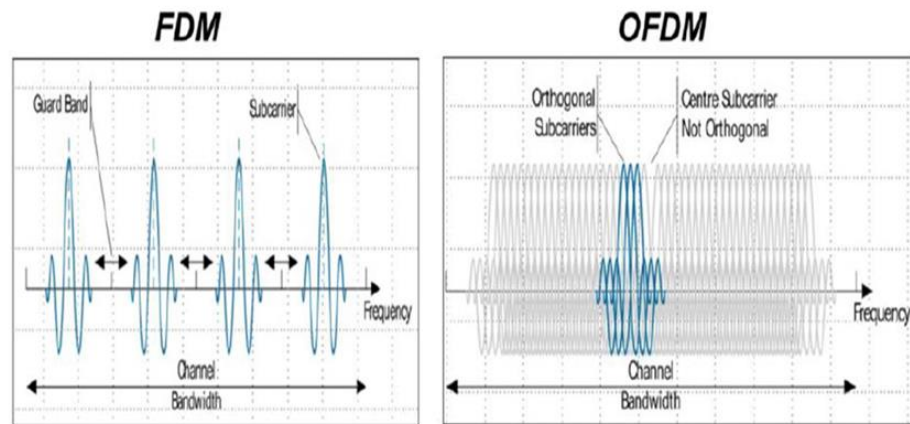


Lecture 2 part 2

OFDM:

OFDM: Multiple orthogonal frequencies are used to achieve data transmission on greater BW

يعني بدل ما نخلي كل carrier يشغل منطقه لوحده ف ال BW و كمان نحط قبله وبعده guard band كده لا ممكن نخلي اكثر من symbol ف نفس المنطقه بس orthogonal يعني عند maximum واحده التانيه تبقى minimum وهكذا



Activ
Go to

Advantages :

- 1) Carriers are overlapping and orthogonal which greatly improve spectral efficiency .
By using IFFT in transmitter and FFT in receiver reduce system complexity
- 2) Effectively withstand with multipath by adding cyclic prefix

Cyclic Prefix (CP):

It is a copy of the end part of an OFDM symbol that is added to its beginning to prevent inter-symbol interference (ISI)

طيب يعني ايه الكلمتين دول اول واحده واضح احنا قدرنا نبعت كذا symbol ف نفس الوقت ف ده زود كفاءه استغلال الترددات او الباند اللي معايا الجمله اللي بعدها بتبين ازاى ال ofdm مبقاش معقد انه يتنفذ بسبب ال IFFT /FFT ايه دول اصلا وايه اهميتهم:

في الإرسال: (Transmitter)

- البيانات بتتوزع على ترددات كثير صغيرة (subcarriers)
- بدل ما نبعت كل واحدة لوحدها، بيستخدموا عملية رياضية اسمها IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). دي بتجمع كل الترددات في إشارة واحدة في الزمن (time-domain) تبقى جاهزة للإرسال.

في الاستقبال: (Receiver)

- المستقبل يعمل العملية العكسية باستخدام FFT (Fast Fourier Transform) ترجع الإشارة من الزمن إلى التردد، فيفصل كل subcarrier لوحده ويقرأ البيانات منه.

يعني IFFT بتحوّل الإشارة علشان تتبعت، و FFT بترجّعها علشان تتفك وتتفهم

حلو طب ثاني نقطه بيقول انه بيقدر يتغلب على مشكلة ال multi path اي اصلا المشكله دي :
في الواقع، الإشارة مش بتمشي في طريق واحد بتنعكس من مباني، جبال، عربيات... فيتوصل للموبايل كذا نسخة متأخرة عن بعض.

وده بيعمل تشويش اسمه ISI (Inter-Symbol Interference)

يعني الإشارة القديمة تتداخل مع الجديدة وتبوظها.

طيب اتحلت ازاى ضافو حاجه زي منطقة حمايه قبل كل symbol اسمها cyclic prefix هي عباره عن بيتاخذ

من آخر ال symbol ويتخط في أوله علشان كده اسمه Cyclic

بحيث لو حصل تداخل مع اللي قبلها ال CP هي اللي تتاثر وال symbol نفسها تفضل تمام

LTE down link uses OFDMA :

OFDMA :

- technology that allows sending data to multiple users at the same time over the same radio channel as each user allocated different resource which can vary in time or frequency
- its combination of TDMA/FDMA

how it works:

- it splits BW into many small orthogonal of subcarriers
- each group of subcarriers (12 subcarriers) grouped into smaller block called Resource block(RB)
- each RB assigned to specific user at specific time slot
(مش كل الكلام ده مكتوب ف المحاضره بس ده وصف الصوره)

طيب نفهم يعني ايه الكلام ده : ال LTE بتستخدم ف ال downlink تيكنيك اسمه OFDMA

يعني نفس فكرة OFDM، بس بدل ما تبعت بيانات مستخدم واحد، هنا الشبكة تقدر تبعت لكذا مستخدم في نفس الوقت على ترددات مختلفة صغيرة جدًا. (subcarriers)

إزاى بتشتغل؟

- التردد الكلي بيتقسم لترددات صغيرة جدًا اسمها subcarriers.
- كل مجموعة 12 subcarrier بتتجمع في حاجة اسمها Resource Block (RB).

- ال RBs دي بتتقسم ع ال users

مثلاً:

- User 1 ياخذ RBs معينة في وقت معين.
- User 2 ياخذ RBs مختلفة في نفس الوقت.
- كلهم يستقبلوا بيانات في نفس اللحظة لكن على ترددات مختلفة.

LTE uplink uses SC-FDMA:

To reduce limitation of PAPR (Peak to Average Power Ratio) of PA (power amplifier) in uplink SC-FDMA is used

ده الجملة اللي مكتوبه ف المحاضره طيب خرينا نفهم يعني ايه
 انا عندي مشكله ف ال OFDMA لو استخدمته ف ال uplink ان الإشارة الخارجة من الموبايل بيبقى فيها قمم
 (peaks) في الطاقة كبيرة جداً مقارنة بمتوسط الطاقة.
 علشان الموبايل يرسل الإشارة دي من غير تشويه، محتاج **Power Amplifier**: قوي جداً طيب اشمعنا كده فيه
 peaks كتيير؟

لأن في OFDMA زي ما قولنا
 الإشارة الواحدة بتتكون من مجموع كبير من ال **subcarriers**
 يعني موجات كتيير شغالة مع بعض على ترددات مختلفة شوية
 فالإشارة الكلية = مجموع كل الموجات دي مع بعض:

$$\text{Signal} = \text{subcarrier}_1 + \text{subcarrier}_2 + \text{subcarrier}_3 + \dots + \text{subcarrier}_n$$

المشكلة بقي:

كل **subcarrier** ليه amplitude و phase يعني شدة واتجاه
 ساعات ال phases دي بتتجمع كلها في نفس الاتجاه،
 فتتقوى الإشارة جداً جداً → تعمل **peak** عالي جداً.
 وساعات تانية ال phases تبقى عكس بعض،
 فتلغوا بعض → الإشارة تبقى ضعيفة جداً.

SC-FDMA حلتها إزاي؟

قبل ما تبعت الداتا في SC-FDMA ، بيحصل خطوة زيادة في المعالجة

الخطوة دي اسمها **DFT (Discrete Fourier Transform)** يعني:

- في OFDMA ، بتوزع الرموز (symbols) على **subcarriers** مباشرة. يعني كل **subcarrier** شايل symbol

- لكن في SC-FDMA ، بتعمل DFT للداتا الأول → ده بيحول ال symbols دي لتكون متوزعة على كل الترددات بطريقة خاصة.

بعد ال-DFT ، الإشارة دي بتدخل على ال-IFFT زي OFDM العادي
بس النتيجة بتكون مختلفة

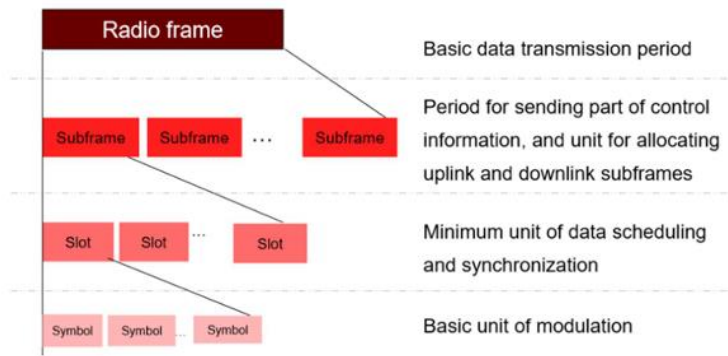
بدل ما كل subcarrier يشيل رمز مستقل،

كل رمز دلوقتي موزع على مجموعة من ال-subcarriers.

ده بيخلي الإشارة الناتجة شكلها كأنها موجة واحدة مستمرة (single carrier)

مش مجموع موجات مستقلة زي OFDMA

Time domain resources in LTE (frame , subframe, slot ,symbol)



LTE بيتقسم الزمن في شكل هرمي من أربع مستويات

1. Radio Frame

مدته 10 ملي ثانية.

- كل Frame بيتكرر على طول — يعني الشبكة شغالة كأنها pulses متكررة كل 10 ms.
- بيتقسم إلى 10 Subframes من 0 إلى 9

2.subframe

- مدته 1 ملي ثانية. كل Subframe فيه 2 Slots.
- دي هي الوحدة اللي الشبكة بتشتغل عليها في allocating يعني هاخذ ال-subframe رقم 3 ده وأخليه uplink ، و subframe رقم 4 أخليه downlink.
- كمان فيه subframes بتتبع control signals

3. Slot

- كل Slot هو الوحدة اللي بيتم فيها إرسال الداتا الفعلية من خلال مجموعة Resource Blocks (RBs).

ال-Scheduler في البرج بيقرر: كل مستخدم هياخد كام Slot وكام RB في كل Subframe.

يعني: لو الشبكة فاضية، ممكن تديك Subframe كاملة. لو زحمة، هتديك Slot واحد بس أو شوية RBs صغيرين.

4.symbols

كل Slot فيه 6 أو 7 (symbols) في العادة.

الوظيفة:

ده هو الأساس الفعلي لنقل البيانات.

كل symbol بينقل bits من الداتا باستخدام مودليشن زي QPSK أو QAM 16 أو QAM 64.

There is 2 types of frame structure :

1. FDD

- Uplink (UL) and Downlink (DL) operate on two different, paired frequency bands.
- Because they are on separate frequencies, transmission and reception can happen at the same time (simultaneously).

2. TDD

- Uplink (UL) and Downlink (DL) operate on the same frequency band but are separated in time.
- The network must carefully coordinate time slots so that all devices know when to transmit and when to listen.
- Each subframe has different type (uplink-downlink-special)

الشرح بقى:

بالنسبة لل FDD:

- عندنا ترددتين مختلفتين: واحد مخصص لل Downlink و واحد لل Uplink فالإرسال والاستقبال ممكن يحصلوا في نفس الوقت، كل واحد على تردد مختلف.

اللي بيحصل :

- البرج بيعت في ال Downlink carrier كل ال 10 subframes.
- والموبايل بيعت في ال Uplink carrier في نفس الوقت.
- الاتنين شغالين متزامنين بس على ترددتين منفصلين.

بس لازم الشبكة تمتلك (paired spectrum) يعني ترددتين بنفس المسافة الفاصلة.

مثال

لو: LTE Band 3 (FDD)

• DL = 1805 MHz

• UL = 1710 MHz

الفاصل 95 MHz بينهم، وده اللي بيخلي الاتنين يشتغلوا سوا بدون تداخل.

طبيب ال TDD:

- عندنا تردد واحد بس، فبنقسم "الزمن" بين ال Downlink وال Uplink يعني البرج والموبايل مينفعش يرسلوا في نفس اللحظة على نفس التردد. كل frame فيه 10 subframe برضو لكن بقى، كل Subframe فيه نوع: downlink/uplink/special subframe

اي ال special subframe ده :

هي زي منطقة للتحويل بين ال downlink و ال uplink كده

يعني هو بيبقى عبارة عن 3 اجزاء

اول جزء : DwPTS (Downlink Pilot Time Slot)

في الجزء ده، البرج بيكمل آخر شوية إرسال Downlink. بيبعت بيانات أو إشارات تحكم قصيرة (زي PDCCH أو Reference Signals)

تاني جزء : GP (Guard Period)

ده وقت صمت تام، لا البرج بيتكلم ولا الموبايل. كل الأجهزة تسكت شوية. عشان نعمل حساب ال delay لحد ما كل ال signals توصل من لبرج للموبايل

تالت جزء : UpPTS (Uplink Pilot Time Slot)

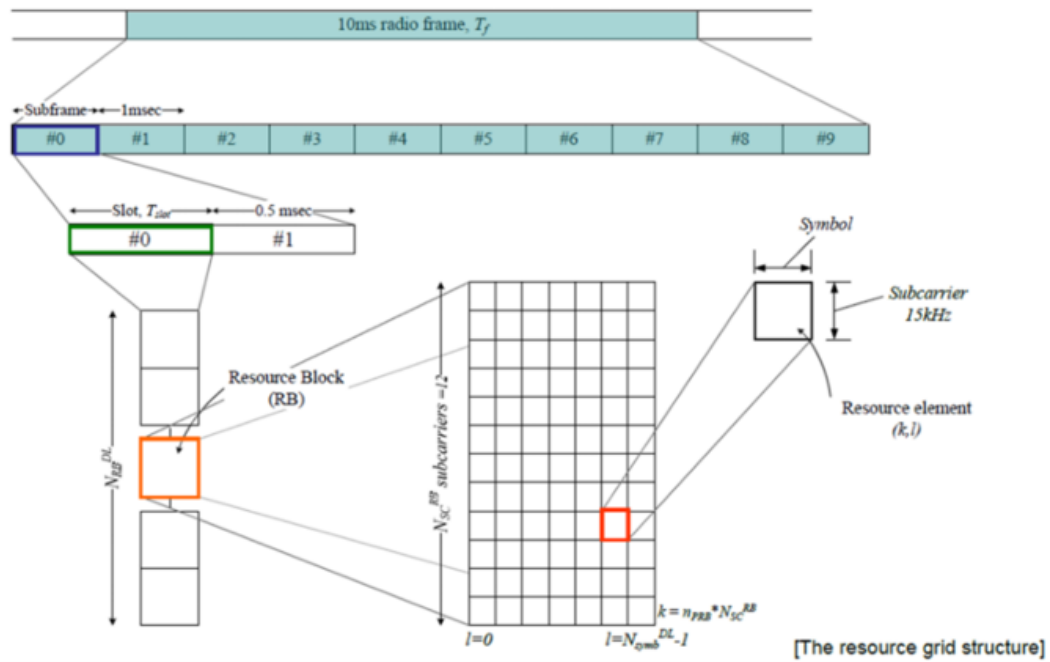
ال موبايل بيدأ يتكلم لأول مرة بعد الصمت، بس مش بيانات حقيقية لسه بيبعت إشارات تزامن عشان البرج يعرف توقيت و delay للإرسال بدقة.

زي لما تقول :ألو؟ سامعني؟ قبل ما تبدأ الكلام الحقيقي.

Uplink-downlink Configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

ف الجدول ده مثلاً : عندنا config 1 فيه رقم 1 و 6 special و أغلب الباقي uplink و هكذا
اي بقى ال **Switch-Point Periodicity** بيحدد كل قد إيه نبذل الاتجاه بين uplink و ال DL كل 5 أو 10 ms

Resource grid structure



كل خانة صغيرة في الجدول ده هي وحدة اسمها **Resource Element (RE)**، ودي اللي بتحمل جزء صغير جداً من البيانات زي bit أو symbol واحد
والشبكة بتقسم الجدول ده لمربعات أكبر شوية اسمها **Resource Blocks (RB)**، وكل مربع بيتخصص لمستخدم معين لمدة زمنية معينة.

يعني كل RE بيمثل symbol واحد ف ال time domain و subcarrier واحد ف ال frequency domain
ال RB بقى بيحتوى على 12 subcarrier و 7 symbols يعني توتال 84 REs وده اقل وحدة ممكن المستخدم ياخذها
تنوه حبتين... طيب انا عندي كل symbol بيتوزع ع ال subcarriers وبرزو كل subcarrier فيه اكثر من symbol
يعني لو خدنا بالنسبة من الصورة هنا هنلاقي ان كل symbol من ال 7 اللي ف ال RB متوزع على ال 12 subcarriers
وكل subcarrier جواه 7 symbols

Resource Block: ده معناه إن في كل

- عندنا **12 (subcarriers)** بتشتغل في نفس الوقت، وكل واحدة بتتبع **7 رموز (symbols)** متتالية في الزمن،
- وبالتالي نقدر نبعث كمية كبيرة من البيانات في وقت صغير، لأن كل الرموز دي بتتبع بشكل متوازي.

RE (Resource Element) :

- The **smallest, indivisible physical resource unit.**
- **Time Domain: 1 OFDM Symbol**
- **Frequency Domain: 1 Subcarrier (15 kHz)**

RB (Resource Block)

- Minimum unit for resource allocation for user data transmission
- **Time Domain: 1 Slot (0.5 ms, which is 7 OFDM symbols)**
- **Frequency Domain: 12 consecutive subcarriers**

CCE (Control Channel Element)

- The resource unit used specifically for the control channels
- **1 CCE = 9 REG (resource element groups) = 36 Resource Elements.**

TTI (Transmission Time Interval)

- The basic time unit for scheduling. It defines how often the scheduler makes a new decision about which users get which resources.
- **1 TTI = 1 Subframe = 1 ms. Composition: 2 Slots.**
- With a normal Cyclic Prefix, this equals 14 OFDM symbols.(each slot =7 symbols)
- With an extended Cyclic Prefix (used in very large cells to handle longer delay spreads), it equals 12 OFDM symbols.(each slot=6 symbols)

معني الكلام ده :

اول اتنين فهمناهم خلاص اعتقد طيب الباقي:

1 CCE — Control Channel Element

الـ **CCE** هو وحدة خاصة مش لنقل الداتا، لكن لنقل **معلومات التحكم** — يعني الأوامر اللي بيبعتها الـ eNodeB (البرج) للموبايل عشان يقوله: الداتا بتاعتك موجودة فين؟ اتحجز لك كام Resource Block؟ هتفك التشفير إزاي؟" هتستخدم أي "modulation؟"

التركيب الداخلي:

• 1 CCE = 9 REGs (Resource Element Groups)

• 1 REG = 4 REs (Resource Elements) إذن 1 CCE = 9 × 4 = 36 REs

يعني كل CCE عبارة عن 36 نقطة صغيرة في الـ resource grid ، بس موزعة بطريقة معينة عشان الإشارة دي تبقى قوية وواضحة حتى لو فيه noise أو تداخل

ثانيًا TTI — Transmission Time Interval

الـ **TTI** هو الفترة الزمنية اللي بيقرر فيها البرج يوزع الموارد (Resource Blocks) على المستخدمين. يعني كل 1ms، الـ eNodeB بيعمل **جدولة جديدة** مين هييبت؟" هييبت على أنهي تردد؟" هيسخدم كام RB؟"

بيتكون من اي :

• 1 TTI = 1 Subframe = 2 time slots = 2*7 symbols

• اوقات فيه cells فيها delay كبير ف ال CP اللي قولنا عليها بتبقى اكبر عشان تمنع ال interference ف ال time slot بيبقى فيها 6 symbols بس

Relation Between Channel BW and RB

Channel bandwidth BW_{Channel} [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration N_{RB}	6	15	25	50	75	100

الاستاندارد بتاع ال LTE محدد عدد ال RB على حسب ال BW المستخدمه زي ما هو ف الجدول ده كده و طبعا للتذكيره زي
ماحنا متغفين كل RB فيه 12 subcarriers و 1 slot (7 or 6 symbols)

LTE Spectral Efficiency

For example, B.W=20MHz

In each RB, 12 subcarriers*15khz (subcarrier spacing)=180kHz

Actual effective Bandwidth=100 RB*180Khz=18MHz

Spectral Efficiency =18MHz/20MHz=90%

واحد واحد نفهم الكلام ده دلوقتي على حساب ال spectral efficiency

مفروض انه على حسب الجدول ال 20 MHz BW فيها 100 RBs كل RB فيه 12 subcarriers
المسافة بين كل Subcarrier والتاني = 15 kHz

يبقى كل RB = 12 * 15 khz = 180 khz

بالتالي:

كل RB = 180kHz

18MHz = 100 RB × 180kHz فعلي مستخدم

يبقى ال 18 دي ال effective BW طب الباقي من ال 20 راحو فين ما احنا قولنا فيه guard bands عشان نحمي
ال channel من التداخل بيبقى

90% مستخدم فعليا

10% guard band

multipath: Reflection, Diffraction, and Scattering of the signal energy caused by natural obstacles such as buildings or hills, or multiple copies of signals sent intentionally (soft handover).

Reflection: The signal bounces off large surfaces (like buildings or the ground) that are much bigger than the wavelength.

Diffraction: The signal bends around edges of obstacles (like walls or hills) when the object's size is similar to the wavelength — allowing reception without direct line-of-sight.

Scattering: The signal is deflected in many directions by small irregular objects (like trees, lamp posts, or signs).

يعني إيه Multipath ؟

الـ **Multipath** معناها إن الإشارة اللي طالعة من البرج أو الجهاز ما بتوصلش للمستقبل في طريق واحد، لكن بتوصل من مسارات مختلفة بسبب إن البيئة حوالينا (مباني، شجر، جبال...) بتأثر عليها.

فبدل ما الإشارة توصل مرة واحدة، بتوصل كذا نسخة منها، كل نسخة جاية من طريق مختلف وبزمن مختلف شوية. وده ممكن يسبب تداخل أو تأخير في الإشارة.

أنواع الـ Multipath

Reflection

بيحصل لما الإشارة تخبط في جسم كبير جدًا بالنسبة لطول الموجة زي: مبنى ضخمة أو سطح الأرض أو جبل فتراجع الإشارة في اتجاه تاني

مثال: زي لما صوتك يخطف حيطه وتسمع صدى.

Diffraction: بيحصل لما الإشارة تقابل جسم مش كبير قوي بالنسبة لطول الموجة (يعني حجمه قريب منه)، زي: سور أو حافة مبنى فالإشارة "تتكسر" وتكمل طريقها منحرفة حوالين الجسم. يعني حتى لو مفيش **Line of Sight** رؤية مباشرة الإشارة ممكن تفضل توصل.

: Scattering

بيحصل لما الإشارة تقابل حاجات صغيرة وغير منتظمة زي: ورق الشجر عواميد النور يفظ الشوارع ساعتها الإشارة "تتبعثر" في كذا اتجاه في نفس الوقت يعني بدل ما الإشارة تمشي في خط واحد، تتقسم لجزء صغير رايح هنا وجزء هناك. كل ده بيخلي المستقبل (الموبايل مثلاً) يستقبل نسخ متعددة من نفس الإشارة، بس كل واحدة منهم واصله بتأخير بسيط وفرق في القوة

Doppler shift : change in frequency of transmitted signal caused by relative motion between mobile and base station

- Doppler spread is expressed as the maximum Doppler shift (f_m)
 - If the mobile moves **toward** the base station → frequency **increases (+ve)**.
 - If it moves **away** → frequency **decreases (-ve)**.
This change is called **Doppler spread**
 - The Doppler frequency shift should be compensated so that a correct frequency synchronization is achieved .
-

Coherence time:

- **Coherence Time (T_c) = 1 / Doppler Spread (f_d)**
 - It shows **how fast the channel changes** over time.
 - If the channel changes **faster** than the symbol rate → **Fast fading**
 - If the channel changes **slower** than the symbol rate → **Slow fading**
-

الـ **Coherence Time** يعني المدة التي القناة (channel) بتفضل ثابتة فيها قبل ما شكلها يتغير بسبب حركة الموبايل أو الحواجز حوالينا.

يعني تقدر تعتبرها كده: الوقت اللي الإشارة تفضل فيه مستقرة قبل ما تبدأ تتلخبط أو تتغير

لو القناة بتتغير **بسرعة جدًا** (يعني الزمن اللي بتفضل ثابتة فيه قصير)، يبقى ده — **Fast fading** الإشارة بتتهز بسرعة ومش بتلحق تتطبط.

لكن لو القناة بتتغير **ببطء** (يعني تفضل ثابتة فترة طويلة)، يبقى ده — **Slow fading** الإشارة بتفضل مستقرة أكثر.

Coherence band width:

- Range of frequencies over which channel response almost constant
 - Channel passes all frequency components of signal with almost same gain and linear response
 - Coherence Bandwidth $\approx (1 / \text{Maximum Delay Spread})$
 - More accurate way to calculate : Coherence Bandwidth $\approx (1 / 2\pi \times \text{RMS Delay Spread})$.
-

الـ **Coherence Bandwidth** معناها “قد إيه من الترددات القناة بتتعامل معاها بنفس الشكل” يعني القناة هتفضل ثابتة ومش بتشوه الإشارة طول ما انت شغال في النطاق ده من الترددات.

لو الـ **bandwidth** بتاعت الإشارة أكبر من الـ **Coherence Bandwidth** الإشارة هتتأثر وده اسمه **frequency selective fading**.

لكن لو الإشارة أصغر أو قريبة منها لقناة هتتعامل مع كل الترددات تقريباً بنفس الكفاءة، وده اسمه **flat fading**.

ف ببساطة: كل ما الـ **Delay Spread** يعني الفرق في زمن وصول الموجات المنعكسة يزيد الـ **Coherence Bandwidth** تقل.

وكل ما الـ **Delay Spread** يقل القناة تفضل ثابتة على مدى أوسع من الترددات

طيب الادق اننا واحنا بنحسبها اننا ناخد متوسط الـ **delay spread** لان فيه أنواع مختلفة من الـ **delay spread** مش دايماً كل الإشارات المنعكسة (**reflected signals**) بتكون بنفس القوة، فيه إشارات قوية بتيجي بسرعة، وإشارات ضعيفة بتيجي متأخرة.

TYPES OF SMALL SCALE FADING Based on Multipath Time Delay spread:

Flat fading: when channel has constant gain and linear response over BW greater than BW of transmitted signal

- $\text{BW Signal} < \text{BW of Channel}$
- $\text{Symbol Period} > \text{Delay Spread}$

Frequency selective fading: when channel has constant gain and linear response over BW smaller than BW of transmitted signal

- $\text{B W Signal} > \text{BW of Channel}$
- $\text{Symbol Period} < \text{Delay Spread}$

TYPES OF SMALL SCALE FADING Based on Doppler Spread:

Fast Fading :

- In Fast Fading channel the channel impulse response changes at a rate much faster than the transmitted baseband signal.
- This causes frequency dispersion due to Doppler spreading, which leads to signal distortion.
- High Doppler Spread.
- Coherence Time < Symbol Period.
- Channel variations faster than baseband signal variations.

Slow Fading:

- In Slow Fading channel the channel impulse response changes at a rate much slower than the transmitted baseband signal.
- In the frequency domain, this implies that the Doppler spread of the channel is much less than the bandwidth of the baseband channel.
- Low Doppler Spread .
- Coherence Time > Symbol Period.
- Channel variations smaller than baseband signal variations.

1. Fast Fading

ده بيحصل لما القناة (Channel) تتغير بسرعة جدًا مقارنة بسرعة تغير الإشارة اللي بتتبع. يعني الإشارة نفسها ما لحقتش تتبع كويس، والقناة اتغيرت بالفعل!

أمتى يحصل ده؟

لما المستخدم بيتحرك بسرعة كبيرة (زي عريية ماشية بسرعة أو قطر). ده بيعمل Doppler Spread عالي، فالتردد بيتغير بسرعة.

ف بيحصل تشويه في الإشارة. (Signal Distortion)

Coherence Time (الوقت اللي القناة فيه ثابتة) بيكون أقصر من زمن ال-Symbol.

TECHNIQUES TO MITIGATE FADING EFFECTS

Equalization:

- Equalization fixes **Inter-Symbol Interference (ISI)** caused by **multipath** in time-dispersive channels.
- The **equalizer** is a **filter** in the receiver that reverses the effect of the channel.
- If the channel has a response $H_c(f)$, then the equalizer uses $H_{eq}(f) = 1/H_c(f)$.
- It helps **restore the original signal** before decoding.
- Mainly used in **frequency-selective fading** channels.

هي طريقة تتعامل مع مشكلة التداخل بين الرموز (ISI) التي يحصل بسبب المسارات المتعددة (multipath).
الـ **Equalizer** هو فلتير داخل المستقبل (Receiver) يحاول يعكس تأثير القناة.
يعني لو القناة لديها استجابة $H_c(f)$ ، يبقى الفلتير لازم يكون $H_{eq}(f) = 1/H_c(f)$.
الهدف إنه يصلح التشويه اللي حصل للإشارة في القناة.
يستخدم خصوصاً في **frequency selective fading** لما القناة بتأثر على الترددات المختلفة بشكل غير متساوي

Channel Coding:

- Protects data from errors caused by **deep fading** or **signal loss**.
- Adds **extra (redundant) bits** to the message before transmission.
- These extra bits let the receiver **detect and fix errors** without needing retransmission this is called **Forward Error Correction (FEC)**.
- The **channel coder** converts a k -bit message into an n -bit coded word (example: **(n, k) block code**).
- After coding, the data is **modulated and sent** through the wireless channel

في أي نظام لاسلكي الإشارة ممكن تتأثر وهي ماشية في الهواء بسبب التشويش أو الفيدنج (fading)، وده بيخلي بعض الـ bits تنقلب (من 0 تبقى 1 أو العكس).

علشان كده بنستخدم **Channel Coding** يعني نضيف شوية bits زيادة "أذكاء" علشان نقدر نصلح الغلط بعيدين في المستقبل. يعني قبل ما نبعث الداتا، بنضيف **redundant bits** بتكون bits زيادة مش جزء من المعلومة الأصلية

لما الإشارة توصل للمستقبل، بيستخدم المعلومات الإضافية دي علشان يعرف فين الغلط ويصلحه.

يعني حتى لو حصل **fade** أو تشويش في جزء من الإشارة، الرسيفر يقدر يسترجع الداتا الصح من غير ما نعيد الإرسال. وده بنسميه **Forward Error Correction (FEC)**

يعني تصحيح الخطأ من غير ما نطلب إعادة إرسال البيانات.
وده مهم جداً في الاتصالات اللاسلكية لأن إعادة الإرسال بتأخذ وقت وبتستهلك الباتدويدث.

Diversity:

- Used to **compensate fast fading** effects.
- Implemented using **two or more antennas**.
- Based on the idea that **each channel fades differently**.
- **Multiple copies** of the same signal are transmitted or received.
- The receiver **combines** these copies to get a **stronger, more stable signal**.

الإشارة وهي ماشية من البرج للموبايل ممكن تضعف أو تتلخبط بسبب العوائق أو الانعكاسات. لكن مش كل المسارات بتتأثر بنفس الدرجة يعني ممكن إشارة توصل ضعيفة من طريق، لكن توصل قوية من طريق ثاني.

فال **Diversity** بيستغل النقطة دي: بدل ما نعتمد على إشارة واحدة ممكن تكون ضعفت، ناخذ كذا نسخة من نفس الإشارة من مسارات مختلفة أو بتقنيات مختلفة، وبعدين نجمعهم عند الاستقبال علشان نحصل على إشارة أوضح وأقوى

Types of diversity:

1. Frequency diversity
 2. Time diversity
 3. Code diversity
-

Frequency diversity:

- Sends the **same signal on two different, well-separated frequencies**.
- Helps **reduce multipath fading** because each frequency experiences **different fading patterns**.
- The **receiver selects or combines** the strongest version of the signal.
- The **frequency separation** between carriers should be **at least equal to the coherence bandwidth (Δf)** it represents the frequency separation of uncorrelated signals.

يعني بدل ما تبعث الإشارة على تردد واحد بس، بتبعثها على أكثر من تردد مختلف زي إنك تبعث نفس الرسالة على قناتين مختلفتين.

ليه بنعمل كده؟

لأن كل تردد في القناة بيتأثر بالموجات و الـ fading (الاهتزاز أو الضعف) بشكل مختلف. فلو تردد منهم حصله fading قوي، ممكن التردد الثاني يكون واضح وسليم.

اللي بيحصل في الريسيفر (المستقبل):

المستقبل بياخذ الإشارتين (من الترددتين) ويختار: إما الإشارة الأقوى، يا إما يجمع بينهم علشان يطلع إشارة أوضح. شرط مهم:

لازم يكون الفرق بين الترددتين على الأقل Δf Coherence Bandwidth =
يعني يكونوا بعيد عن بعض كفاية علشان كل تردد يكون مستقل في الـ fading وما يتأثروش بنفس الطريقة.

“Uncorrelated signals” = “إشارات مستقلة في التأثير اللي بيحصل عليها من القناة.

Time diversity:

- Time diversity is achieved by transmitting same bit of information repetitively at short time.
- A redundant forward error correction code is added and message is spread in time by means of bit-interleaving before it is transmitted.
- Thus, error bursts are avoided, which simplifies the error correction.
- Another constraint in time diversity is that the time difference between two transmissions should be large compared to the time it takes the mobile antenna to move half a wavelength.
- The interval between transmissions of same symbol should be at least the coherence time Δt .

"Time diversity is achieved by transmitting same bit of information repetitively at short time."

يعني إحنا بنبعث نفس المعلومة أكثر من مرة في أوقات مختلفة قريبة من بعض. كأنك بتقول الجملة مرتين علشان لو راحت أول مرة، الثانية توصل صح.

"A redundant forward error correction code is added and message is spread in time by means of bit-interleaving before it is transmitted."

يعني كمان بنضيف شوية أكواد زيادة (error correction) تساعد في تصحيح الأخطاء اللي ممكن تحصل، وبنعمل حاجة اسمها *interleaving*، اللي هي نبذل ترتيب البتات شوية قبل الإرسال علشان لو حصل خطأ متتالي (burst error)، مايقاش مائر على bits متتالية في الرسالة الأصلية.

يعني بنوزع الرسالة على الزمن شوية بحيث الأخطاء ما تبقاش مركزة في حنة واحدة.

"Thus, error bursts are avoided, which simplifies the error correction."

وبكده، الأخطاء اللي بتحصل ورا بعض (error bursts) بنمنعها أو نقلها، وده بيخلي عملية تصحيح الأخطاء أسهل.

"Another constraint in time diversity is that the time difference between two transmissions should be large compared to the time it takes the mobile antenna to move half a wavelength."

دي نقطة مهمة: علشان التنويع الزمني يبقى فعال، لازم الفاصل الزمني بين إرسال المعلومة الأولى والثانية يكون كفاية بحيث إن الظروف في القناة تتغير فعلاً (يعني التلاشي يتغير). وده بيحصل لما الموبايل يتحرك مسافة تساوي نص طول الموجة تقريباً.

يعني لو بعث نفس البت بسرعة جداً، القناة لسه هي هي، ومش هستفيد حاجة من إعادة الإرسال.

"The interval between transmissions of same symbol should be at least the coherence time Δt ."

يعني المسافة الزمنية بين إرسال نفس الرزمة مرتين لازم تكون على الأقل تساوي *coherence time*، وده الزمن اللي بتفضل فيه القناة ثابتة تقريباً قبل ما ظروفها تتغير.

Space Diversity:

- Space diversity is considered as a method of transmission or reception, or both, in which the effects of fading are minimized by the simultaneous use of two or more physically separated antennas.
- Space diversity is achieved by using multiple antennas at the base station or at the mobile station or at both ends.

بدل ما نعتمد على (antenna) واحد في الإرسال أو الاستقبال، بنستخدم أكثر من انتنا ، كل واحد في مكان مختلف شوية. ليه؟ علشان الإشارة اللي بتوصل لكل انتنا بتكون مختلفة شوية في القوة أو المرحلة بسبب إن الموجة بتتأثر بالعوائق والانعكاسات في الطريق.

فلو الإشارة عند أول انتنا حصلها fading (ضعفت أو راحت)، ممكن تكون لسه قوية عند الانتنا الثانيه وبكده نقدر نختار الإشارة الأحسن أو ندمجهم مع بعض علشان نحصل على استقبال أنصف وجودته أعلى.

الـ Space diversity ممكن نعملها عند: الـ Base Station المحطة الأساسية أو الـ Mobile Station الموبايل نفسه أو الاثنين مع بعض