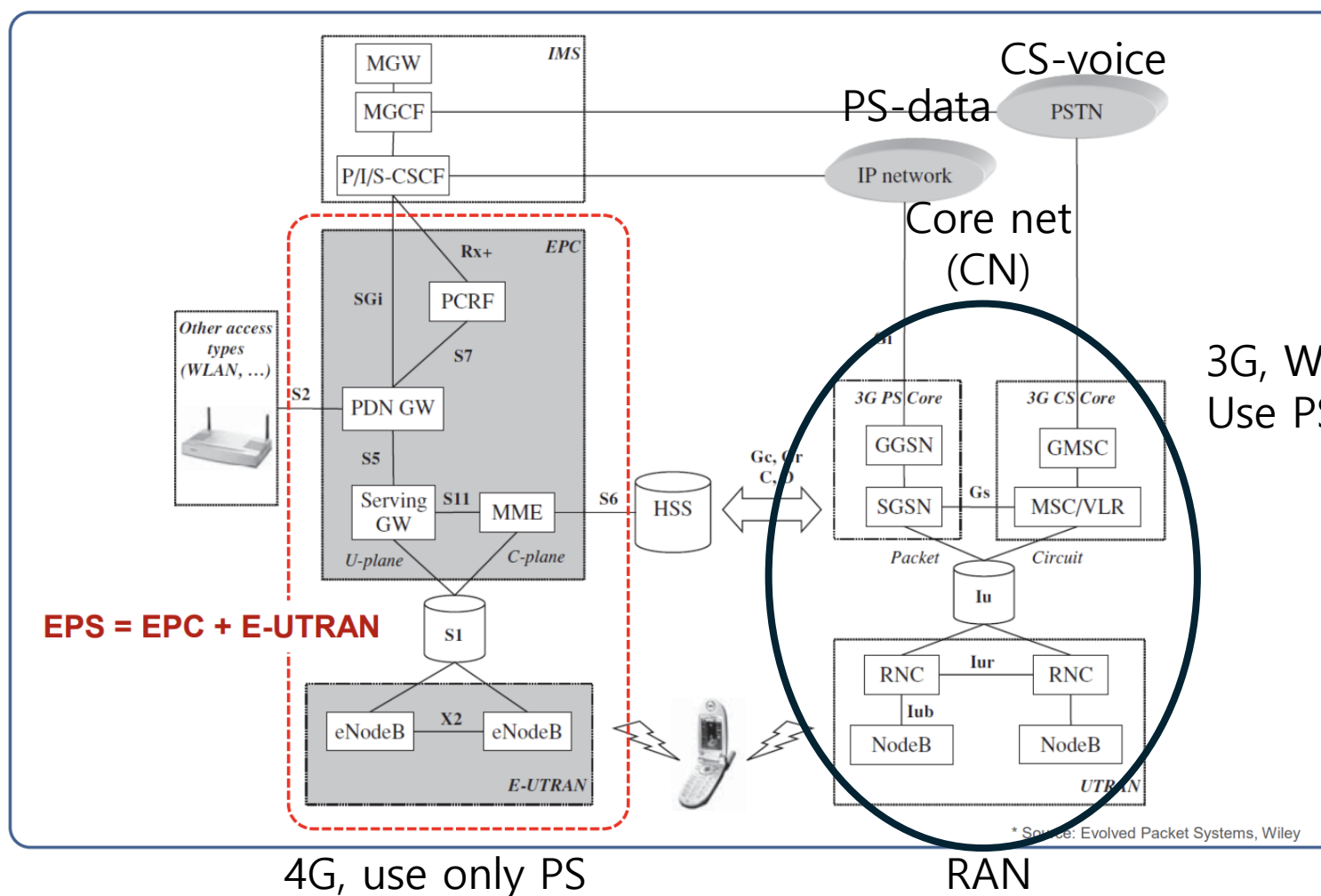
Generation	1G	2G	3G (IMT-2000)	4G (IMT-advanced)	5G	6G
Technology	FDMA	TDMA CDMA	CDMA	OFDMA		
Real tech name	AMPS	GSM CDMA	 WCDMA HSDPA HSPA LTE	LTE-advanced LTE-a... pro		

- GSM에서 3GPP를 만들고 WCDMA로 발전
- 기반 기술 이름은 CDMA로 같지만 더 넓은 폭 사용(wide CDMA)
- 통신 Standard 표준 제작(International mobile communication)
- 3GPP (The 3rd generation partnership project)
 - 1998
 - Let's make standard of 3G
- 4G의 요구사항 : peak data rate $\geq 1\text{Gbps}$
 - LTE = 300Mbps (so called, pre-4G, 3.9G)
 - 엄격하게 말하면 4G \neq LTE
- LTE-advanced $\geq 3\text{Gbps}$, real 4G
- 시장에서의 원활한 용어 사용을 위해 LTE 사용
- WCDMA(384Kbps for DL, UL)
- HSDPA(High speed downlink packet access)
 - (14.4Mbps for DL-peak, normal case 3-4)
- 5G(IMT-2020 $\geq 20\text{Gbps}$)
- 6G(IMT-2030 $\geq 1\text{Tbps}$)

- 참고

- LTE (Long Term Evolution)
- Base station to cell phone : down link (DL)
- Cell phone to base station : up link (UL)
- Side link for specific case (SL)
- D2D communication (Device To Device)
 - for public safety
 - 공공기관 (경찰, 소방서) 등 특수 목적
- ITO-R(international Telecommunication union-radio)





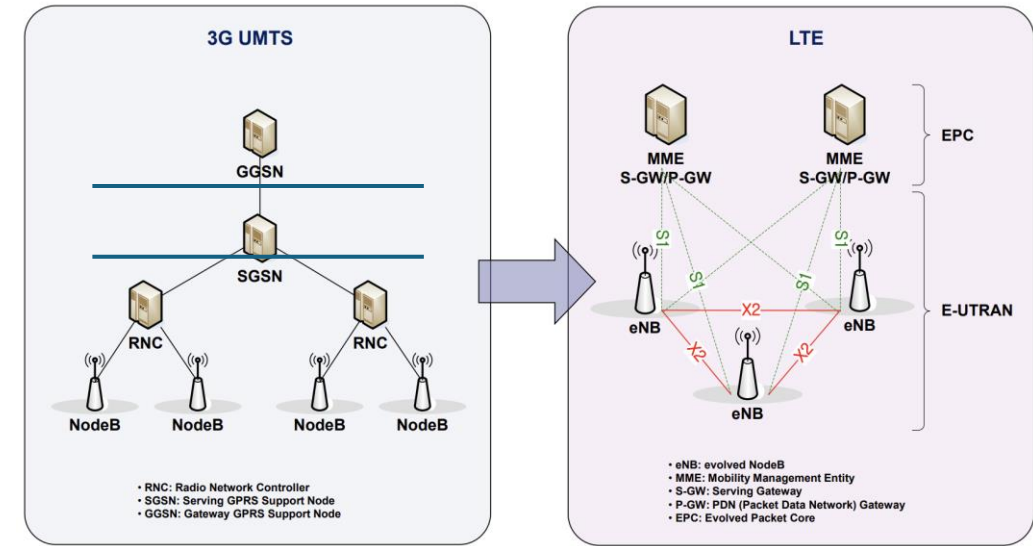
- Network core – 시스템의 중앙, 데이터 전송, 라우터
- Network edge – end system(PC, phone, server)=host
- Access network(3G, LTE, 5G) – end system이 사용하는 길
- Radio access net (RAN) – 무선 접속 망
 - End system to BS

- Edge to core access,
- 스마트폰(Network edge)에서
- WIFI(Access network)를 통해
- Network core(Core net) 접속
 - SKT, KT
- 이후 인터넷의 특정 서버 접속 가능
 - (like YouTube, Instagram)
- Base station
 - Node B(3G)
 - Evolved Node B(4G)
 - g Node B(5G)-generation
- Mobile station
 - UE(user equipment)

- UTRAN
 - UMTS Terrestrial Radio Access Network
 - Universal Mobile Telecommunication System
- E-UTRAN
 - Evolved
- EPC
 - Evolved packet core
- **EPS = E-UTRAN+EPC**
 - Evolved packet system
 - Mobility management entry(MME)
 - Home subscriber server(HSS)
 - GW = Gateway
 - PDN = Packet data network
- User plane = data + signal for database(PDN)
- Control plane = MME+HSS(이용 요금, 사용자 등 정보)
- IMS = IP multimedia subsystem(optional)

Core net

RAN



3stage net
architecture

Flat architecture
계층이 사라진 구조

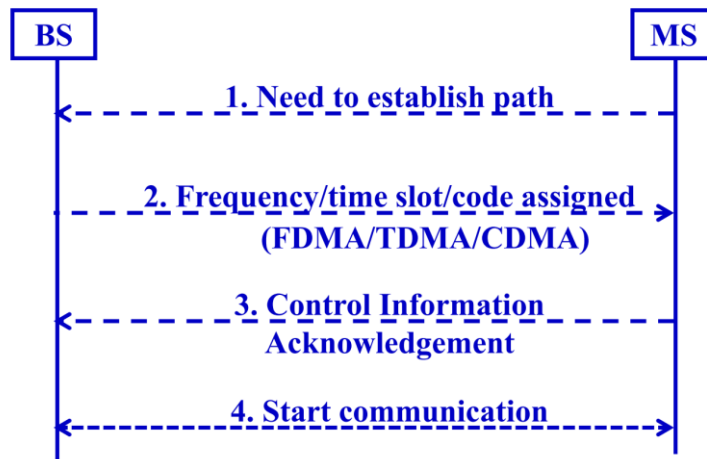
- HLR(Home)
- VLR(where to visit)
- For 2G, 3G

- i.e. how can I get phone call(ringing)?
- Paging message(20ms-200ms 주기 간격으로) 신호 체크
- Downlink and uplink
 - Two channels each
 - Traffic : user data
 - Control : control signals

Source coding(encoding, decoding)
Channel coding(encoding, decoding)

두 종류의 코딩 존재

- Source coding
 - reduce size, compression(압축)
- Channel coding
 - for error detection or error correction, use redundancy
 - Correction > detection
 - huge redundancy
 - 원래 신호에 추가로 정보 전송



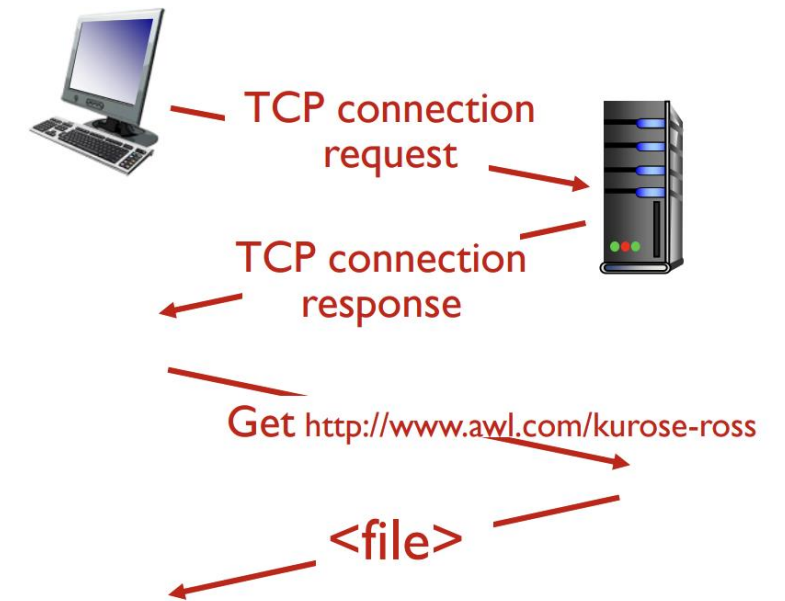
BS to MS

Acknowledgement : positive or negative feedback

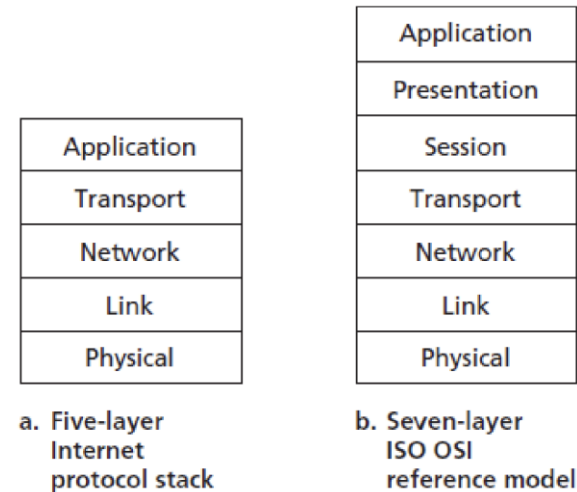
(신호 해석 여부 – ack, nack)

함께 진행해도 신호 손실이 없기에 동시 사용 가능

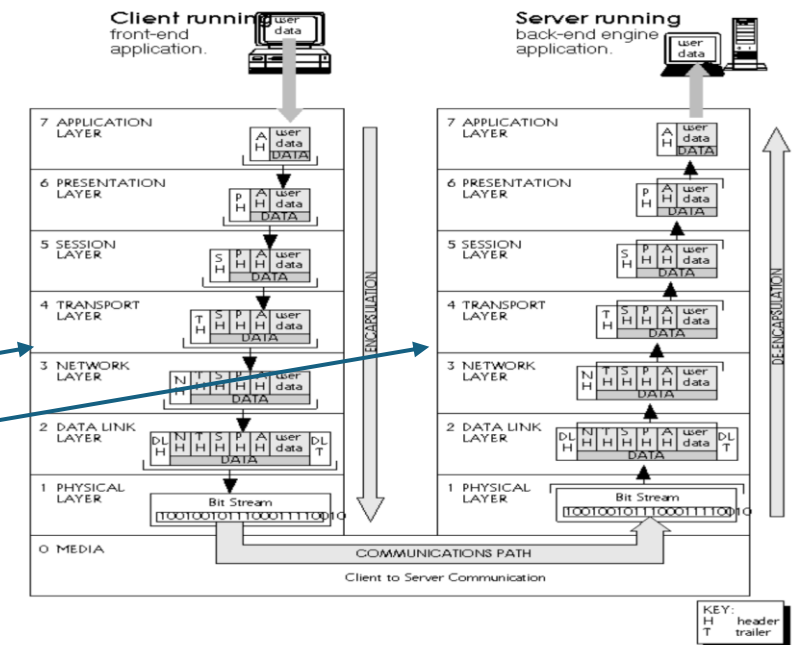
- Modulator/Demodulator
 - convert binary data to waveform
 - Using carrier
 - Pass it to antenna(air)
 - In water, electronic wave cannot through the water
 - Use acoustic wave(dolphin uses)
- Satellite system
 - Refer to page 6
 - Traditional / telecommunication
- Protocol
 - Rules for communication
 - Client / server(host)
 - TCP request / response
 - Get URL / HTML... file transmit



- TCP and UDP
 - Transmit Control Protocol
 - User Data Protocol
 - UDP doesn't require handshaking
 - UDP faster, but low security service
 - TCP = 논리적 경로 배정(use handshaking)
 - UDP = 비 연결형 서비스(not use handshaking)

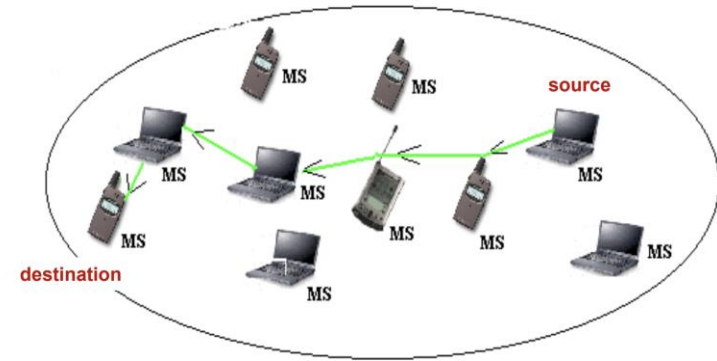


- A : kind of smart phone app or program, browser
 - for specific purpose, can decompose $A = A + P + S$
- T : MS to SERVER transmit using router
- N : determines route (Path for transmit)
- L : link between routers
- P : wire or air, water, optic cable(광케이블)
- Layer를 통과할 때마다 사이즈 증가(header)
- Each layer, input=Service data unit, output=Protocol data unit
- 정보 추가, 박스 → 정보 추가, 박스... 반복
- Encapsulation, decapsulation

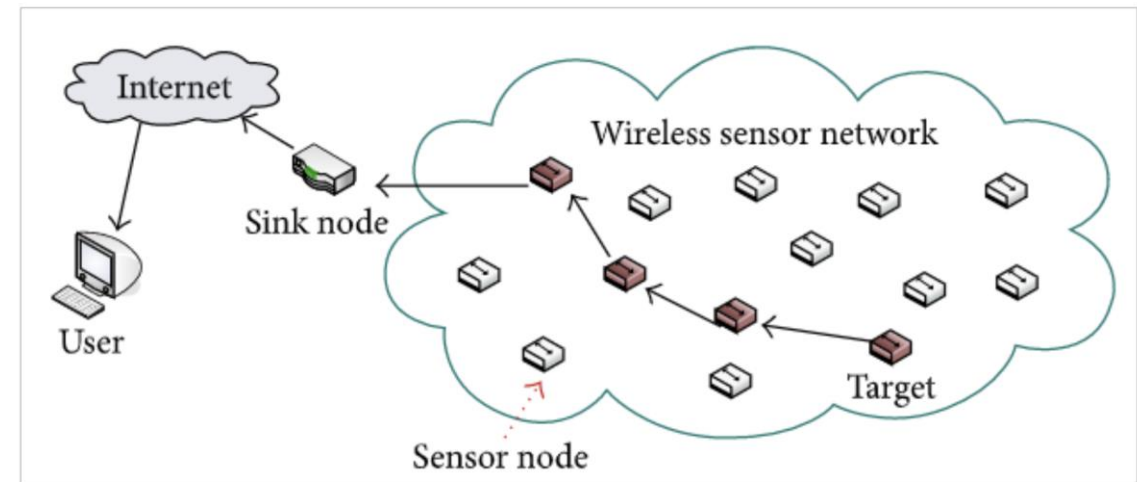


- Ad-hoc network
 - 독립 단말들끼리 자율적인 임시 망
 - Network topology (노드들의 연결)
 - Temporary
- A mobile ad-hoc network (MANET)
 - 독립 단말 자율 임시 망이 이동하는 경우
 - Dynamic change, not static
 - Peer to peer
 - (same level in hierarchy, not client-server)
 - Store and forward method(반드시 저장 후 전송)
- Sensor network
 - Refer to page 7
 - 아주 작은 Node가 직접 신호를 보내기 어렵기에 클라우드 내의 타겟을 이용해 전달
- LAN and PAN
 - Local area and Personal area
 - Cover smaller area
 - Office and home (WIFI)

- MANET are basically peer-to-peer (p2p) multihop mobile wireless networks where information packets are transmitted in a store-and-forward method from source to destination, via intermediate nodes.



- Wireless Sensor Network



Source: Journal of Sensors, 2015, "A Review on Sensor Network Issues and Robotics"

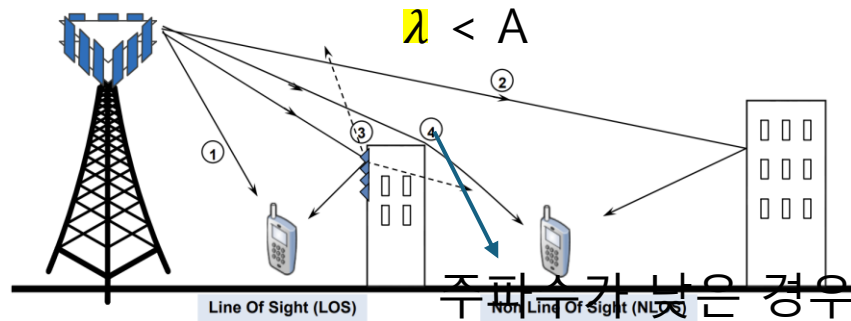
2

- Path loss, slow fading, fast fading – important
- Time-varying = time-variant
 - 시간의 흐름에 따라 지속적으로 변화
- Random variable
 - 일정 수치 간격내에 랜덤하게 바뀌는 값 (주사위)
- Electromagnetic wave
 - 전자기파
 - $C = f \cdot \lambda$
 - 광속 = 진동수 * 파장(waveform length)
 - $C = 3 \times 10^8 \text{m/sec}$ - 30광년(1초에 지구 7.5바퀴)
 - If $f=1\text{GHz}$, λ (lambda) is 30cm(0.3m)
 - Ultra, Super, Extremely is the most useful nowadays

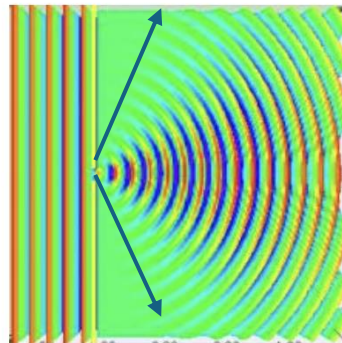
3.3~3.4 very important
6page ~ 13page

- The received signal consists of several paths.

1. Direct Path
2. Reflected Path
3. Scattered Path
4. Diffracted Path



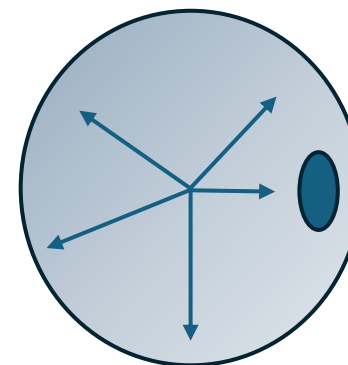
$$\lambda > A$$



Source: <https://courses.lumenlearning.com/>

- Line of sight(LOS) condition
 - Direct path
- Non-LOS condition
 - Reflected path(반사)
 - 상대적으로 $\lambda < \text{hitting area}$
 - 10km 파장에 비해 1cm 파장은 휴대폰에 반사 가능
 - Scattered path(산란)
 - 상대적으로 $\lambda > \text{hitting area}$
 - 어디로 반사될 지 모르는 상태
 - Diffracted path(회절)
 - 날카롭거나 불규칙적인 표면에 만나면 스친 물질 방향으로 회절
 - Direction is slightly change
 - 주파수에 따라 회절 각도 변화
 - High frequency = smaller angle change
 - Low frequency = high angle change
 - 주파수가 높아지면 직진성이 높아진다.
 - 주파수가 높으면 coverage가 좁다.
 - 주파수가 낮으면 coverage가 넓다. (라디오)

- Transmit power
 - 수신전력 P_r
 - 송신전력 P_t
- In free space
 - 한 점에서 구를 바탕으로 모든 방향으로 신호 전송
 - $4\pi d^2$ = 구의 전체 면적으로 나눈 후
 - A_e = 구의 어떤 작은 면의 곱
 - G_t = 안테나 신호 증폭 이득
 - $P_r = \frac{A_e G_t P_t}{4\pi d^2}$
 - $G_r = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$
 - 연립하면, $P_r = \frac{G_r G_t P_t}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}$



- Path loss, How many times power decrease(양수)

- $L_f = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_r G_t} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$
- $G_r G_t = 1$ 이라면, $L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi f_c d}{c}\right)^2$

- 주파수와 거리의 제곱비례관계 = Path Loss
- 10m to 20m 거리 2배, loss 4배
- 1GHz to 2GHz 주파수 2배, loss 4배
- 널리 퍼지기 위해서는 주파수를 적게(radio)
- dB (decibel) – amount of sound
- 방대한 대역의 숫자를 표현하기 위한 방법
- $10 \cdot \log_{10} x$
- 10, 10^2 , 10^3 ... → 10, 20, 30...
- 13P) log scale이기에 loss증가 폭이 적어 보이지만, 사실 매우 크게 증가 중

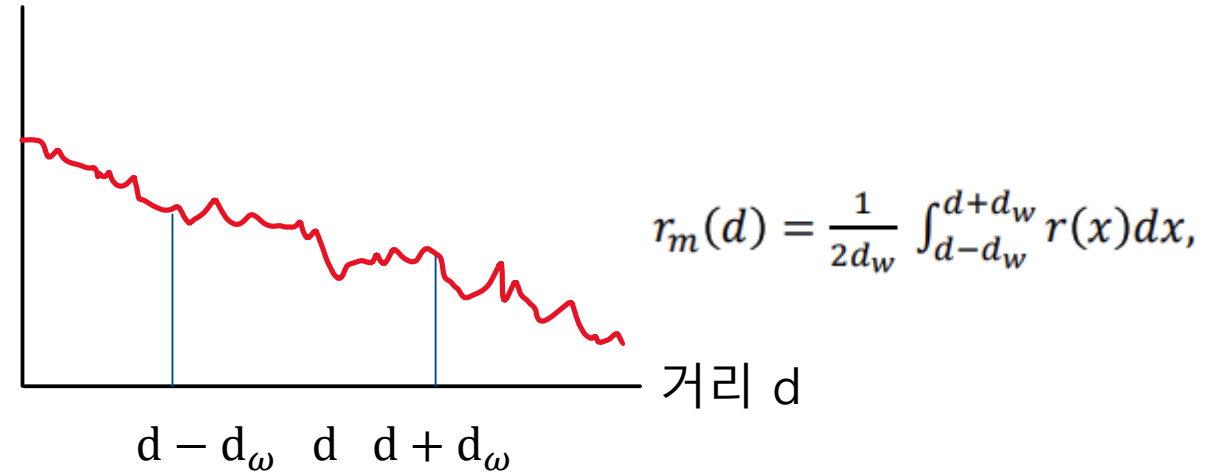
- 실제 세상에서는, $P_r = \frac{G_t G_r P_t}{L}$
- 손실 L은 Path loss, Slow fading, Fast fading 여러 손실의 propagation(번식)
- In real world, Path loss에 미치는 영향
 - Distance, 거리
 - Frequency, 주파수
 - Morphology, 지역 밀집도
 - Height Tx and Rx, 이용자 높이 위치
- 신호는 Fluctuation = 요동치며 전달(increase, decrease 반복)
- 서로 다른 경로에서 오는 신호의 전파가 상호 간섭
- 진폭 및 위상이 시간적으로 불규칙하게 변화
 - Slow fading, Slow change = Shadowing = 느린 감쇠 손실
 - 몇 십 미터 수준의 거시적 관점(local)에서 전파 손실의 변화
 - 건물, 길, 물체 등에 영향 받는 것
 - 모바일에 의해 이동되는 일부 거리에 대해 전체 평균 fading
 - Fast fading, Fast change = 빠른 감쇠 손실
 - 미시적인 관점에서 전파 손실의 변화
 - 많은 회절파로 구성된 모바일의 이동에 의해 fading
 - Multi path fading (fast fading)
 - Omni direction path
- 콘크리트 벽에 20-30dB path loss
- 100-1000times decrease
- 여러 방향에서 오는 여러 신호
 - Same phase
 - Constructive phase
 - 합쳐져 신호 증폭
 - Different phase
 - Destructive phase
 - 신호 감소
- 두 phase가 빠르게 반복

Midterm : ~32p

Path loss에 대한 간단 공식 $L_p = Ad^\alpha$

- A = constant
- α = Depend on density of city, can be 3, 4, 5... not d^2
- Hata Model
 - based on Okumura model
 - 선형회귀처럼, 거리 d 에 따라 $L(\text{path loss})$ 추정 가능
 - 고려 변수
 - 주파수
 - Height of BS, MS
 - 거리 d
 - Morphology
- Path loss가 증가하는 경우
 - 거리가 멀수록
 - 주파수가 높을수록
 - 도심(urban)일수록

신호 파워

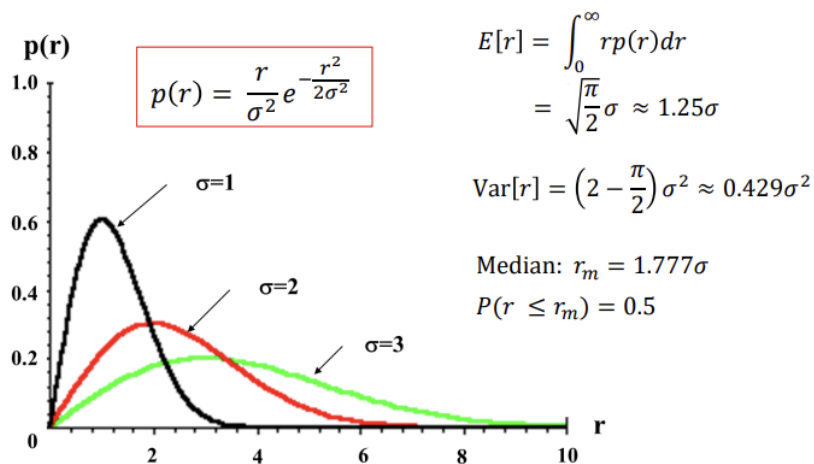


- Slow fading = log normal fading = shadowing
 - 적분의 넓이를 이용한 평균값 계산
 - 천천히 바뀌는 그래프
- Normal distribution = Gaussian distribution = 정규분포
- $x \sim N(M, \sigma^2)$
- $M = 10 \log_{10} m = \text{dB}$
- m 은 정규분포를 따르지 않는데, M 이 정규분포를 따르면...
- $m = \log \text{normal random variable}$, log normal distribution
- m 은 실제로 정규분포를 따르지 않을지라도 그렇게 명명

- Fast fading
 - Due to multi path of the signal
 - 한순간에 들어오는 멀티 패스에 의해
 - 서로 다른 phase가 섞이는 형태가 사용자 움직임에 따라 매우 빈번히 달라진다.
 - Constructive phase(similar phase)
 - Destructive phase(opposite phase)
- Phase가 바뀌는 이유?
 - Reflection, Scattering, Diffraction
- 매우 작은 파장도 fast fading 유발
 - $\lambda/2$ 만큼의 거리만 움직여도 유발
 - 1GHz, 30cm → movement of 15cm can occur fast fading
- Fast fading의 두가지 해석
 - Rayleigh fading(distribution)
 - Rician fading(distribution)

- Rayleigh
 - 상대적으로 특정 강신호가 없다.
 - 대부분의 경우 NLOS(non-LOS)
 - No dominant – 특출난 신호가 없다.
 - Fast fading + Rayleigh = Rayleigh fading
 - 정규분포를 따르는 Path(평균=0)들이 합성된 전체 신호는 Rayleigh distribution을 따른다.
- Rician
 - 특정 path가 다른 path에 비해 매우 강하다.
 - 대부분의 경우 LOS(Line Of Sight)
 - Dominant path – 특출난 신호가 있다.
 - 정규분포를 따르는 Path(평균이 0이 아닌 분포)들이 합성된 전체 신호는 Rician distribution을 따른다.
- Direct signal이 매우 크다면 정규분포 근사
- Direct signal이 작다면 특정 강신호가 없거나 약하다는 의미 = Rayleigh에 근사

- Pdf of Rayleigh distribution



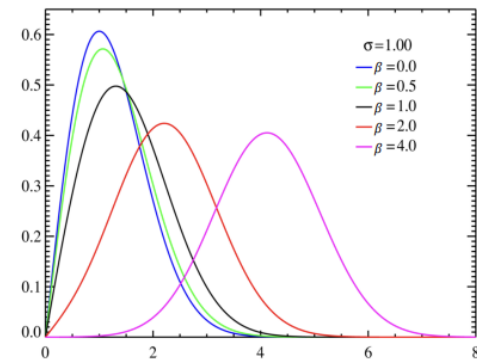
Path들의 정규분포 평균 = 0

- Rayleigh fading(distribution)
- Rician fading(distribution)
- Nakagami distribution

Fast fading을 위한 또다른 방법으로,
특별 상수 m이 존재

- Pdf of Rician distribution

- When the direct signal is very strong ($\beta \gg 1$)
→ can be approximated by a **Gaussian distribution**
- When the direct signal is very small ($\beta \approx 0$)
→ can be approximated by a **Rayleigh distribution**



Path들의 정규분포 평균은 가변적

- 평균이 매우 크다면 정규분포
- 평균이 0에 근사하면 Rayleigh 분포