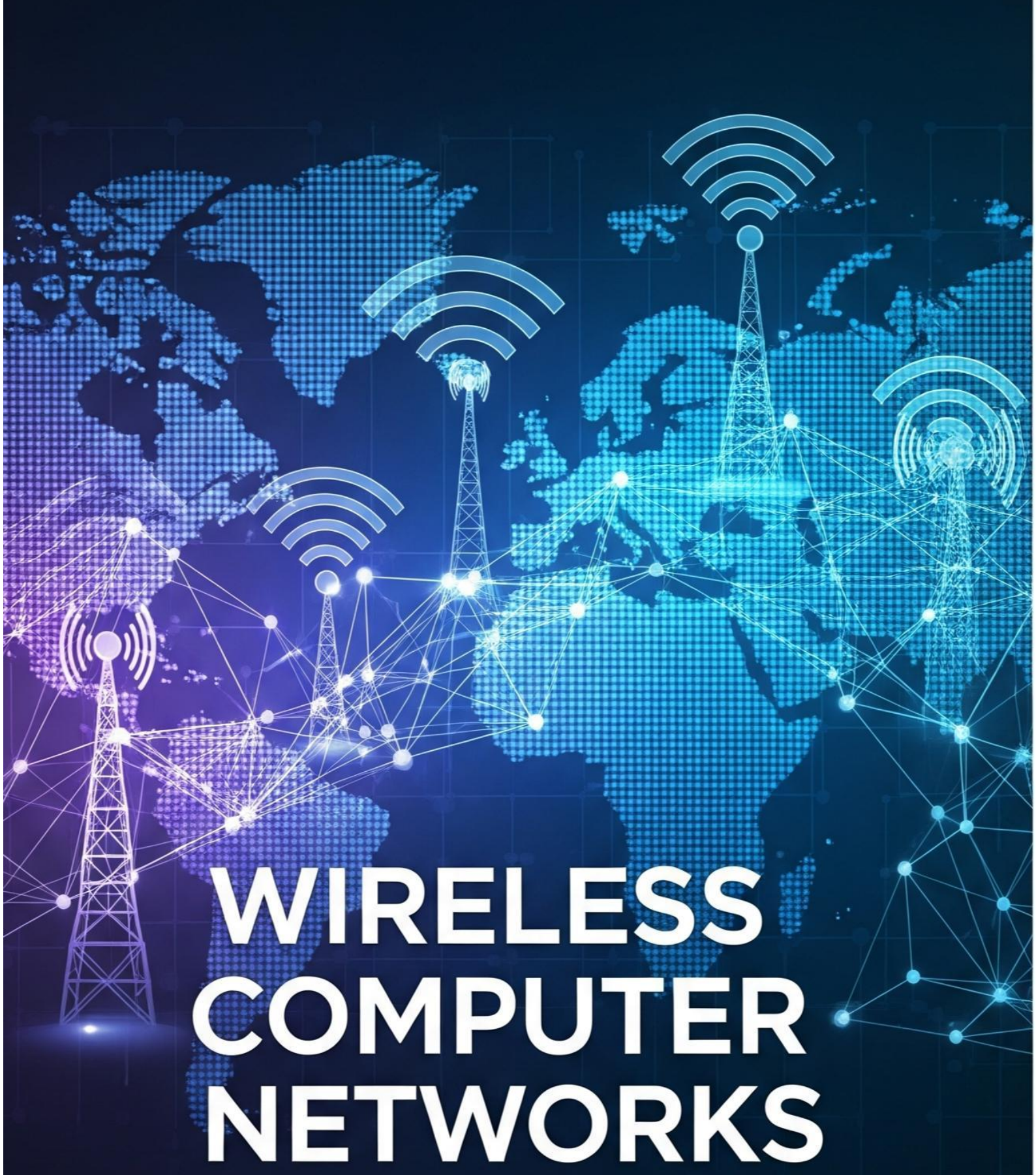


WIRELESS COMPUTER NETWORKS

Mohammed Ghabayen

All rights reserved, 2025

هذا الجزء مقتطف من كتاب

شبكات الحاسوب

بالعربية

تراسل البيانات وشبكات الحاسوب

للمهندس

محمد عماد غباين

© حقوق طباعة محفوظة لعام 2025 بواسطة غباين

النسخة الالكترونية، الإصدار الأول، عام 2025

"الدليل المتكامل في شبكات الحاسوب - من المبادئ إلى الإحتراف"

نظرة عامة:

يقدم هذا الكتاب دليلاً متكاملاً وشاملاً في مجال الشبكات اللاسلكية، حيث يجمع بين الأسس الأكاديمية المتينة والتطبيقات العملية الحديثة. يتميز الكتاب بتغطيته الشاملة لجميع جوانب الشبكات اللاسلكية بدءاً من المبادئ الأساسية ووصولاً إلى التقنيات المتقدمة..

المؤلف

محمد عماد غباين، بكالوريس نظم المعلومات والشبكات- كلية تكنولوجيا المعلومات - جامعة الأقصى – فلسطين (غزة).

مطور تطبيقات موبايل. مهندس أنظمة تشغيل وخوادم. مهندس حوسبة سحابية ومشغلها. فني شبكات ومصممها.

إهداء

إلى كلّ طالبِ علمٍ، وباحثٍ عن الفائدة، أقدّم هذا العملَ مُشرَعَ الأبوابِ لجميعِ القرّاء، راجيًا من اللهِ أن يجعله خالصًا لوجهِه الكريمِ، وينفعَ به الإسلامَ والمسلمين. كما أرجو منكم – أخي القارئ – ألّا تحرمني من صالحِ دعائِك لي ولوالديَّ بالمغفرةِ والرّحمةِ والبركةِ في العمرِ والعملِ.

مقدمة

في عالم يتجه نحو التحول الرقمي بخطى متسارعة، أصبحت الشبكات اللاسلكية العمود الفقري للاتصال الحديث. تمتد هذه الشبكات في كل مكان حولنا، من المنازل الذكية إلى المدن الرقمية، محولةً عالمنا إلى فضاء إلكتروني مترابط. يأتي هذا الكتاب ليسلط الضوء على هذا المجال الحيوي الذي يشهد تطوراً مستمراً.

يقدم هذا الدليل رحلة متكاملة في عالم الشبكات اللاسلكية، بدءاً من الأسس النظرية ووصولاً إلى التطبيقات العملية. تم تصميم المحتوى ليكون شاملاً وواضحاً، حيث يجمع بين المبادئ الأكاديمية الرصينة والمتطلبات العملية في سوق العمل، مما يجعله مرجعاً مناسباً للمبتدئين والمتخصصين على حد سواء.

سيتعرف القارئ خلال رحلته مع هذا الكتاب على المكونات الأساسية للشبكات اللاسلكية وآليات عملها، وأنواع الهوائيات والوسائط الناقلة، بالإضافة إلى المعايير الدولية والبروتوكولات التقنية. كما سيغطي الكتاب الجوانب الأمنية الحيوية وأحدث التقنيات في هذا المجال.

تم إعداد هذا العمل ليكون دليلاً عملياً يلبي احتياجات طلاب تكنولوجيا المعلومات، ومهندسي الشبكات، والمشرفين التقنيين، وجميع المهتمين بتطوير معرفتهم في هذا التخصص المهم. حيث يزودهم بالمعرفة والمهارات اللازمة لفهم وتصميم وإدارة الشبكات اللاسلكية بكفاءة.

نسعى من خلال هذا الكتاب إلى الإسهام في إثراء المحتوى التقني العربي، وتقديم مادة علمية متميزة تساعد في بناء كوادر متخصصة قادرة على مواكبة متطلبات العصر الرقمي. عسى أن يكون هذا العمل نافعاً ومفيداً للجميع.

g7abayen@gmail.com
Mohammed E.Ghabayen

الشبكات اللاسلكية

المخرجات

الشبكات اللاسلكية (Wireless Networking) 7
1.1 المكونات 7
1.2 آلية عمل الشبكات اللاسلكية 8
1.2.1 عملية الإرسال (Transmitting) 8
1.2.2 عملية الاستقبال (Receiving) 9
1.3 أنواع شبكات اللاسلكية 10
1.3.1 شبكات قصيرة المدى (Short-Range Wireless Networks) 11
13.3.2 شبكات متوسطة المدى (Medium-Range Wireless Networks) 11
1.3.3 شبكات واسعة المدى (Wide-Range Wireless Networks) 12
الوسائط اللاسلكية (Wireless Media) 15
2.1 الإشارات الكهرومغناطيسية 15
مركبات الموجة الكهرومغناطيسية 15
التردد ((Frequencies 16
مفهوم Bandwidth 16
مفهوم Signal Strength 16
مفهوم Coverage 16
مفهوم Signal Propagation 17
العوامل المؤثرة 17
2.2 طيف الكهرومغناطيسية ((Spectrum 19
2.2.1 الطيف الراديوي ((Radio Frequency 20
الهوائي اللاسلكي (Antina) 25
المعايير 25
الكسب ((Gain 25
نمط الإشعاع ((Radiation Pattern 25
الاستقطاب ((Polarization 25
اشكال الهوائيات 26
طريقة التشغيل 26
شبكات المحلية اللاسلكية -LAN Wireless 28
2.1 نماذج الشبكات المحلية اللاسلكية ((IEEE Standards 28
2.2 الفريم (Frame) 29
2.3 وسيط الاتصال اللاسلكي 30
2.4 تقنية Standard Wi-Fi 31
2.4.1 اوضاع تشغيل ((Oprtions Mode 31
2.4.2 طريقة الوصول (Access Method) 32
2.4.3 التنفيذ (Implementation) 32
2.4.4 تنسيق الفريم 33
2.4.2 انواع الفريم 38

2.5 وضع Infrastructure 41
2.5.1 مفهوم BSS 41
2.5.2 مفهوم ESS 42
2.6 عملية Scanning 45
أولاً Passive Scanning 45
ثانياً Active Scanning 45
2.6 عملية الانضمام ((Joining 45
2.7 جهاز Access Point 46
2.7.1 تحسينات ((IEEE802.11 Innvoation 46
2.7.2 الشركات المصنعة 47
2.8 آمن شبكات المحلية اللاسلكية ((IEEE 802.11 Security 47
2.8.1 حماية الوصول إلى الشبكة 47
2.8.2 حماية البيانات 48
2.8.3 بروتوكولات الامان 48
شبكات الهاتف المحمول (Mobile Networks) 50
المكونات الأساسية لشبكات الهاتف المحمول 50
أولا المحطة المتنقلة – Mobile Station 50
ثانياً أبراج الإتصال – Base Station Subsystem 52
ثالثاً مركز الشبكة – Network Switching Subsystem 54
رابعاً شبكة النقل ((Backhaul 56
آلية عمل الشبكة 57
تطور شبكات الهاتف المحمول 58
خصائص شبكات الهاتف المحمول 59

1 الشبكات اللاسلكية (Wireless Networking)

الشبكة اللاسلكية تشير إلى أي نوع من شبكات الاتصالات التي تعتمد على الاتصال اللاسلكي. حيث يتم إنشاء الروابط بين الأجهزة (Nodes) بدون استخدام الكابلات.

في الشبكات التقليدية التي تعتمد على الكابلات، يُعتبر الكابل الوسيط الناقل للبيانات، حيث تنتقل البيانات على شكل إشارات كهربائية (أو ضوئية) داخل الكابل، وهذه الإشارات تمثل المعلومات الرقمية المتبادلة بين الأجهزة. أما في الشبكات اللاسلكية، فيُستخدم الهواء كوسيط بديل لنقل البيانات بدلاً من الكابلات. يتم ذلك عبر إرسال البيانات على شكل موجات كهرومغناطيسية، وهي مزيج من المجالين الكهربائي والمغناطيسي، مستفيدة من الترددات في الطيف الكهرومغناطيسي لنقل المعلومات.

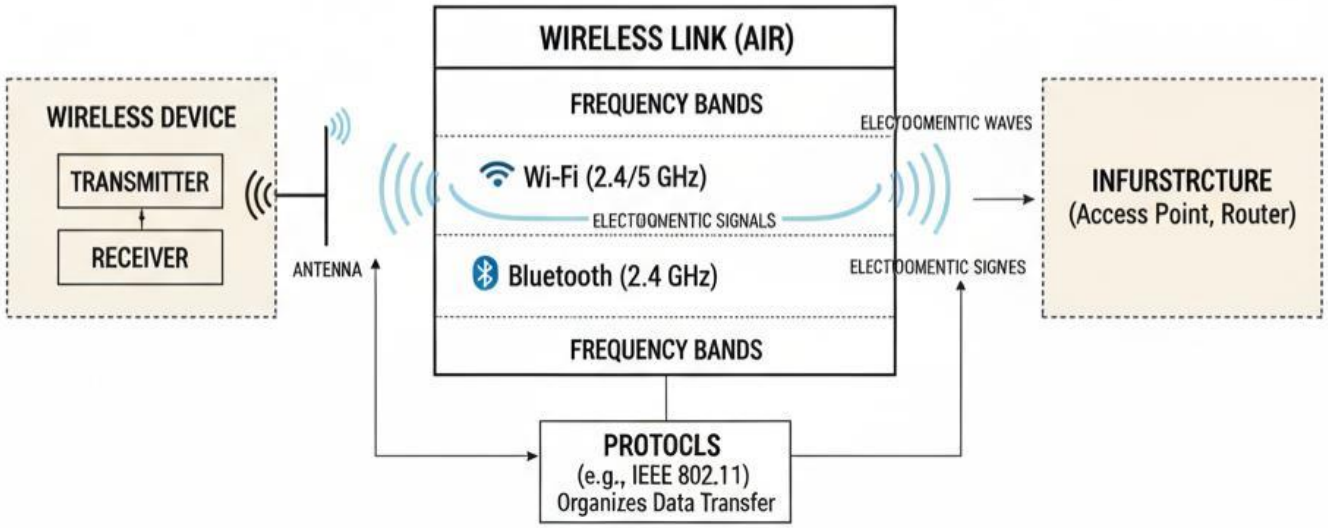
تمتاز الشبكات اللاسلكية بسهولة تركيبها و تقليل الاعتماد على الكابلات، إضافة إلى دعمها لحركة الأجهزة المتصل وتجولها داخل منطقة تغطية (بالتالي توفر Convenience و Productivity و Mobility). ومع ذلك، تواجه تحديات مثل التداخل بين الإشارات والقيود الناتجة عن المسافة والتردد المستخدم والطاقة المستهلكة ومشكلات الامان والخصوصية.

يتم تنفيذ الشبكات اللاسلكية باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية كحامل للبيانات، مما يُغني عن الحاجة إلى كابلات مادية. تُصنف هذه الموجات بناءً على نطاق التردد (Bandwidth) الذي تعمل به، وتشمل:

- موجات Radio Waves: تُستخدم في تطبيقات مثل شبكات Wi-Fi وشبكات Mobile Cellular.
- موجات Infrared: تُستخدم في بعض الشبكات المحلية قصيرة المدى (مثل أجهزة التحكم عن بعد).
- موجات Microwaves: تُستخدم في نقل البيانات لمسافات بعيدة، مثل ربط بين محطات الارضية والاقمار صناعية، وربط الخلايا في Mobile Cellular.

1.1 المكونات

يتألف أي نظام اتصالات لاسلكي من مجموعة من المكونات الأساسية التي تتعاون معًا لتمكين نقل البيانات دون الحاجة إلى اتصال مادي. تُظهر الصورة التوضيحية هذه المكونات وعلاقتها ببعضها البعض:



كنبذة سريعة لما يتم عرضها في الشكل اعلاه، هناك أجهزة مستخدمين قادرة على عمل اتصال بشبكة لاسلكياً (من خلال عتاد متخصص قادرة على الإرسال والاستقبال لاسلكياً). يتم بث الإشارات اللاسلكية عبر الوسيط اللاسلكي (الهواء) من خلال هوائي، يتم ذلك باستخدام أحد تقنيات الاتصال اللاسلكية القادرة على معالجة وتعامل مع الإشارات لاسلكية ضمن نطاق ترددي معين. بالإضافة ستضمن التقنية على بروتوكولات الاتصال التي تلعب دورًا أساسيًا في ضمان عمل النظام بكفاءة. تقوم هذه البروتوكولات، وأشهرها بروتوكول IEEE 802.11 الخاص بشبكات الواي فاي، بتنظيم عملية نقل البيانات وضمان سلامتها ووصولها بالشكل الصحيح. قد ترتبط أجهزة المستخدمين لاسلكياً مع بعضها (N2N)، او قد تعتمد على بنية تحتية لدعم استقرار الاتصال، والتي تشمل نقاط الوصول التي تربط الأجهزة بالشبكة، الراوترات اللاسلكية التي تنظم تدفق البيانات بين الأجهزة والشبكات الأوسع.

الأجهزة لاسلكية (Wireless Station)

تُعد الأجهزة اللاسلكية حجر الأساس في أي شبكة، حيث تمتلك هذه الأجهزة القدرة على إنشاء نقطة اتصال بالشبكة لاسلكيًا. وتشمل أمثلة هذه الأجهزة الحواسيب المحمولة والهواتف الذكية والطابعات الحديثة. تحتوي هذه الأجهزة ضمنيًا على جهازي إرسال واستقبال. يعمل جهاز الإرسال كوسيط بين جهاز المستخدم الذي يولد البيانات والهوائي الذي يحولها إلى إشارات كهرومغناطيسية لبثها. في المقابل، يقوم جهاز الاستقبال بالدور المعاكس، حيث يتوسط بين الهوائي الذي يلتقط الإشارات من الوسط وجهاز المستخدم الذي يستقبل البيانات المعالجة:

- جهاز إرسال (Transmitter): هو وسيط بين جهاز المستخدم الذي يولد بيانات والهوائي الذي يبث إشارات كهرومغناطيسية.
- جهاز استقبال (Receiver): هو وسيط بين جهاز المستخدم الذي يستقبل بيانات والهوائي الذي يلقط إشارات كهرومغناطيسية.

الهوائي (Antenna's)

يُعتبر الهوائي عنصرًا حيويًا في الأنظمة اللاسلكية، سواء كان قطعة إلكترونية مدمجة داخل الجهاز أو وحدة منفصلة متصلة به. يتمثل الدور الرئيسي للهوائي في أداء وظيفتين متكاملتين: بث الإشارات الكهرومغناطيسية التي تحمل البيانات إلى الفضاء المحيط، واستقبال الإشارات المشابهة المرسلة من أجهزة أخرى على الشبكة:

- بث الإشارات: حيث يتم إرسال البيانات في شكل إشارات كهرومغناطيسية.
- استقطاب الإشارات: حيث يلتقط الإشارات الكهرومغناطيسية المرسلة من أجهزة أخرى على الشبكة.

الوسيط الناقل (Wireless Link)

أما الوسيط الناقل في الشبكات اللاسلكية فهو في جوهره الهواء المحيط. ومع ذلك، يُنظم هذا الوسط غير المرئي من خلال تقسيمه نظريًا إلى نطاقات ترددية مختلفة. يشير كل نطاق إلى مدى محدد من الترددات اللاسلكية المخصصة لتقنية لاسلكية معينة، مثل Wi-Fi أو Bluetooth، وذلك بهدف تنظيم الطيف الترددي ومنع التداخل بين الإشارات المختلفة.

المكونات الاخرى

إلى جانب هذه المكونات المادية، هناك بعض المكونات الاخرى التي تلعب دوراً حيوياً في عملية الاتصال اللاسلكي.

البروتوكولات

يتم تنظيمها وفقاً لمعايير، من أشهر معايير الاتصال اللاسلكي هو IEEE 803.11، الخاص بشبكات اللاسلكية المحلية (الواي فاي). تقوم هذه البروتوكولات، بتنظيم عملية نقل البيانات وضمان سلامتها ووصولها بالشكل الصحيح.

البنية التحتية

قد ترتبط أجهزة المستخدمين لاسلكياً مع بعضها (N2N) مباشرة بدون وجود بنية تحتية – تسمى هذه الطريقة Ad-hoc. أو قد تعتمد على بنية تحتية لدعم استقرار الاتصال، والتي تشمل نقاط الوصول التي تربط الأجهزة بالشبكة، الراوترات اللاسلكية التي تنظم تدفق البيانات بين الأجهزة والشبكات الأوسع، في بعض شبكات قد تحتاج لبنية تحتية ضخمة تتكون من أبراج إرسال، ومراكز تحكم وتبديل؛ هذا وفقاً لحجم الشبكة.

1.2 آلية عمل الشبكات اللاسلكية

تعتمد آلية عمل الشبكات اللاسلكية على إرسال واستقبال البيانات عبر موجات كهرومغناطيسية دون الحاجة إلى كابلات. عملية الاتصال اللاسلكي تتضمن مرحلتين رئيسيتين، هما:

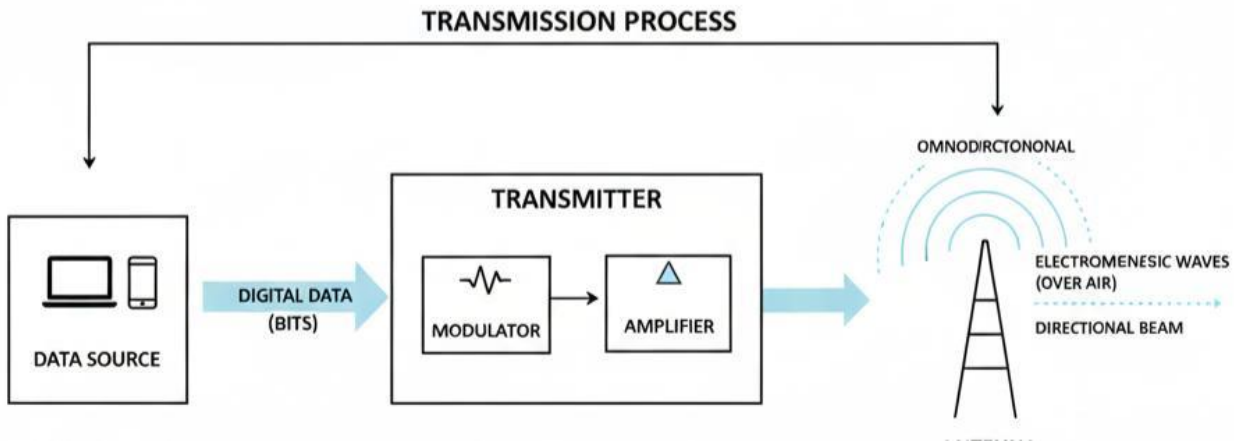
1.2.1 عملية الإرسال (Transmitting)

تعتبر عملية الإرسال الخطوة الأساسية التي تمكن معلوماتنا من الانتقال عبر الهواء دون الحاجة إلى أسلاك. يمكن فهم هذه العملية المعقدة على أنها رحلة تبدأ بالبيانات الرقمية في جهازنا وتنتهي ببثها كموجات غير مرئية في الفضاء. تمر هذه الرحلة بعدة مراحل حاسمة، كل منها تكمِل الأخرى لضمان وصول المعلومة بدقة.

تبدأ العملية عندما يستقبل جهاز الإرسال (Transmitter) البيانات من مصدرها، مثل حاسوب أو هاتف ذكي. هذه البيانات تكون في شكلها الخام كسلسلة من البتات (Bits)، وهي أصفار وواحدات لا معنى لها بذاتها في العالم اللاسلكي. هنا تأتي المهمة الرئيسية لجهاز الإرسال، وهي تحويل هذه البيانات الرقمية المجردة إلى إشارة تماثلية (تناظرية) يمكن بثها. تُعرف هذه العملية الحيوية باسم "التضمين" (Modulation). خلال التضمين، تأخذ الإشارة الرقمية "رحلة مجانية" على ظهر موجة راديوية ذات تردد عالٍ، حيث يتم تعديل إحدى خصائص هذه الموجة الحاملة (كطورها أو ترددها أو مطالها) لتعكس تسلسل الأصفار والواحدات. بدون هذه الخطوة، ستكون البيانات غير قابلة للإرسال بفعالية عبر المسافات الطويلة.

بعد تحويل البيانات إلى إشارة راديوية مشممة، يتم تضخيمها لزيادة قوتها لضمان وصولها إلى الوجهة المطلوبة. تنتقل الإشارة المُضخمة بعد ذلك إلى الهوائي، والذي يعمل بمثابة البوابة أو المحول النهائي. داخل الهوائي، تتحول الطاقة الكهربائية المتذبذبة التي تشكل الإشارة إلى موجات كهرومغناطيسية. هذه الموجات هي نفسها التي تشكل أساسًا لكل من الضوء المرئي والأشعة السينية، لكنها في نطاق ترددي لا تستطيع أعيننا رؤيته. يقوم الهوائي بإطلاق هذه الموجات في البيئة المحيطة، حيث تبدأ رحلتها عبر الوسط اللاسلكي، سواء كان هواءً مفتوحًا أو داخل مبنى.

لا يقتصر دور الهوائي على مجرد بث الموجات بشكل عشوائي. إن تصميمه الهندسي هو الذي يحدد نمط الإشعاع أو اتجاه انتشار الإشارة. بعض الهوائيات، مثل تلك المستخدمة في أبراج البث الإذاعي، تكون "غير اتجاهية" (Omnidirectional)، مما يعني أنها تبث الإشارة في جميع الاتجاهات بشكل متساوٍ، مثل كيف تضيء المصباح في غرفة مظلمة. في المقابل، الهوائيات "الاتجاهية" (Directional)، كتلك المستخدمة في الاتصال مع الأقمار الصناعية، تركز الإشارة في حزمة ضيقة جدًا تشبه ضوء كشاف قوي، مما يزيد من قوة الإشارة ومداها في اتجاه معين على حساب الاتجاهات الأخرى. وهكذا، تنتهي رحلة الإرسال بمغادرة البيانات لعالم الأثير، جاهزة لاستقبالها من قبل هوائي آخر يبدأ عملية معاكسة تمامًا تسمى "الاستقبال".



1.2.2 عملية الاستقبال (Receiving)

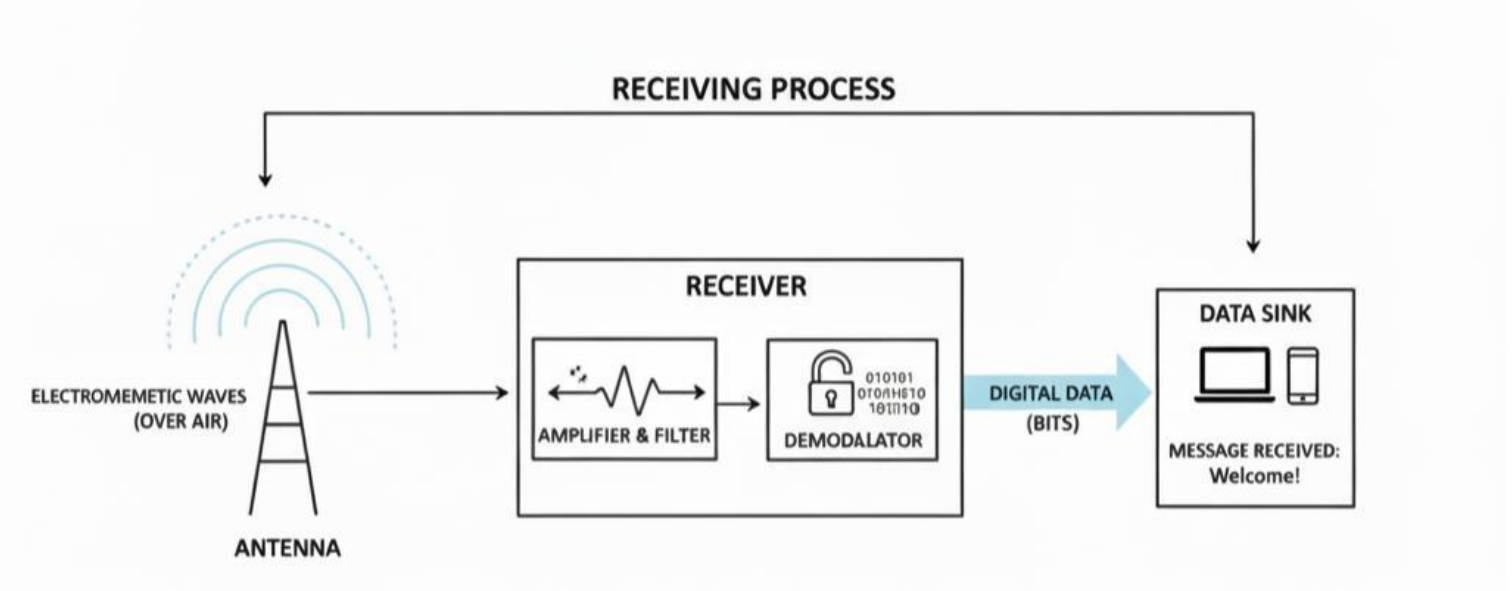
إذا كانت عملية الإرسال هي عبارة عن كتابة رسالة وإلقائها في الهواء، فإن عملية الاستقبال هي فن التقاط هذه الرسالة وقراءتها وفهمها. تعمل هذه العملية كنظيرة تكميلية لعملية الإرسال، حيث تهدف إلى استرداد المعلومات الرقمية الأصلية من الموجات الكهرومغناطيسية التي انتشرت في الفضاء. تمر الإشارة الواهنة المستقبَلة بمراحل عكسية لتلك التي مرت بها أثناء الإرسال، لتنتهي بتحويلها مرة أخرى إلى لغة يفهمها الحاسوب أو الجهاز المستخدم.

تبدأ الرحلة من الطرف الآخر عندما يصطدم الحقل الكهرومغناطيسي القادم من جهاز الإرسال بـ الهوائي الخاص بجهاز الاستقبال. يعمل الهوائي هنا كمحول طاقة عكسي؛ حيث يقوم بالتقاط جزء من الطاقة الكهرومغناطيسية المارة عبره وتحويلها مرة أخرى إلى تيار كهربائي متذبذب وضعيف جدًا. كلما كان تصميم الهوائي متطابقًا مع التردد القادم وموجهاً في اتجاه مصدر الإشارة، كان التقاطه لها أكثر كفاءة. يمكن تشبيه الهوائي بآذان النظام، الذي ينصت إلى همسات الإشارات في وسط ضجيج العالم.

الإشارة الكهربائية التي يولدها الهوائي تكون ضعيفة للغاية ومشوشة بسبب رحلتها الطويلة وفقدانها للطاقة، كما أنها تختلط مع عدد هائل من الإشارات الراديوية الأخرى الموجودة في الفضاء. هنا يأتي دور المرحلة التالية، وهي التضخيم والترشيح. أولاً، يتم تضخيم الإشارة الضعيفة لتعزيز قوتها إلى مستوى يمكن التعامل معه. ثانيًا، وهي الخطوة الأهم، يتم ترشيح (Filtering) الإشارة. يعمل المرشح كحارس أمن انتقائي، حيث يسمح فقط لتردد الإشارة المطلوبة (مثل إشارة شبكة الواي فاي أو محطة راديو محددة) بالمرور، ويرفض جميع الترددات الأخرى غير المرغوب فيها والتي تمثل ضوضاء أو تداخلاً من مصادر أخرى. هذا يضمن وصول إشارة "نظيفة" نسبيًا إلى المرحلة الحاسمة التالية.

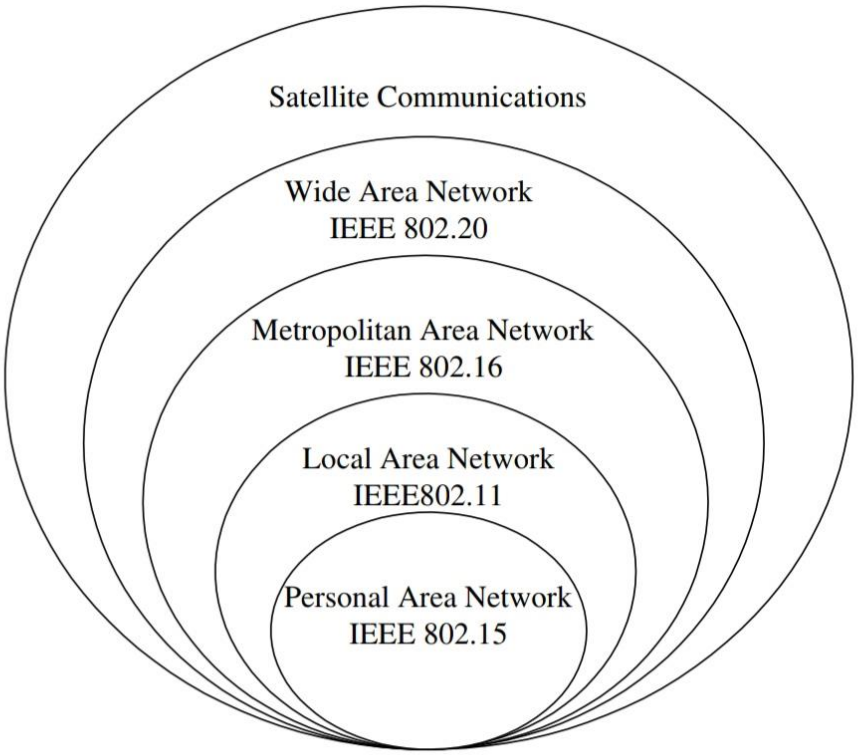
بعد تنقية الإشارة، تأتي اللحظة الحاسمة: استخراج البيانات الرقمية الأصلية منها. هذه العملية تسمى "إزالة التضمين" (Demodulation)، وهي عكس عملية التضمين التي حدثت في جهاز الإرسال. يقوم جهاز الاستقبال بتحليل الإشارة الراديوية الحاملة التي تم تعديلها سابقًا، ويراقب التغيرات في خصائصها (كالمطال أو التردد أو الطور). من خلال فك شفرة هذه التغيرات، يستطيع جهاز إزالة التضمين إعادة بناء تسلسل الأصفار والواحدات الأصلي الذي أرسله الجهاز المصدر.

بعد أن تتم إزالة التضمين، تصبح البيانات مرة أخرى في شكلها الرقمي الخام، وهي سلسلة من البتات. يتم بعد ذلك نقل هذه البيانات إلى المعالج أو الحاسوب المتصل بجهاز الاستقبال. يقوم المعالج بتفسير هذه البتات وفقًا لبروتوكولات الاتصال المتفق عليها (مثل بروتوكول TCP/IP للإنترنت)، محولاً إياها إلى معلومات ذات معنى يمكن للمستخدم فهمها، سواء كانت صفحة ويب، أو مقطع فيديو، أو رسالة نصية. وهكذا، تكتمل دورة الاتصال، من بتات في جهاز إرسال، إلى موجات في الفضاء، ثم تعود لتصبح بتات مرة أخرى في جهاز استقبال، حاملةً معها المعرفة والمعلومة.



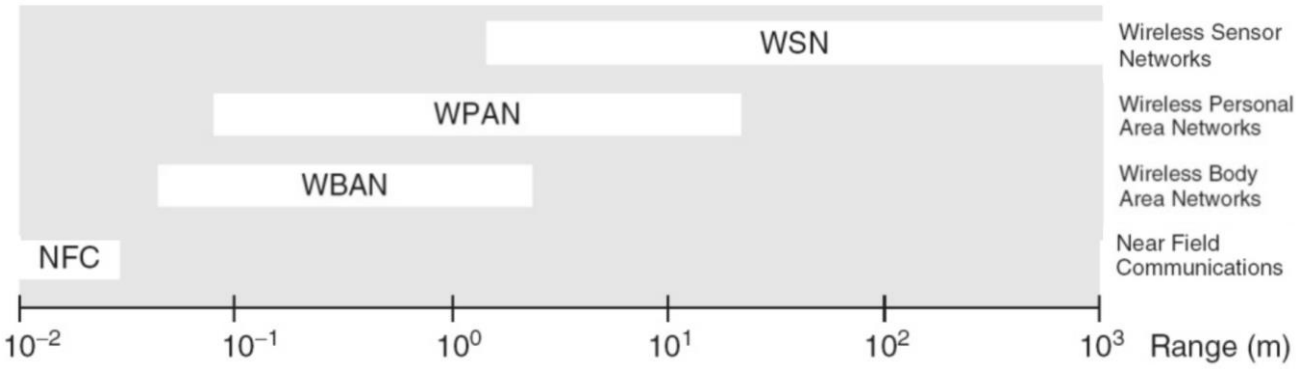
1.3 أنواع شبكات اللاسلكية

تنقسم الشبكات اللاسلكية إلى عدة أنواع بناءً على نطاق التغطية (المسافة التي تغطيها) – يوضح شكل أدناه تقنيات/تطبيقات الشبكات اللاسلكية مع معايير IEEE المقابلة، بدءً من تقنيات ذات تغطية قصيرة المدى إلى واسعة المدى:



1.3.1 شبكات قصيرة المدى (Short-Range Wireless Networks)

الشبكات قصيرة المدى (Short-Range Wireless Networks) هي شبكات لاسلكية تغطي مسافات صغيرة تصل عادة إلى بضعة أمتار، وتُستخدم لربط الأجهزة الشخصية ببعضها البعض أو لنقل البيانات بينها. فيما يلي تطبيقات عليها:



شبكة Wireless Body Area Network

شبكة WBAN هي شبكة تُركز على مراقبة البيانات الحيوية لجسم الإنسان باستخدام أجهزة استشعار طبية، مثل قياس نبضات القلب أو مستوى السكر في الدم. تُعد هذه الشبكة مهمة جدًا في توفير رعاية صحية عن بُعد، مما يقلل من الحاجة لزيارة المستشفيات ويساعد في الكشف المبكر عن الأمراض. تُستخدم أيضًا في الأجهزة القابلة للارتداء مثل الساعات الذكية، وأجهزة تنظيم ضربات القلب. ومع ذلك، تعاني من محدودية نطاق التغطية واحتمالية تعرض البيانات للاختراق. يمكن بناءً هذا النوع من شبكات بالاعتماد على العديد من تقنيات مثل Bluetooth و IrDA.

شبكة Wireless Personal Area Network

شبكة WPAN هي شبكة لاسلكية تُغطي مسافات قصيرة جدًا، تُستخدم لربط الأجهزة الشخصية مثل الهواتف المحمولة والطابعات والسماعات اللاسلكية. تُسهم هذه الشبكة في تسهيل الاتصال بين الأجهزة، خاصة في المنازل الذكية التي تعتمد على ربط الأجهزة ببعضها. تكمن أهميتها في توفير الراحة وسرعة الاتصال، لكنها محدودة المسافة وتعتمد على البطاريات بشكل كبير. يمكن استخدام شبكات PANs للاتصال بين الأجهزة الشخصية نفسها (تسمى Personal -intra Communication)، أو للاتصال بشبكة عالية المستوى والإنترنت (تسمى UPLINK). يمكن بناءً هذا النوع من شبكات بالاعتماد على العديد من تقنيات مثل Bluetooth و UWB و Z-Wave و ZigBee و IrDA.

شبكة Near Field Network

شبكة NFC هي شبكة لاسلكية تُغطي مسافات قصيرة جدًا (أقل من 10 سم). تُستخدم في الدفع الإلكتروني، ونقل الملفات بين الهواتف، وتوصيل الأجهزة مثل السماعات والطابعات. كما تُستخدم في بطاقات الدخول الذكية والتذاكر الرقمية، مما يجعلها تقنية آمنة وسريعة للاتصال القريب.

13.3.2 شبكات متوسطة المدى (Medium-Range Wireless Networks)

شبكات تغطي مساحات متوسطة، مثل المنازل أو المكاتب، أو ربط بين المناطق الحضرية أو الريفية. تُستخدم لربط الأجهزة بالإنترنت أو ببعضها البعض داخل هذه المساحة. فيما يلي تطبيقات عليها:

شبكة Wireless Local Area Network

شبكة WLAN هي شبكة لاسلكية تُستخدم لربط الأجهزة داخل منطقة جغرافية محدودة مثل المنازل أو المكاتب. يمكن بناءً هذا النوع من شبكات بالاعتماد على العديد من تقنيات مثل Wi-Fi و Li-Fi.

شبكة Wireless Metropolitan Area Network

شبكة WMAN هي شبكة لاسلكية تُستخدم لتغطية مناطق أكبر من الشبكات المحلية (WLAN)، مثل مدينة أو منطقة حضرية كاملة. توفر اتصالًا واسع النطاق على مستوى المدينة أو المنطقة، ويمكن أن تكون بديلاً لشبكات الكابلات التقليدية. بالاعتماد على العديد من تقنيات مثل Wi-MAX.

1.3.3 شبكات واسعة المدى (Wide-Range Wireless Networks)

الشبكات واسعة المدى هي شبكات لاسلكية تغطي مساحات جغرافية واسعة مثل المدن أو الدول أو حتى القارات. وتُستخدم هذه الشبكات لتوفير الاتصال عبر مسافات طويلة، مما يسهم في تسهيل عمليات التواصل بين المناطق الجغرافية البعيدة. تشمل هذه الشبكات أنواعًا متعددة مثل شبكات الخلوية وشبكات الأقمار الصناعية.

شبكات Based-Microwave Networks

شبكات المبنية على موجات الميكروويف هي نوع من نظم الاتصالات اللاسلكية التي تستخدم موجات كهرومغناطيسية عالية التردد – تسمى موجات الميكروويف – لإنشاء روابط اتصال ثابتة، عالية السرعة، ونقطة إلى نقطة (Point-to-Point). تخيلها كـ جسر لاسلكي غير مرئي يُنشأ بين موقعين محددين (مثل سطحَي مبنين أو قمتي جبلين). هذا الجسر قادر على نقل كميات هائلة من البيانات – صوتية، أو فيديو، أو إنترنت – كما لو كان كابل ألياف ضوئية، لكن دون الحاجة إلى مد الأسلاك فعلياً.

يعتمد نجاح هذه الشبكات على ثلاثة مبادئ أساسية:

1. خط النظر (Line of Sight – LOS): هذا هو الشرط الأهم. يجب أن يكون هوائي الإرسال في موقع "مرئي" تماماً لهوائي الاستقبال في الموقع الآخر دون أي عوائق مادية (مباني، جبال، أشجار كثيفة). أي عائق حتى ولو كان بسيطاً يمكن أن يعطل الإشارة أو يضعفها بشدة.

2. الترددات العالية: تعمل هذه الشبكات على نطاقات ترددية مرتفعة (مثل 6, 11, 18, 23, 60, 80 جيجاهرتز). يشبه هذا الأمر وجود "طريق سريع" واسع جداً للإشارات. كلما كان التردد أعلى، زادت "مساحة الطريق" وبالتالي زادت سعة البيانات التي يمكن نقلها (أي زادت السرعة).

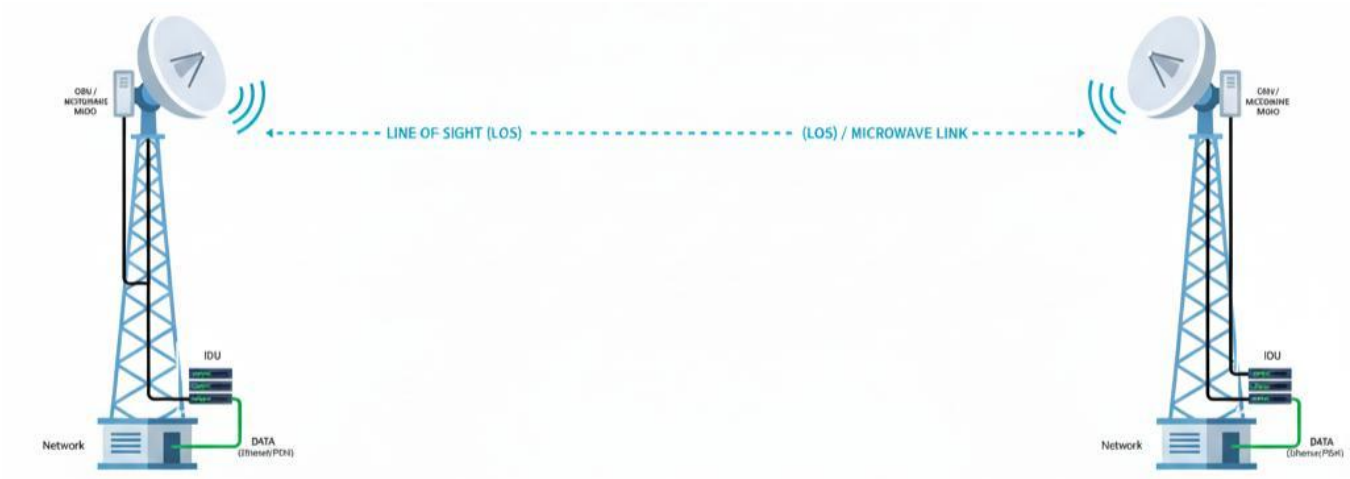
3. الهوائيات المركزة: تستخدم هوائيات ذات تركيز عالٍ (كالهوائيات الصحنية أو اللوحية) لتوجيه الإشارة في حزمة ضيقة ومباشرة نحو الهدف. هذا يشبه استخدام منظار بدلاً من مصباح عادي؛ فهو يرسل كل الطاقة في اتجاه واحد محدد لضمان وصولها بقوة إلى النقطة المطلوبة.

سيناريو

سنقوم بتوضيح من خلال سيناريو، لنفترض شركة اتصالات تريد توصيل برج خلوي جديد في ضاحية المدينة بشبكتها الأساسية. مد كابل ألياف ضوئية إلى ذلك البرج سيكلف مبالغ طائلة وسيستغرق شهوراً بسبب الحاجة إلى الحفر تحت الطرق والأراضي الخاصة. الحل بالميكروويف:

1. تثبت الشركة جهاز إرسال واستقبال ميكروويف (مثل Ubiquiti AirFiber) على البرج الجديد.
2. تثبت جهازاً مماثلاً على أقرب برج خلوي تابع لها ومتصل بالفعل بشبكة الألياف الضوئية.
3. يتم توجيه الهوائيات بدقة بحيث "يرى" كل منهما الآخر بوضوح.

السيناريو الثاني، لنفترض شركة لها مقرين رئيسيين في وسط المدينة، يفصل بينهما نهر ومجمع تجاري كبير. تحتاج الشركة لربط شبكتي الحاسوب في المقرين ببعضهما بسرعة عالية جداً وآمنة لمشاركة الملفات الضخمة وقواعد البيانات والتعاون اليومي. حفر نفق تحت النهر أو مد كابلات عبر المباني المجاورة أمر غير عملي ومكلف للغاية.



شبكات Mobile Cellular Networks

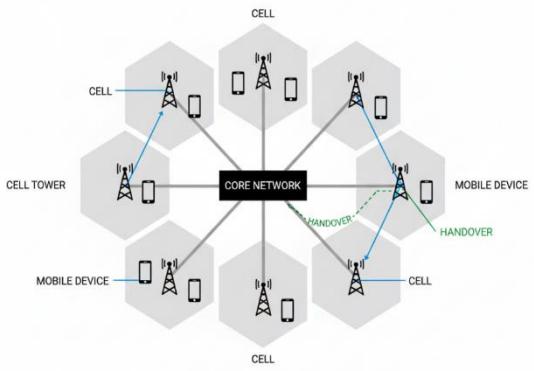
شبكات الهاتف المحمول هي أنظمة اتصالات لاسلكية معقدة مصممة لتوفير خدمة اتصال متحرك وشامل على مساحات جغرافية واسعة. على عكس شبكات الميكروويف التي تربط نقطتين ثابتتين، فإن شبكات المحمول مصممة للتعامل مع آلاف – بل ملايين – من المستخدمين الذين يتنقلون داخل وخارج نطاق التغطية. الفكرة الأساسية هي تقسيم الأرض إلى آلاف المناطق الصغيرة المسماة "خلايا" (Cells)، كل خلية يتوسط فيها برج الاتصالات (Base station)، مما يسمح بإعادة استخدام الترددات وتوفير خدمة سلسة ومستمرة.

يعتمد نجاح هذه الشبكات على ثلاثة مبادئ أساسية:

1. هيكل الخلية (The Cellular Concept): هذه هي الفكرة الثورية. بدلاً من وجود هوائي واحد قوي يغطي مدينة كاملة (مما يستهلك كل الترددات ولا يسمح إلا لعدد قليل من المستخدمين بالاتصال)، يتم تقسيم المدينة إلى العديد من "الخلايا" السداسية. كل خلية لها محطة قاعدة (برج) خاص بها. هذا يسمح بإعادة استخدام نفس الترددات في خلايا غير متجاورة، مما يزيد بشكل هائل من عدد المستخدمين الذين يمكن للشبكة خدمتهم في وقت واحد.

2. التسليم (Handover/Handoff): عندما تتحرك وأنت تتحدث على هاتفك أو تستخدم البيانات، تنتقل من خلية إلى أخرى. تقوم الشبكة تلقائياً بنقل اتصالك من محطة القاعدة في الخلية الأولى إلى محطة القاعدة في الخلية التالية بسلاسة دون أن تنقطع المكالمة أو تتوقف الخدمة. هذه هي السحر الحقيقي الذي يمكنك من القيادة لمسافات طويلة والبقاء متصلاً.

3. البنية التحتية المتكاملة: تتكون الشبكة من:
   - الخلايا (Cell Towers): كل خلية يتوسطها برج إتصال مسؤول عن الاتصال المباشر مع هواتف المستخدمين وتوفير الخدمة لهم.
   - شبكة النقل (Backhaul): غالباً روابط ميكروويف أو ألياف ضوئية، تستخدم لربط الأبراج ببعضها وببقية الشبكة.
   - نواة الشبكة (Core Network): وهي "الدماغ" الذي يدير المكالمات، والبيانات، والفوترة، والاتصال بالإنترنت العالمي.



شبكات Satellite Networks

شبكات الأقمار الصناعية هي أنظمة اتصالات تعتمد على أقمار صناعية في الفضاء كنقاط إعادة إرسال للإشارات بين مواقع مختلفة على الأرض. تعمل كمحطات تقوية في الفضاء، تمكن من الاتصال عبر المسافات الشاسعة.

المكونات الرئيسية

- القمر الصناعي: يقع في الفضاء ويحتوي على أجهزة استقبال وإرسال.
- المحطة الأرضية: مركز التحكم الرئيسي والربط مع الشبكات الأرضية.
- مستقبلات المستخدمين: الأطباق والهوائيات لدى المستخدمين النهائيين.

أنواع المدارات

- المدار الجغرافي الثابت (GEO): على ارتفاع 36,000 كم – تغطية واسعة ولكن تأخير عالي
- المدار المتوسط (MEO): على ارتفاع 5,000-20,000 كم – توازن بين التغطية والسرعة
- المدار المنخفض (LEO): على ارتفاع 500-2,000 كم – تأخير منخفض ولكن تغطية محدودة.

التطبيقات الأساسية – Broadband Global Area Network

يمثل نظام الاتصال BGAN التجسيد العملي والأكثر تقدمًا لشبكات الأقمار الصناعية بالنسبة للمستخدم المتنقل. إذا كانت الأقمار الصناعية التقليدية تتطلب محطات أرضية ضخمة وهوائيات كبيرة، فإن BGAN يأتي بحل "محمول". يعمل BGAN عبر أقمار الصناعية الجغرافية الثابتة، والتي تظل ثابتة في موقعها بالنسبة للأرض، مما يوفر إتصالات مستديمة لمناطق شاسعة.

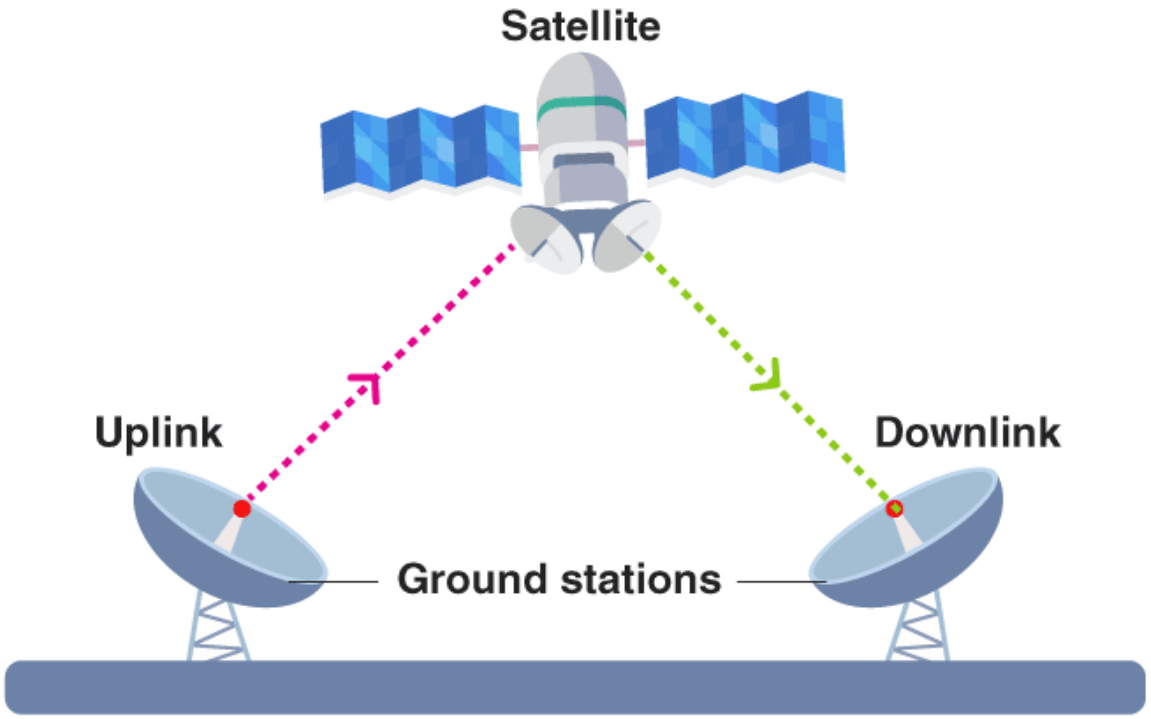
الميزة الثورية لـ BGAN هي في تجسيده المادي: فهو ليس سوى محطة صغيرة بحجم جهاز اللاب توب أو أصغر، مع لوحة هوائي مسطحة. هذا الجهاز المحمول هو في الحقيقة محطة أرضية شخصية تحتوي داخليًا على جميع مكونات النظام اللاسلكي التي تعلمناها:

- جهاز إرسال واستقبال (Transceiver): لتحويل البيانات الرقمية من حاسوبك أو هاتفك إلى إشارات ترسل إلى القمر الصناعي والعكس.
- هوائي عالي التوجيه: مضمن في التصميم للاتصال الدقيق بقمر صناعي يبعد عنا بنحو 35,000 كيلومتر.

تتم عملية الاتصال عبر BGAN بسلاسة مذهلة:

1. التوصيل والاتجاه: تقوم بتشغيل جهاز BGAN وفتحه. يقوم الهوائي الداخلي تلقائيًا بالبحث وتوجيه نفسه نحو القمر الصناعي المناسب في السماء، مُستعيضًا عن الحاجة للتوجيه اليدوي المعقد.
2. الإرسال إلى الفضاء: تقوم بتوصيل حاسوبك أو هاتفك بجهاز BGAN (عبر Wi-Fi أو USB). البيانات من جهازك (بريد إلكتروني، مكالمة صوتية، فيديو) تُرسَل إلى الجهاز، الذي يقوم بتضمينها وإرسها كإشارة لاسلكية مكثفة في رحلة صاعدة مباشرة إلى القمر الصناعي.
3. إعادة الإرسال إلى الأرض: يستقبل القمر الصناعي الإشارة الضعيفة ويقوم بتضخيمها وإعادة بثها مرة أخرى إلى الأرض، ولكن هذه المرة إلى محطة أرضية مركزية (محطة بوابة) تكون متصلة بشبكة الإنترنت العالمية.
4. إكمال الدائرة: تنتقل البيانات من محطة البوابة عبر الشبكات الأرضية إلى وجهتها النهائية (خادم موقع ويب، شخص تتصل به). ثم تعود الإجابة بنفس الطريقة: من الإنترنت إلى محطة البوابة، فالقمر الصناعي، ثم إلى جهاز BMAN الصغير في حقيبتك، وأخيرًا إلى شاشة حاسوبك.

.



2 الوسائط اللاسلكية (Wireless Media)

يُعرف أيضًا بـــ بوسائط النقل غير الملموسة (Unguided Media)، هو نوع من وسائل الاتصال التي تستخدم الهواء أو الفضاء كوسيلة لنقل الإشارات بين جهازي اتصال دون الحاجة إلى مسار مادي. تُرسل الإشارات عبر الفراغ أو الهواء، مما يجعلها متاحة لأي جهاز قادر على استقبال هذه الإشارات ضمن نطاق ترددده.

2.1 الإشارات الكهرومغناطيسية

لتستطيع نقل البيانات عبر الهواء دون أسلاك، نحتاج إلى حامل لهذه البيانات. هذا الحامل هو الموجة الكهرومغناطيسية؛ هي طاقة تنتشر في الفضاء على شكل موجات، نتيجة لحركة (اهتزاز) الإلكترونات (إشارات كهربائية). توقع وجودها الفيزيائي جيمس كليرك ماكسويل عام 1865، وتم إثباتها عملياً بواسطة هاينريش هيرتز عام 1887.

الموجات الكهرومغناطيسية تتميز بعدة خصائص رئيسية، وهي:

- **التردد (Frequency)**: هو عدد الدورات التي تقوم بها الموجة في الثانية، ويُقاس بوحدة الهرتز (Hz).
- **الطول الموجي (Wavelength)**: هو المسافة بين قمتين متتاليتين للموجة الكهرومغناطيسية.

يعمل الهوائي كمترجم بارع بين عالمين (السلكية واللاسلكية): فهو يأخذ الإشارات الكهربائية القادمة من جهازك (مثل البيانات من الراوتر) ويحولها إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الهواء مثل التموجات على سطح الماء. وعندما تصل هذه الموجات إلى هوائي مستقبل (مثل هوائي هاتفك المحمول)، يقوم بعكس العملية بدقة، فيترجم الموجات مرة أخرى إلى إشارات كهربائية يفهمها جهازك. هذه العملية الذكية في التحويل ثنائية الاتجاه هي الأساس الذي تقوم عليه كل الاتصالات اللاسلكية من Wi-Fi إلى Bluetooth و Cellular.

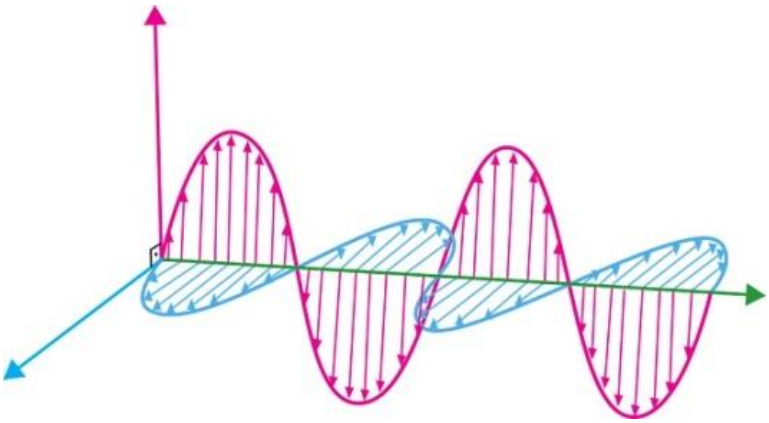
في الفراغ، تنتقل جميع الموجات الكهرومغناطيسية بنفس السرعة، بغض النظر عن ترددها. هذه السرعة، التي تسمى عادةً سرعة الضوء. بينما في الوسائط المادية، تتباطأ السرعة إلى حوالي 3/2 من هذه القيمة. سرعة الضوء هي الحد الأقصى للسرعة. لا يمكن لأي كائن أو إشارة أن تتحرك أسرع منه. فيما يلي العلاقة الرياضية التي تعبر عن خصائص الموجة:

$$\lambda f = c$$

كما تلاحظ، الطول الموجي مرتبط بالتردد بعلاقة عكسية. حيث كلما زاد التردد، قل الطول الموجي. والعكس، زاد الطول الموجي، قل التردد.

مركبات الموجة الكهرومغناطيسية

تكون الموجة الكهرومغناطيسية من مركبين متعامدين أحدهما كهربائية والاخرى مغناطيسية، ويكون اتجاه اهتزاز كل مركبة منها متعامدا على اتجاه انتشار الموجة. كما يظهر في الشكل التالي:



في الإتصالات الاسلكية التقليدية، التي ثبت الإشارات الكهرومغناطيسية في الهواء، يتم بناء الأجهزة اعتمادا على سلوك المركبة الكهربائية لارسال البيانات. اما في الاتصالات الأخرى، مثلاً التي تستخدم تحت الماء، يتم بناء الأجهزة اعتمادا على سلوك المركبة المغناطيسية لارسال البيانات.

الترددات (Frequencies)

الترددات اللاسلكي هو عدد المرات التي تهتز فيها الموجة اللاسلكية في كل ثانية اثناء انتقالها في الفراغ. فكر فيه مثل دقات القلب للموجة! ويتم قياسها بوحدة الهرتز (Hz).

كلما زاد التردد، أصبحت الموجة أسرع في الاهتزاز، مما يسمح بنقل بيانات أكثر - مثل طريق سريع يسمح بمرور سيارات أكثر في الساعة. لكن هذه الموجات عالية التردد تضعف بسرعة ولا تستطيع اختراق الجدران جيدًا. أما الترددات المنخفضة، فتهتز ببطء أكثر وتحمل بيانات أقل، لكنها تستطيع السفر لمسافات أبعد واختراق العوائق بسهولة أكبر. لهذا نستخدم ترددات مختلفة لأغراض مختلفة:

- **الترددات العالية** لشبكات الواي فاي السريعة في المساحات الصغيرة
- **الترددات المنخفضة** للاتصالات البعيدة وشبكات الهاتف المحمول

مفهوم Bandwidth

عرض النطاق الترددي (Bandwidth) هو سعة الطريق الذي تنتقل فيه بياناتك. تخيله مثل طريق سريع: كلما زاد عدد المسارات (ترددات)، زادت السيارات (البيانات) التي يمكنها المرور في نفس الوقت. نفس النمط كلما زادت عدد ترددات (Bandwidth) المستخدمة في الاتصال زادت سرعة نقل البيانات.

عندما يكون عرض النطاق ضيقاً (اي عدد ترددات اقل مستخدمة في اتصال)، يشبه طريقاً بمسرب واحد. البيانات تتزاحم وتتباطأ، مما يؤدي إلى انقطاع الفيديو وتأخر التحميل. أما عندما يكون عرض النطاق عريضاً (اي عدد ترددات أكبر مستخدمة في اتصال)، فهو يشبه طريقاً سريعاً متعدد المسارات، حيث يمكن لكميات كبيرة من البيانات التدفق بسلاسة، مما يتيح لك بث فيديو عالي الدقة وتحميل الملفات الكبيرة بلمح البصر.

في الأساس، كلما زاد عرض النطاق، زادت كمية المعلومات التي يمكن إرسالها أو استقبالها في كل ثانية، مما يمنحك تجربة إنترنت أسرع وأكثر سلاسة. عملياً عرض النطاق الترددي (Bandwidth) يشير إلى المدى الذي يغطيه التردد بين أعلى وأدنى نقطة يمكن للإشارة أن تصل إليها. على سبيل المثال، إذا كان أدنى تردد هو 50MHz وأعلى تردد هو 200MHz، فإن عرض النطاق هو 150MHz.

مفهوم Signal Strength

قوة الإشارة (Signal Strength) هي مقياس لمدى قوة الإشارة التي يتم استقبالها من مصدر معين. يعبر عن مدى جودة الاتصال أو استقرار الإشارة في قناة الاتصال، حيث كلما كانت قوة الإشارة أعلى، كلما كان الاتصال أفضل وأسرع. تُقاس قوة الإشارة بوحدة dB-Millivolts؛ تقاس بواسطة جهاز RSSI. بالنسبة للأنظمة منخفضة الطاقة مثل الهواتف المحمولة، يتم قياسها بوحدة dB-Microvolts لكل متر.

مفهوم Coverage

التغطية (Coverage) هي المسافة أو المنطقة التي يمكن أن تصل إليها الإشارة اللاسلكية من جهاز معين، مثل جهاز راوتر أو برج الهاتف المحمول. تشير إلى مدى انتشار الإشارة في منطقة معينة ومدى قدرتها على توفير اتصال مستقر للمستخدمين ضمن تلك المنطقة.

العلاقة بين التغطية والتردد هي علاقة عكسية؛ بمعنى آخر، كلما زاد التردد، تقل المسافة التي يمكن أن تغطيها الإشارة، والعكس صحيح. لكن العلاقة بين التغطية والطول الموجي هي علاقة طردية؛ بمعنى آخر، كلما زاد الطول الموجي، زادات المسافة التي يمكن أن تغطيها الإشارة.

العلاقة بين سرعة نقل البيانات والتردد هي علاقة طردية. كلما زاد التردد، زادت قدرة النظام على نقل البيانات بسرعة أكبر. هذا يحدث لأن التردد الأعلى يعني أن الموجة يمكن أن تنقل المزيد من الإشارات في نفس الفترة الزمنية (أي عدد أكبر من الدورات في الثانية)، مما يسمح بنقل المزيد من البيانات في وحدة الزمن.

تكون الإشارات اللاسلكية قوية ضمن بارامتر فيزيائية معينة (ومن هذا البارامتر مدى القرب و العوائق)، وبعد تجاوز هذه بارامتر، تضعف قوة الإشارة بشكل ملحوظ. بعد التجاوز، يؤدي هذا إلى تباطؤ اتصال الشبكة أو انقطاعه بشكل متقطع أو كلي.

الذي يحدد (بارامترات فيزيائية) التغطية ما يلي:

- المسافة (Distance): تحدد أقصى مسافة تصل إليها قوة الإشارة. تعتمد على خصائص الانتنا. قرب جهاز متصل يحصل على اقوى اشارة وأسرع اتصال.
- العوائق المادية (Physical Obstruction): هي البيئة التي يتم تركيبها لاسلكيًا في المنزل أو المكتب أو المقهى العام أو الأعمال التجارية تكون الأشجار والجدران دائمًا ما تكون عائق مادي.

- تداخل الاشارات المادية (Radio Signal Interference): انخفضت جودة الخدمة اللاسلكية مع عدد الإشارات اللاسلكية التي تعمل في نفس مجال التغطية.

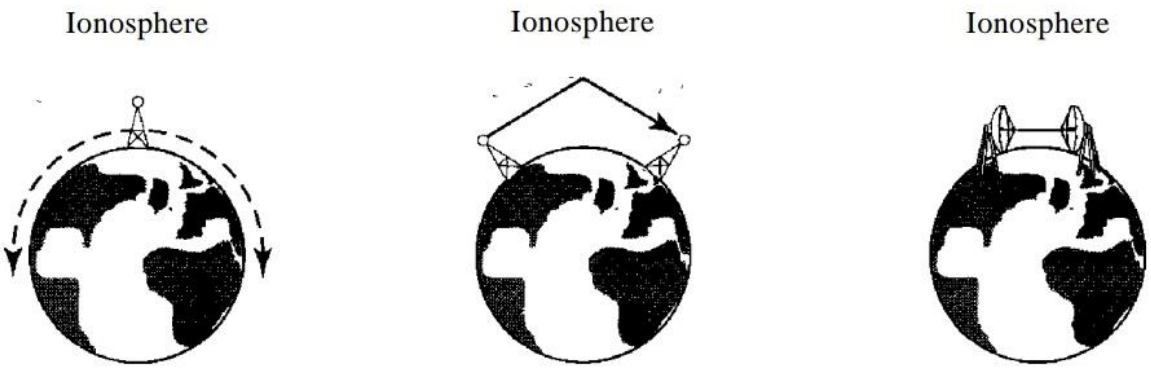
مفهوم Signal Propagation

انتشار الإشارة (Signal Propagation) هو عملية انتقال الإشارة عبر الفضاء أو وسط معين، مثل الهواء. يتضمن ذلك كيفية انتشار الموجات الكهرومغناطيسية من مصدر الإشارة إلى المستقبل، يمكن تقسيمها إلى الفئات الثلاث التالية – موضحة في شكل ادناه:

- أولا Line of Sight Propagation: هي المسار المستقيم الذي يمكن أن تنتقل من خلاله الإشارة بين جهازين دون أي عوائق بينهما. في هذا النوع من الاتصال، يجب أن يكون هناك خط مستقيم بين المصدر والمستقبل ليتمكنوا من التواصل بشكل فعال. لاحظ الشكل المجاور.

- ثانياً Ground Wave Propagation: تنتقل الإشارة على طول سطح الأرض. في هذا النوع، تنتقل الموجات عبر الأرض وتكون قادرة على الانحراف حول العوائق مثل التلال والمباني، ويمكن أن تغطي مسافات طويلة، خاصة في الترددات المنخفضة (مثل موجات AM في الراديو).

- ثالثاً Sky Wave Propagation: تنتقل الإشارة من الأرض إلى الطبقات العليا من الغلاف الجوي (مثل الطبقة الأيونوسفير) ثم تعود إلى الأرض. هذا النوع من الانتشار يستخدم في الترددات المتوسطة والعالية، ويمكن أن يغطي مسافات طويلة جداً، حيث يمكن أن تنتقل الإشارات إلى أماكن بعيدة جداً عبر الانعكاس في الأيونوسفير.



العوامل المؤثرة

العوامل المؤثرة على وسيط الناقل (Transmission Medium) تشمل عدة عوامل يمكن أن تؤثر على جودة وأداء الاتصال عبر الوسيط. من أهم هذه العوامل:

1. التشتت (Scattering): يحدث عندما تتعرض الإشارة للاصطدام بجسيمات أو عوائق في البيئة، مما يؤدي إلى تشويش الإشارة وتوزيعها في اتجاهات مختلفة، مما يقلل من دقتها وجودتها.

2. الانكسار (Refraction): هو انحراف الإشارة عندما تمر عبر طبقات مختلفة من الأوساط، مثل انتقال الموجات عبر طبقات جوية ذات خصائص مختلفة (مثل الأيونوسفير)، مما يؤدي إلى تغيير مسار الإشارة.

3. الحيود (Diffraction): يحدث عندما تنكسر الإشارة حول حواف أو عوائق، مما يسمح للإشارة بالتوجه إلى مناطق خلف العوائق، لكنها قد تكون ضعيفة أو مشوهة.

4. التلاشي (Fading): هو تباين في وضع الإشارة بمتغيرات مختلفة (مثلا التغير في الوقت، او تغير في التردد).

5. التداخل (Interference): تأثير الإشارات غير المرغوب فيها أو الموجات الكهرومغناطيسية الأخرى التي قد تؤثر على الإشارة المنتقلة عبر الوسيط، مثل التداخل من الأجهزة الكهربائية أو الإشارات اللاسلكية الأخرى.

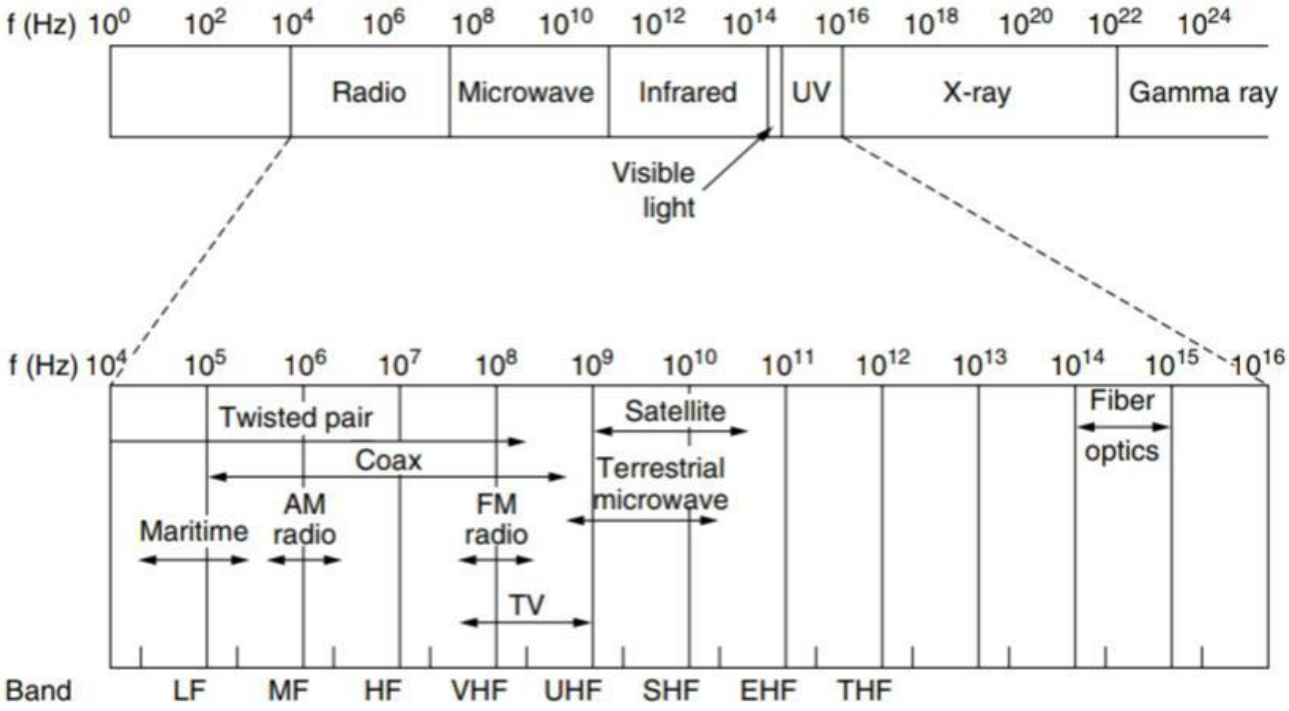
6. الامتصاص (Absorption): امتصاص جزء من الطاقة الإشارية بواسطة المواد التي يمر عبرها الإشارة (مثل الهواء أو المواد الأخرى)، مما يؤدي إلى ضعف الإشارة.

7. الانعكاس (Reflection): انعكاس الإشارة عن الأسطح أو العوائق مثل الجدران أو الأرض، مما قد يؤثر على قوة الإشارة ويؤدي إلى مشاكل في الاتصال.

8. التوهين (Attenuation): انخفاض قوة الإشارة مع زيادة المسافة أو مرور الوقت عبر الوسيط، مما يؤدي إلى ضعف الإشارة أو فقدانها

2.2 طيف الكهرومغناطيسية (Spectrum)

الطيف الكهرومغناطيسي هو حقيبة الترددات الشاملة للشبكات اللاسلكي. بحيث يشمل الطيف الكهرومغناطيسي كل الترددات التي تنتقل عبر الهواء، من أدناها (كموجات الراديو الطويلة) إلى أعلاها (مثل أشعة غاما). يوضح شكل التالي هذا انواع الترددات المكونة للطيف:

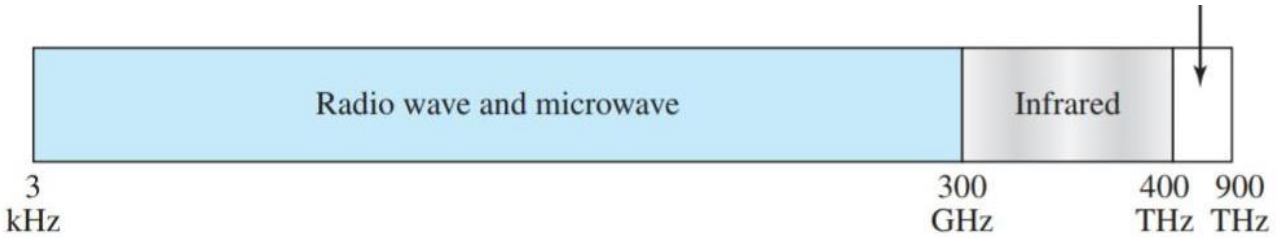


الطيف اللاسلكي يشبه مدينة كبيرة مقسمة إلى أحياء متخصصة. كل حي يمثل طيفاً فرعياً مخصصاً لاستخدامات محددة، مما يمنع التداخل ويضمن عمل جميع الأجهزة بتناغم. من أشهر هذه الأحياء الترددية (الأطياف):

- طيف Radio: هي الحي التجاري الواسع الذي يستقبل الجميع. تنتقل هذه الموجات لمسافات بعيدة وتخترق الجدران، مما يجعلها مثالية للبث الإذاعي والتلفزيوني، وشبكات الهاتف المحمول، وشبكات الواي فاي المنزلية، وتقنية البلوتوث.

- طيف Microwaves: هو الحي السريع والفعّال. هذه الموجات تنقل البيانات بسرعات عالية ولكنها تتطلب خط نظر مباشر بين الجهاز المرسل والمستقبل. نجدها مستخدمة في اتصالات الأقمار الصناعية والروابط عالية السعة بين الأبراج الخلوية.

- طيف Infrared: فهو الحي الآمن والخاص. هذه التقنية قصيرة المدى وتحتاج إلى اتصال مباشر بدون عوائق، مما يجعله آمناً لعدم تسرب الإشارة خارج الغرفة. نستخدمه في أجهزة التحكم عن بعد ونقل البيانات بين الهواتف وجهًا لوجه.



نظرًا للطبيعة المحدودة للموارد الترددية، والتي تُعد ثروة وطنية لا تتجدد، تعتبر الحكومات الطيف الترددي ملكية عامة تديرها لصالح المواطنين. لذلك تخضع هذه الترددات لتنظيم دقيق من قبل الهيئات الحكومية المختصة في قطاع الاتصالات، والتي تقوم بتوزيعها وتخصيصها بشكل يضمن الاستخدام الأمثل. ولهذا السبب، فإن تشغيل أي تقنية تعتمد على الاتصالات اللاسلكية – سواء كانت شبكات خلوية أو أنظمة اتصالات لاسلكية أخرى - يتطلب الحصول على تراخيص وتصاريح خاصة من هذه الهيئات المنظمة. تضمن هذه التراخيص استخدام الترددات ضمن الإطار القانوني والفني المحدد، وتحافظ على استقرار وسلامة خدمات الاتصالات للجميع.

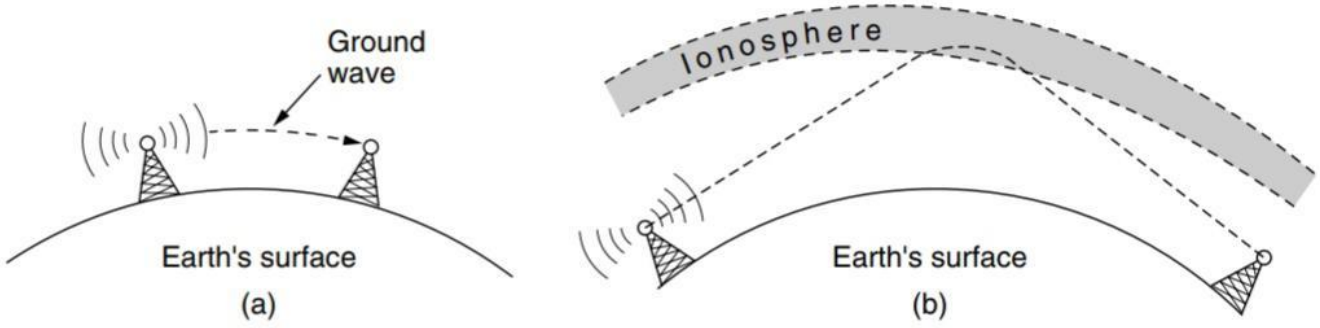
2.2.1 الطيف الراديوي (Radio Frequency)

لفهم كيفية استخدام الطيف الراديوي، من المهم البدء بتعريفه. تُعرف الموجات الراديوية بأنها نوع من الموجات الكهرومغناطيسية، ذات ترددات أقل من 3,000 جيجا هرتز. هذه الموجات تنتشر في الفضاء دون الحاجة إلى وسط مادي. بناءً على ذلك، يُعتبر طيف الراديو نطاقًا يشمل جميع الترددات التي تقل عن 3,000 جيجا هرتز، وهو ما يغطي معظم الاستخدامات اللاسلكية الحالية والمستقبلية.

يُعد الطيف الراديوي أكثر نطاقات الترددات شيوعًا في الاتصالات اللاسلكية؛ ويرجع ذلك إلى عدة أسباب: فهو سهل التوليد، ويمكنه السفر لمسافات طويلة، ويخترق المباني بسهولة نسبية. بالإضافة إلى ذلك، فإن إشاراته متعددة الاتجاهات، أي أنها تنتشر في جميع الاتجاهات من المصدر، مما يلغي الحاجة للمحاذاة الدقيقة بين المرسل والمستقبل. بفضل هذه المزايا، يتم استخدامه على نطاق واسع في تطبيقات مثل البث التلفزيوني والإذاعي، والهواتف المحمولة، وشبكات Wi-Fi وBluetooth، ونظام تحديد المواقع (GPS)، والعديد من التطبيقات الأخرى التي نستخدمها يوميًا.

لا تتصف جميع الموجات الراديوية بنفس الخصائص، فهي تختلف بشكل جذري باختلاف التردد. عند الترددات المنخفضة، تمر الإشارات عبر العوائق جيدًا، لكن طاقتها تتناقص بشكل حاد مع زيادة المسافة، مما يؤدي إلى توهين (فقدان طاقة) شديد قد يتسبب في فقدان المسار. في المقابل، تميل الإشارات عالية التردد إلى الانتقال في خطوط مستقيمة وترتد عن العوائق، كما يتم امتصاصها بدرجة أكبر بواسطة المطر والعقبات الأخرى. في جميع الترددات، تخضع موجات الراديو للتداخل من المحركات والمعدات الكهربائية.

تختلف طريقة انتشار الموجات حسب نطاق التردد بشكل كبير. في النطاقات المنخفضة والمتوسطة، تنتشر الإشارات كـ "موجات أرضية" تتبع انحناء الأرض، ويمكنها اختراق المباني، مما يفسر عمل أجهزة الراديو داخل المنازل والسيارات. أما في النطاقات العالية، فتُوجَّه الإشارات إلى السماء حيث تنعكس عن طبقة الأيونوسفير (طبقة من الجسيمات المشحونة على ارتفاع 100-500 كم) وتعود إلى الأرض، وهي ظاهرة تعرف باسم "الموجات السماوية"، مما يمكنها من السفر لمسافات بعيدة جدًا وتُستخدم في الاتصالات بعيدة المدى. يوضح ذلك الشكل ادناه.



من المثير للاهتمام مقارنة توهين إشارات الراديو بتلك الإشارات في الوسائط المادية (مثل Twisted Pairs Cable). حيث تنخفض الإشارة بنفس الكسر لكل وحدة مسافة، على سبيل المثال 20dB لكل 100M في كابل Twisted Pairs Cable. مع الراديو، تنخفض الإشارة بنفس الكسر الذي تتضاعف فيه المسافة، على سبيل المثال 6dB لكل مضاعفة في المساحة الحرة. يعني هذا السلوك أن موجات الراديو يمكن أن تسافر لمسافات طويلة، والتداخل بين المستخدمين يمثل مشكلة. لهذا السبب، تنظم جميع الحكومات بإحكام استخدام أجهزة الإرسال اللاسلكية.

تقسيم ترددت للطيف الراديوي

يُعتبر طيف الراديو نطاقًا يشمل جميع الترددات التي تقل عن 3,000 جيجا هرتز، وهو نطاق عالٍ جدًا. هذا الطيف يغطي معظم الاستخدامات الراديوية الحالية، كما أنه يتضمن التطبيقات المحتملة التي قد تظهر في المستقبل القريب. تُستخدم تقريبًا جميع التطبيقات اللاسلكية الشائعة حاليًا الطيف تحت 100 جيجا هرتز، بل إن الغالبية العظمى من هذه التطبيقات تعمل عند ترددات أقل من 30 جيجا هرتز. ومع ذلك، ونظرًا لأن الاستخدامات العملية لطيف الراديو لم تصل بعد إلى الحد الأقصى النظري، فإن جداول تخصيص الترددات في الولايات المتحدة والاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) تمتد حاليًا فقط حتى 275 جيجا هرتز. وحتى عند هذا التردد، تقتصر الاستخدامات بشكل عام على التطبيقات العلمية والهندسية المتخصصة.

Application	**Frequency or Frequency Range** *(~ denotes non-contiguous or approximate)*
AM broadcast	530 kHz – 1.7 MHz
Broadcast television	54 ~ 88, 174 – 216, 470 ~ 698 MHz
FM broadcast	88 – 108 MHz
Cell phones	~750, ~850, ~1700, ~1950, ~2100 MHz
GPS (non-military)	~1.5 GHz
Satellite radio	~2.3 GHz
Wireless computer networks	~2.4 & ~5.8 GHz
Satellite TV	~12 GHz
Fixed point-to-point links	~1 ~ 90 GHz

في الطرف المنخفض من نطاق الترددات، تمتد جداول التخصيص الحالية حتى 9 كيلو هرتز. تتميز الإشارات القريبة من هذا التردد (أو أقل منه) بأطوال موجية طويلة جدًا، تصل إلى حوالي 33 كيلومترًا أو أكثر، مما يعني أن الهوائي الفعال في هذا النطاق يجب أن يكون ضخمًا جدًا. كما أن عرض النطاق الترددي المتاح عند هذه الترددات ضيق للغاية. نتيجة لذلك، لا يوجد اهتمام تجاري كبير بالترددات التي تقل عن 9 كيلو هرتز، باستثناء الاستخدامات العسكرية والعلمية المتخصصة.

تقسيم الطيف الراديوي

نظرًا للانفجار الكبير في الطلب على خدمات مثل المكالمات الصوتية والبيانات والترفيه، يُعتبر استخدام طيف الراديو في أعلى مستوياته على الإطلاق. هذا الطلب المتزايد يتطلب إدارة وتنظيم دقيق للطيف، تكمن أهمية هذا التنظيم في تجنب مشكلة التداخل التي تنشأ عندما تحاول عدة تطبيقات استخدام نفس الترددات في الوقت نفسه. على سبيل المثال، إذا استخدمت محطة تلفزيون محلية نفس التردد الذي يستخدمه هاتفك المحمول، فلن يعمل الهاتف بشكل جيد بسبب التداخل من محطة التلفزيون، أو قد تكون صورة التلفزيون غير واضحة بسبب التداخل من الهاتف المحمول، أو قد يحدث كلا الأمرين معًا.

لتجنب مثل هذه النزاعات، يتم تقسيم الإشارات في طيف الراديوي إلى أجزاء مختلفة، ويتم تخصيص كل جزء لخدمة أو أكثر. من هذه الناحية، فإن تخصيص طيف يشبه تقسيم استخدام الأراضي: قد تكون منطقة معينة من المدينة مخصصة للاستخدام الصناعي، ومنطقة أخرى مخصصة للاستخدام الزراعي، ومنطقة ثالثة مخصصة للاستخدام السكني. عادةً، لا تُبنى المنازل داخل المناطق الصناعية لأن المناطق الصناعية تميل إلى أن تكون صاخبة وأكثر خطورة مما ترغب معظم الأسر أو السكان. التطبيقات الاثنان – السكن والصناعة – تكون عادة غير متوافقة، لذا يتم فصلها جغرافيًا من خلال تقسيم الاستخدام.

ينطبق نفس المفهوم في تخصيص الطيف حيث يكون "التقسيم" حسب التردد بدلاً من الجغرافيا. حيث يتم تقسيم الطيف الرديوي إلى قطع ترددية تسمى "نطاقات" (Bands). لكل نطاق مدى ترددي (Bandwidth) مرتبط به، وهو ببساطة مقدار مساحة التردد في الطيف الراديوي. الأجهزة اللاسلكية مقيدة للعمل في نطاق ترددي معين، ويتم التحكم في استخدام الطيف الراديوي بشكل صارم من قبل السلطات التنظيمية من خلال عمليات الترخيص.

Band	*Range*	*Propagation*	*Application*
VLF (very low frequency)	3-30 kHz	Ground	Long-range radio navigation
LF (low frequency)	30-300 kHz	Ground	Radio beacons and navigational locators
MF (middle frequency)	300 kHz-3 MHz	Sky	AM radio
HF (high frequency)	3-30 MHz	Sky	Citizens band (CB), ship/aircraft communication
VHF (very high frequency)	30-300 MHz	Sky and line-of-sight	VHF TV, FM radio
UHF (ultrahigh frequency)	300 MHz-3 GHz	Line-of-sight	UHF TV, cellular phones, paging, satellite
SHF (superhigh frequency)	3-30 GHz	Line-of-sight	Satellite communication
EHF (extremely high frequency)	30-300 GHz	Line-of-sight	Radar, satellite

على الرغم من أن التسميات الشائعة للنطاقات قد تكون واضحة إلى حدٍ كاف، إلا أنها تبقى عامة. لذلك وضعت منظمة IEEE (معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات) تسميات معيارية لقطع الترددات في مجال الاتصالات لتنظيم التصنيف وتوحيد المصطلحات التقنية:

IEEE Designator	**Range**
L-band	1 – 2 GHz
S-band	2 – 4 GHz
C-band	4 – 8 GHz
X-band	8 – 12 GHz
K_u-band	12 – 18 GHz
K-band	18 – 27 GHz
K_a-band	27 – 40 GHz
V-band	40 – 75 GHz
W-band	75 – 110 GHz

Band	**Frequency range**
C-Band	4-8 GHz
C-Band satellite downlink	3.7-4.2 GHz
C-Band Radar (weather)	5.25-5.925 GHz
C-Band ISM	5.725-5.875 GHz
C-Band satellite uplink	5.925-6.425 GHz

تنبيه، هناك تمثيل خاطئ شائع في قوائم نطاقات تردد الراديو. غالبًا ما يتم إدراج نطاق من الترددات يتراوح بين 300 هرتز و20 كيلوهرتز في قوائم الترددات، تحت مسمى "ترددات الصوت" أو "ترددات الصوتيات". بينما يعكس هذا النطاق الترددات التي يمكن للبشر إدراكها كصوت، إلا أن الصوت هو موجة ضغط تنتقل عبر مادة (مثل الغاز أو السائل أو الصلب)، وهو غير مرتبط تمامًا بالموجات الكهرومغناطيسية التي تشكل إشارات الراديو. لذا، يجب تجنب الخلط بين الموجات الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية، كما ينبغي عدم تضمين الموجات الصوتية في قوائم نطاقات تردد الراديو.

في نطاقات التردد المنخفضة جداً (VLF) والمنخفضة (LF) والمتوسطة (MF)، تنتشر إشارات الراديو بشكل منحني مع سطح الأرض، حيث تُعرف هذه الموجات باسم "الموجات الأرضية" (Ground Wave). يمكن التقاط هذه الإشارات لمسافات تصل إلى 1000 كيلومتر عند الترددات المنخفضة، بينما تقل هذه المسافة تدريجياً كلما زاد التردد. تُستخدم هذه النطاقات بشكل شائع في البث الإذاعي (AM)، حيث تتميز إشاراتها بقدرة كبيرة على اختراق المباني والعوائق، وهذا ما يفسر عمل أجهزة الراديو المحمولة داخل المنازل والسيارات بسهولة. أما المشكلة الرئيسية في استخدام هذه النطاقات لاتصالات البيانات فهي محدودية عرض النطاق الترددي المتاح.

في المقابل، تميل الموجات في نطاقي التردد العالي (HF) والعالية جداً (VHF) إلى الامتصاص من قبل سطح الأرض. لذلك يتم توجيهها نحو الغلاف الجوي العلوي حيث تصل إلى طبقة الأيونوسفير – وهي طبقة من الجسيمات المشحونة تحيط بالأرض على ارتفاع 100 إلى 500 كيلومتر – فتنكسر فيها لتعود مرة أخرى إلى الأرض. تُعرف هذه الظاهرة باسم "الموجات السماوية" (Sky Wave)، وتسمح للإشارات تحت الظروف الجوية المناسبة بالارتداد عدة مرات بين الأرض والغلاف الجوي. يستفيد هواة الراديو (Hams) من هذه الخاصية لإجراء اتصالات لاسلكية عبر المسافات الطويلة.

من المهم الإشارة إلى أن النطاق الترددي الواحد قد يستضيف أكثر من تقنية لاسلكية في وقت واحد. ففي نطاق S-Band تحديداً عند تردد 2.4 جيجا هرتز، تعمل تقنيتا Wi-Fi و Bluetooth معاً دون تداخل كبير بفضل آلية استغلال عرض النطاق (Bandwidth Utilization) التي تمكن من المشاركة الفعالة للطيف الترددي بين multiple applications.

على الرغم من التخطيط الجيد لتقسيم وتخصيص كل جزء لتطبيقات معينة، فإن النزاعات (التداخلات) لا تزال ممكنة. هذا يعني أنه حتى مع وجود جداول تخصيص واضحة، يمكن أن تحدث مشاكل عندما تستخدم خدمات متعددة نفس نطاق التردد في نفس الوقت. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تداخل، مما يؤثر سلبًا على جودة الإشارة. لذا، فإن التنسيق بين استخدام الترددات يصبح ضروريًا. هذا يعني أن الخدمات المختلفة التي قد تعمل على نفس التردد يجب أن تتعاون لتجنب التداخل. على سبيل المثال، قد تحتاج شركات الاتصالات إلى التنسيق مع بعضها البعض لضمان عدم استخدام نفس التردد في نفس الوقت أو في مناطق قريبة جدًا من بعضها.

عملية استغلال عرض النطاق (Bandwidth Utilization)

تشير عملية استغلال عرض النطاق إلى الكفاءة والطرق التي يتم بها استخدام السعة الترددية المتاحة ضمن نطاق طيفي معين. الهدف الأساسي هو تمكين عدة تقنيات أو أجهزة من المشاركة في نفس النطاق الترددي مع تقليل التداخل إلى الحد الأدنى، ويمكن تحقيق ذلك من خلال:

إدارة القنوات والوصول إليها (Channel Access & Management)

هذا يشمل التقسيم الثابت والديناميكي للطيف عبر التقنيات التالية:

- **التقسيم الترددي الثابت (FDMA – Frequency Division Multiple Access)**: تقنية أساسية تقسم الطيف إلى قنوات ترددية ثابتة ومنفصلة، كما هو مستخدم في البث الإذاعي (FM/AM) والتلفزيوني التقليدي.
- **التقسيم التردد الديناميكي (DSA – Dynamic Spectrum Access)**: أنظمة ذكية تقوم بتوزيع القنوات تلقائيًا بناءً على الظروف الفعلية للشبكة، مثل: بروتوكولات 802.11ax التي تدير القنوات بشكل أكثر كفاءة بين الأجهزة المتعددة، وشبكات التليفون المحمول (5G/4G) التي تعيد تخصيص القنوات تلقائيًا بناءً على حركة المرور وازدحام الخلية.

بروتوكولات تجنب التصادم (Collision Avoidance Protocols)

هذه هي الآليات التي تمنع جهازين من الإرسال في نفس الوقت على نفس القناة باستخدام تقنيات مثل:

- **تقنية CSMA/CA – Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance**: وهو العمود الفقري لشبكات Wi-Fi، حيث ينتظر الجهاز حتى تصبح القناة خالية قبل البث.
- **تقنية FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum**: التقنية الأساسية في Bluetooth، حيث تقفز الإشارة بسرعة بين 79 قناة فرعية مختلفة وفقًا لنمط متفق عليه، مما يقلل من فرص التداخل الطويل.
- **تقنية TDMA – Time Division Multiple Access**: تُستخدم في شبكات GSM للهواتف المحمولة، حيث يُخصص لكل جهاز "شريحة زمنية" محددة للإرسال على نفس التردد.

المراقبة والتكيف الديناميكي (Dynamic Monitoring & Adaptation)

هنا تصبح الشبكات "ذكية" وقادرة على تحسين أدائها ذاتيًا عبر:

- **اختيار القناة الديناميكي (DFS – Dynamic Frequency Selection)**: تُستخدم في أجهزة Wi-Fi العاملة بالنطاق 5 GHz للكشف التلقائي عن إشارات الرادار والانتقال الفوري إلى قناة أخرى غير مشغولة.
- **مشاركة القناة في الزمن والتردد (TDD/FDD – Time/Frequency Division Duplexing)**: حيث TDD: تستخدم في تقنيات مثل Wi-Fi و 5G، حيث يُستخدم نفس التردد للإرسال والاستقبال ولكن في أزمنة مختلفة. بينما FDD: مستخدم في شبكات 4G LTE التقليدية، حيث يُخصص تردد منفصل للإرسال والاستقبال في نفس الوقت.
- **الراديو المعرفي (CR – Cognitive Radio)**: تقنية متطورة يمكنها "الاستشعار" عن الطيف المحيط وتعديل معاملات الإرسال (مثل التردد وعرض النطاق) بشكل ذاتي لتجنب التداخل والاستفادة من "الثغرات" الطيفية مؤقتًا.

ضغط البيانات (Data Compression)

هي آلية غير مباشرة ولكنها بالغة الأهمية لاستغلال النطاق عبر تقنيات مثل:

- بروتوكولات الضغط بدون فقدان (مثل ZIP في نقل الملفات): تعيد ترميز البيانات لتقليل حجمها دون فقدان أي معلومات.
- بروتوكولات الضغط بالفقدان (مثل MP3 للصوت، MPEG للفيديو): تزيل بعض البيانات غير المحسوسة نسبيًا للمستخدم لتقليل الحجم بشكل كبير، مما يقلل عرض النطاق المطلوب للبث.
- أنظمة الترميز المتقدمة (مثل بروتوكولات VoLTE للمكالمات الصوتية): ترميز الصوت بشكل أكثر كفاءة لتقليل عرض النطاق المستهلك مع الحفاظ على جودة مقبولة.

3 الهوائي اللاسلكي (Antina)

يعتبر الهوائي عنصراً أساسياً في أي نظام اتصال لاسلكي، حيث يقوم بدور محوري في تحويل الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء، وبالعكس. تعتمد كفاءة الهوائي على تصميمه ومواصفاته بشكل مباشر.

مبدأ العمل الأساسي:

- في وضع الإرسال: يحول التيار الكهربائي عالي التردد إلى موجات كهرومغناطيسية
- في وضع الاستقبال: يقوم بالعملية العكسية، حيث تلتقط الموجات الكهرومغناطيسية ويحولها إلى تيار كهربائي

المعايير

المعايير الرئيسية لأداء الهوائي:

الكسب (Gain)

يشير إلى قدرة الهوائي على توجيه الطاقة في اتجاهات معينة، يقاس بالديسيبل (dB). حيث كلما زاد الكسب، زادت قدرة الهوائي على التركيز في اتجاه محدد و كلما زادت التغطية تزداد كمية الطاقة التي تحتاجها. بناءً عليه يتم تقسيم الهوائيات لصنفين:

النوع الأول High-gain Antenna

هي الأنتينا (Antenna) عالية الطاقة تتميز بقدرتها على تركيز الإشارة في اتجاه محدد مما يجعلها فعالة لتغطية المسافات الطويلة. تستخدم هذا النوع مع شبكات بعيدة المدى مثل Stalite Network.

النوع الثاني Low-gain Antenna

هي الأنتينا (Antenna) منخفضة الطاقة تقوم بإشعاع الإشارة بشكل متساوٍ تقريبًا في اتجاهات متعددة، مما يجعلها مثالية للشبكات التي تحتاج تغطية واسعة النطاق ولكن على مسافات قصيرة إلى متوسطة. تستخدم هذا النوع مع شبكات متوسطة المدى مثل Wi-Fi Network و Cellular Networks.

نمط الإشعاع (Radiation Pattern)

يحدد شكل توزيع الطاقة المشعة من الهوائي، حيث قد يكون متعدد الاتجاهات (Omnidirectional) أو اتجاهياً (Directional). بالنسبة إلى الهوائيات متعددة الاتجاهات تشع بشكل متساوٍ في جميع الاتجاهات، إما الهوائيات الاتجاهية تركز الطاقة في اتجاه محدد. بناء عليه تنقسم الهوائيات لثلاثة أصناف رئيسية:

الانتنا متعددة الاتجاهات (Omni-Directional)

تُشع الإشارة بشكل متساوٍ في جميع الاتجاهات الأفقية. تُستخدم هذه الانتنا لتغطية المناطق الواسعة، مثل شبكات Wi-Fi، حيث يتم توزيع الإشارة بالتساوي لضمان الوصول إلى الأجهزة القريبة. تستخدم هذه الهوائيات بشكل شائع في الشبكات المبنية على الإشارات الراديو.

الانتنا الاتجاهية (Uni-Directional)

تُركز الإشارة في اتجاه محدد لتغطية مسافات طويلة. تُستخدم هذه الانتنا في التطبيقات التي تحتاج إلى إشارات موجهة. تستخدم هذه الهوائيات بشكل شائع في الشبكات المبنية على الإشارات الميكروويف. حيث تحتاج أجهزة الميكروويف إلى هوائيات أحادية الاتجاه ترسل إشارات في اتجاه واحد.

الاستقطاب (Polarization)

يشير إلى اتجاه المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية، قد يكون أفقياً أو عمودياً أو دائريا. حيث يجب تطابق استقطاب الهوائي المرسل والمستقبل للحصول على أفضل أداء.

الهوائيات ذات الاستقطاب الأفقي

في هذا النوع من الهوائيات، يتجه المجال الكهربائي بشكل موازٍ لسطح الأرض. يتميز هذا النوع بمقاومة أفضل للضوضاء الطبيعية والتداخلات الرأسية. من أبرز تطبيقاته أنظمة البث التلفزيوني الأرضي، والاتصالات بين المباني، وأنظمة الرادار طويلة المدى، حيث يوفر أداءً مستقرًا في هذه التطبيقات. بناء عليه تنقسم الهوائيات لثلاثة أصناف رئيسية:

الهوائيات ذات الاستقطاب العمودي

يتعامد المجال الكهربائي في هذا النوع مع سطح الأرض، مما يجعله الأمثل للاتصالات المتنقلة. يتميز بقدرته على الحفاظ على كفاءة الأداء حتى مع تغير زاوية الهوائي أثناء الحركة. يستخدم على نطاق واسع في أنظمة الهواتف المحمولة، والراديو في السيارات، والشبكات اللاسلكية المنزلية، حيث يوفر مرونة عالية في الاستخدام.

الهوائيات ذات الاستقطاب الدائري

ينقسم هذا النوع إلى استقطاب دائري أيمن وآخر أيسر، ويتميز بمقاومة فائقة لظاهرة تعدد المسارات. لا يتطلب هذا النوع محاذاة دقيقة بين الهوائيات، مما يجعله مثاليًا للتطبيقات المتحركة. يستخدم الاستقطاب الدائري الأيمن في أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية مثل GPS، بينما يُستخدم الاستقطاب الدائري الأيسر في بعض أنظمة الاتصالات الفضائية المتخصصة.

اشكال الهوائيات

أشهر أشكال الهوائيات

الهوائي الخطي (Dipole Antenna)

يعد الهوائي الخطي من أبسط وأشهر أنواع الهوائيات، ويتكون من قضيبين معدنيين مستقيمين. يتميز بتصميمه البسيط وكفاءته العالية في العمل عند الترددات المتوسطة والعالية. يستخدم على نطاق واسع في أنظمة الاتصالات اللاسلكية المنزلية وأجهزة الراديو.

الهوائي الطبق (Dish Antenna)

يتميز الهوائي الطبق بشكله الدائري المقعر الذي يعمل على تركيز الإشارات في نقطة بؤرية محددة. يمتاز بكسب عالٍ وقدرة فائقة على استقبال الإشارات الضعيفة. يشيع استخدامه في أنظمة الاستقبال التلفزيوني عبر الأقمار الصناعية والاتصالات الفضائية.

هوائي الياغي (Yagi Antenna)

يتكون هوائي الياغي من عدة عناصر تشمل عنصراً نشطاً وعناصر عاكسة وموجهة. يتميز باتجاهيته العالية وكسبه الجيد في نطاق الترددات العالية. يستخدم بشكل شائع في أنظمة البث التلفزيوني الأرضي وأنظمة الاتصالات اللاسلكية الموجهة.

هوائي الرقعة (Patch Antenna)

يتميز هوائي الرقعة بشكله المسطح والمنخفض السمك، مما يجعله مثالياً للتطبيقات المدمجة. يصنع باستخدام تقنية الدوائر المطبوعة ويتناسب مع التصاميم الحديثة. يستخدم على نطاق واسع في الأجهزة المحمولة وأنظمة تحديد المواقع.

الهوائي الحلزوني (Helical Antenna)

يأخذ الهوائي الحلزوني شكل ملف لولبي يوفر أداءً جيداً في نطاق الترددات العالية. يتميز بإشعاعه دائري الاستقطاب واتجاهيته المعتدلة. يشيع استخدامه في أنظمة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والاتصالات الفضائية.

هوائي القضيب (Monopole Antenna)

يتكون هوائي القضيب من قضيب معدني مستقيم يعمل مع مستوى التأريض. يتميز بتصميمه البسيط وإشعاعه Omnidirectional. يستخدم بشكل واسع في أنظمة الاتصالات المتنقلة وأجهزة الراديو والسيارات.

هوائي الحلقة (Loop Antenna)

يأخذ هوائي الحلقة شكل حلقة مغلقة أو مفتوحة وتعمل بكفاءة في نطاق الترددات المنخفضة والمتوسطة. يتميز بصغر حجمه نسبياً وأدائه الجيد في استقبال الإشارات. يستخدم في أجهزة الراديو المحمولة وأنظمة التعريف بموجات الراديو.

طريقة التشغيل

هوائيات الإرسال (Transmitting Antennas)

تختص هوائيات الإرسال بتحويل الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية وبثها في الفضاء.تتميز هذه الهوائيات بقدرتها على التعامل مع قدرات إرسال عالية، وتصمم لتحقيق أقصى كفاءة في إشعاع الطاقة. من الأمثلة البارطة على هذا النوع الهوائيات المستخدمة في محطات البث الإذاعي والتلفزيوني، حيث ترسل إشارات قوية لتغطية مناطق جغرافية واسعة.

هوائيات الاستقبال (Receiving Antennas)

تركز هوائيات الاستقبال على capturing الموجات الكهرومغناطيسية من الفضاء وتحويلها إلى إشارات كهربائية.تصمم هذه الهوائيات لحساسية عالية تجاه الإشارات الضعيفة، مع الاهتمام بتقليل الضوضاء والتداخلات. نجد هذا النوع مستخدمًا على نطاق واسع في هوائيات التلفاز المنزلية وأجهزة الراديو، حيث تعمل على استقبال الإشارات من محطات البث البعيدة.

هوائيات الإرسال والاستقبال (Transceiver Antennas)
تجمع هوائيات الإرسال والاستقبال بين الوظيفتين في تصميم واحد،حيث تقوم بالإرسال والاستقبال بالتناوب. تتطلب هذه الهوائيات تصميمًا متوازنًا يلبي متطلبات كلا الوظيفتين، مع دوائر خاصة للفصل بين إشارات الإرسال والاستقبال. تمثل هذه الفئة العمود الفقري لأنظمة الاتصالات ثنائية الاتجاه، كما في أنظمة الهواتف المحمولة وأجهزة الواي فاي والاتصالات اللاسلكية الحديثة.

2 شبكات المحلية اللاسلكية - LAN Wireless

نموذج TCP/IP Suite Protocols لا يحدد أي بروتوكول لطبقتي Data-Link Layer و Physical Layer. بمعنى آخر، يقبل نموذج TCP/IP أي بروتوكول في هاتين الطبقتين يمكن أن يقدم خدمات للطبقة العليا (طبقة Network Layer). تمثل هاتان الطبقتان في الواقع مجال الشبكات المحلية (LAN) والشبكات الواسعة (WAN). هذا يعني أنه عند مناقشة هاتين الطبقتين، نتحدث عن الشبكات التي تستخدمهما. كما سنرى في هذا الفصل والفصول التالية، يمكن أن تكون الشبكات المحلية سلكية أو لاسلكية. سنركز في هذا الفصل على الشبكات المحلية اللاسلكية (WLAN).

الشبكة المحلية اللاسلكية (WLAN) هي شبكة حاسوب (Computer Network) مصممة لمنطقة جغرافية محدودة مثل مبنى أو حرم جامعي. على الرغم من أنه يمكن استخدام WLAN كشبكة معزولة لتوصيل أجهزة الحاسوب في مؤسسة ما لغرض وحيد هو مشاركة الموارد والبيانات بشكل لاسلكي، فإن معظم الشبكات المحلية اللاسلكية اليوم مرتبطة بشبكة محلية سلكية (LAN) والتي بدورها ترتبط بشبكة WAN أو Internet.

شهد سوق شبكات WLAN العديد من التقنيات مثل Wi-Fi و Bluetooth و ZigBee. بعض هذه التقنيات استمر لفترة من الوقت، لكن Wi-Fi هي أكثر الشبكات المحلية اللاسلكية شائعة الاستخدامً اليوم، ونتمتع بشعبية كبيرة؛ لأنه نوفر توازناً بين السرعة والتكلفة وسهولة التركيب. بالإضافة إلى الانتشار الواعد في سوق الحاسوب والقدرة على دعم معظم برتوكولات الشبكة الشائعة.

تقريبًا كل تقنيات شبكات المحلية اللاسلكية، باستثناء Wi-Fi، قد اختفت من السوق لأن تقنية Wi-Fi استطاعت تحديث نفسها لتلبية احتياجات الزمن. لذلك، من الطبيعي أن المنظمة التي استخدمت Wi-Fi في الماضي وتحتاج الآن إلى معدل بيانات أعلى ستقوم بتحديث نفسها إلى الجيل الجديد بدلاً من التحول إلى تقنية أخرى قد تكلف أكثر. وهذا يعني أننا سنقتصر في مناقشتنا للشبكات المحلية اللاسلكية القائمة على Wi-Fi.

مشروع IEEE Standard Project 802 مصمم لتنظيم التصنيع والترابط بين الشبكات المختلفة، من أشهر المعايير في محال الشبكات السلكية المحلية هو IEEE 802.3 الذي يطلق عليه Ethernet. ومن أشهر المعايير في محال الشبكات اللسلكية المحلية هو IEEE 802.11 الذي يطلق عليه Wi-Fi.

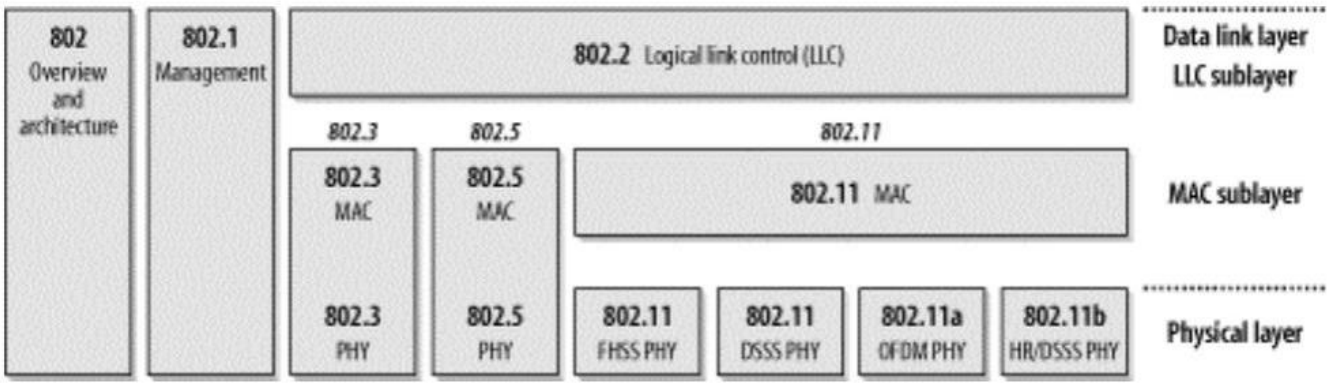
سنقدم في هذا الفصل موجز عن IEEE 802.11 المستخدم مع شبكات المحلية اللاسلكية (Wi-Fi). يطلق على IEEE 802.11 أحياناً بـ Wireless IEEE 802.3، للتأكيد على سلالتها المشتركة مع شبكة IEEE 802.3.

على الرغم من أن شبكات IEEE 802.11 قد مرت بتطور خلال العقود القليلة الماضية، إلا أن المفهوم الرئيسي ظل كما هو. في الآونة الأخيرة، كان تحالف WECA يدفع ببرنامج شهادة Wi-Fi – اختصار لـ Wireless Fidelity. حيث يمكن لأي شركة تصنع منتجات المعتمدة على تقنيات802.11 استخدام علامة Wi-Fi.

2.1 نماذج الشبكات المحلية اللاسلكية (IEEE Standards)

معمارية 802.11 عضو في عائلة IEEE 802، هي سلسلة من المواصفات لتقنيات شبكات المحلية. يوضح الشكل أدناه العلاقة بين المكونات المختلفة لعائلة IEEE 802 ومكانها في نموذج OSI. كما يظهر لك، هناك العديد من الاختلافات بين 802.11 و 802.3، ولكن الأكثر وضوحًا هو أن 802.11 مخصص للأجهزة محمولة؛ يعني يمكنهم الانتقال بسهولة من جزء من الشبكة إلى آخر.

تم إصدار المنتجات المستندة إلى 802.11 مبدئيًا في عام 1997 وكانت معتمدة على ترددات Infrared. أصدرت بعد ذلك منظمة IEEE معيار القياسي المسمى 802.11 في يونيو 1999 يتضمن هذا النموذج القياسية، ويعتمد على ترددات تقع في S-Band، تحديداً تردد 2.4GHz، ودعم الحد الأقصى معدل البيانات من 1 إلى 2Mbps. في أواخر عام 1999، تم إصدار نموذجين إضافيين جديدين. النموذج الأول 802.11b زاد الأداء إلى 11Mbps في نطاق 2.4GHz بينما استخدم النموذج الثاني 802.11a نطاق 5GHz ودعمت ما يصل إلى 54Mbps.



لسوء الحظ، كانت النماذج الجديدة غير متوافقة لأنهما استخدمت ترددات مختلفة (تقع في نطاقات C-Band و S-Band). هذا يعني أن الأجهزة اللاسلكية التي تدعم 802.11a لا يمكنها الاتصال بشبكات التي تدعم 802.11b. أدى عدم التوافق هذا إلى إنشاء مسودة معيارية جديدة تُعرف باسم 802.11g. نموذج 802.11g يدعم ما يصل إلى 54Mbps وهو قابل للتشغيل البيني مع 802.11b في السوق.

حالياً كما ترى من الجدول، يوفر 802.11 بالفعل سرعات أسرع من 10Base-T Ethernet وهو منافس بشكل معقول مع Fast Ethernet. تعتمد نماذج IEEE 802.11 على ترددات راديو مختلفة، تقع في S-Band و C-Band. هذه النطاقات (Band) خالية بشكل عام من الترخيص، بشرط أن تكون الأجهزة منخفضة الطاقة. حيث يمكن أن تعمل أجهزة تقنيات IEEE 802.11 في 2.4GHz أو 5GHz، وحديثاً في 60GHz. بالنسبة للمنتجات الأحدث بناءً على معيار a802.11، ستسمح WECA باستخدام علامة Wi-Fi5. يعكس الرقم "5" حقيقة أن منتجات 802.11a تستخدم تعتمد على نطاق 5GHz.

Year	Version	Frequency	Data Rate
1997	802.11	2.4 GHz	2 Mbps
1999	802.11a	5 GHz	54 Mbps
1999	802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
2003	802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
2009	802.11n	2.4 GHz – 5 GHz	600 Mbps
2013	802.11ac	5 GHz	1 Gbps
2012	802.11ad	2.4 GHz – 5 GHz	3.47 Gbps
2019	802.11ax	2.4 GHz – 5 GHz	10 Gbps

كما وضحنا مسبقاً (تحديداً الفصل الثالث – الجزء النظري الثاني)، أتبعت منظمة IEEE نفس النمط وقامت بتقسيم طبقة Data-Link Layer إلى طبقتين فرعتين هما:

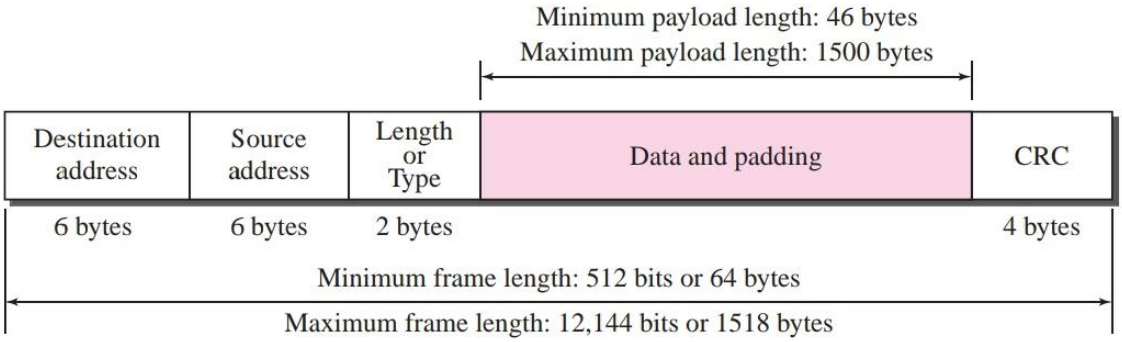
- طبقة LLC: تهتم بتقديم خدمات أعلى لطبقة Network Layer، وتُعتبر واجهة بين طبقة Data-Link Layer و Network Layer.
- طبقة MAC: تدير الوصول إلى روابط المشتركة، وتحدد كيفية تواصل الأجهزة عبر الرابط.

2.2 الفريم (Frame)

الفريم هو الوحدة الأساسية المستخدمة لنقل البيانات في الشبكات. في IEEE 802.11، تحتوي الفريمات على معلومات إضافية للتحكم في الوصول إلى الوسيط النقل.

طول الفريم

فرض Standard IEEE 802 قيوداً على الحد الأدنى والاقصى لطول الفريم (Length Frame). كما هو موضح في الشكل التالي:



الحد الأدنى لطول الفريم (Minimum Transmission Unit)

يكون الحد الأدنى لطول البيانات التي يمكن نقلها في فريم (frame) واحد هو 64-Byte؛ هذا الطول الأدنى ضروري لضمان أن الفريم يبقى على الشبكة لفترة كافية حتى يمكن اكتشاف أي تصادمات (Collisions) محتملة.

إذا كان الفريم أقصر من هذا الطول، قد لا يتمكن النظام من اكتشاف التصادم. يتضمن هذا الطول على Haeder و Trailer. إذا حسابنا 18-Byte لهما فإن الحد الأدنى لطول البيانات الفعلي (من طبقات العليا) هو 44-Byte.

ضع في اعتبارك إذا كان طول البيانات القادمة من طبقات العليا أقل 44-Byte فسيتم وضع Padding ليتوافق مع الحد الأدنى. يتم تسليم الفريم البيانات المضاف إلى البروتوكول العلوي كما هو (دون إزالة الحشوة)، مما يعني أن مسؤولية إزالة الحشوة تقع على عاتق الطبقة العليا.

الحد الأدنى لطول الفريم (Maximum Transmission Unit)

يرمز لها اختصاراً بـ MTU، الحد الاقصى لحجم البيانات التي يمكن نقلها في فريم (frame) واحد هو 1518-Byte. حيث إذا طرحنا 18-Byte لكلاً من Header و Trailer فإن الحد الاقصى لطول البيانات الفعلي (من طبقات العليا) هو 1500-Byte.

2.3 وسيط الاتصال اللاسلكي

في الشبكات اللاسلكية، يتم استخدام إشارات بترددات محددة (قنوات) لإرسال واستقبال البيانات بين الأجهزة المختلفة. تستخدم تقنية Wi-Fi ترددات في نطاق (Band) إما GHz2.4 أو GHz5، وحديثاً بدء الاتجاه الى استخدام GHz 60؛ وذلك اعتمادا على IEEE Standers. يتم تقسيم كل نطاق (Band) لمجموعة من القنوات (Channels)، يمكن أن تعمل الخلية BSS على أحد هذه القنوات. بعض IEEE Standers يدعم أكثر من نطاق (Band) من اجل التوافق مع المعايير السابقة. يوضح الجدول التالي IEEE Standers مع Band المستخدمة:

Version	Frequency	Backwards Compatibility	Max Areas
802.11	2.4 GHz	-	Middle (20-30m)
802.11a	5 GHz	-	Shorter (15-20m)
802.11b	2.4 GHz	-	Good (30-45m)
802.11g	2.4 GHz	802.11b	Good (30-45m)
802.11n	2.4 GHz – 5 GHz	802.11a/b/g	Good (30-45m)
802.11ac	5 GHz	802.11a/n	Very Good (50-70m)
802.11ad	2.4 GHz – 5 GHz	802.11a/b/g/n/ac	Good
802.11ax	2.4 GHz – 5 GHz	802.11a/b/g/n/ac/ax	Very Shorter (less 15m)

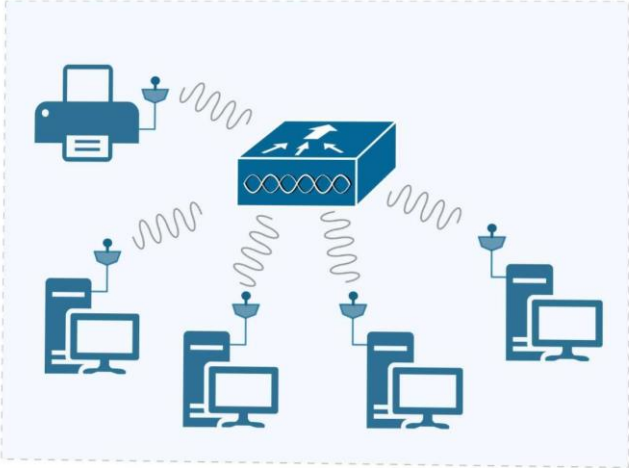
2.4 تقنية Standard Wi-Fi

نسمي تقنية Original Wi-Fi التي تتمتع بمعدل بيانات قدره 2-Mbps باسم Standard Wi-Fi. أصبح الآن Standard Ethernet الذي يأتي بمعدل بيانات 2-Mbps من الماضي، لكننا نناقش بإيجاز خصائصه لتمهيد الطريق لفهم إصدارات Wi-Fi الأخرى. ضع في اعتبارك أننا سنتطرق للفريم في طبقة الثانية (طبقة Data-link Layer) بمزيد من تفاصيل، لكن هنا سنقدم نظرة بإيجاز عنه.

2.4.1 اوضاع تشغيل (Oprtions Mode)

الوضع Infrastructure

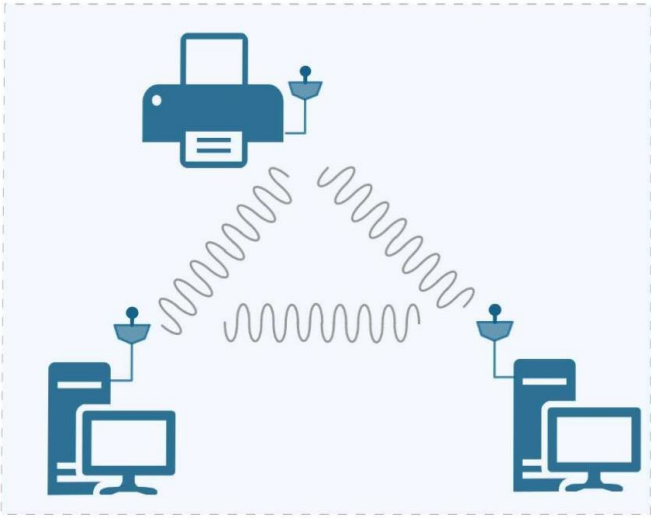
في هذا الوضع، تتصل جميع أجهزة المستخدمين الموجودة على الشبكة من خلال نقطة وصول مركزية، بشكل عام يمكن تشبيهها بـ Wireless Switch – ويطلق عليها Acees Point. يوضح شكل أدناه هذا النموذج.



كما ترى، تتصل أجهزة المستخدمين بالشبكة من خلال جهاز مركزي (AP)، الآن نفترض أحد المستخدمين يريد ارسال البيانات لجهاز مستخدم أخر على نفس الشبكة المحلية اللاسلكية، كما يظهر من شكل اعلاه، جميع اجهزة المستخدمين تتصل بجهاز مركزي (AP)، بالتالي لا يمكنهم التواصل بشكل مباشر. بدلاً من ذلك، فهم يتواصلون بشكل غير مباشر من خلال جهاز Acees Point. بحيث يرسلون البيانات إلى جهاز AP ثم يقوم جهاز AP بإرسال البيانات مرة أخرى إلى الطرف الآخر.

الوضع Independent

يُعرف أيضًا بـ Ad-hoc mode. لا يتطلب هذا الوضع وجود نقطة وصول مركزية. بدلاً من ذلك، تتصل أجهزة المستخدمين الموجودة على الشبكة اللاسلكية ببعضها البعض مباشرةً. يوضح شكل أدناه هذا النموذج.



إذا قمت بإعداد جهازي لابتوب للعمل في هذا الوضع، فسيتصلان مباشرة ببعضهما البعض دون الحاجة إلى نقطة وصول مركزية.

نستنتج المميزات لكلا الوضعين:

- في Independent Mode هناك قيود على المسافة بين أجهزة المستخدمين، لكن في Infrastructur Mode لا يوجد قيود ظلما انها في متناول نقطة الوصول
- في Independent Mode توفر اتصال مباشر بين أجهزة المستخدمين مما يزيد من سرعة النقل، ولكن على حساب زيادة تعقيد الطبقة المادية لأن كل جهاز جهاز ستحتاج إلى الحفاظ على علاقات الجوار مع جميع أجهزة المستخدمين الأخرى داخل منطقة. في Infrastructure Mode لا تعقيد لأن أجهزة المستخدمين تتصل فقط بنقطة الوصول.

في Independent Mode لا يمكن لأجهزة المستخدمين، الدخول في وضع توفير الطاقة وإلا تفقد علاقة الجوار، لكن في Infrastructur Mode يمكن لأجهزة المستخدمين، الدخول في وضع توفير الطاقة بحيث يمكنها إيقاف تشغيل جهاز الإرسال والاستقبال اللاسلكي وتشغيله فقط عندما تريد نقل واسترداد البيانات من نقطة الوصول.

يتم تشغيل شبكات المحلية لاسلكية المبنية على معمارية 802.11 غالباً في وضع Infrastructure؛ بناءً عليه سنركز في شرح التالي على هذه المعمارية، بمعنى المفاهيم التي سيتم تقديمها ستكون كلها مبنية على وضع Infrastructure.

2.4.2 طريقة الوصول (Access Method)

في IEEE 802.11 Standard يعرّف برتوكول CSMA/CA كطريقة وصول لشبكة Traditional Ethernet. يمكن توصيل الأجهزة الموجودة على شبكة Traditional Ethernet معًا باستخدام Star Topology، نشرح آلية عمل CSMA/CD بالنقاط التالية:

عملية Request To sensed

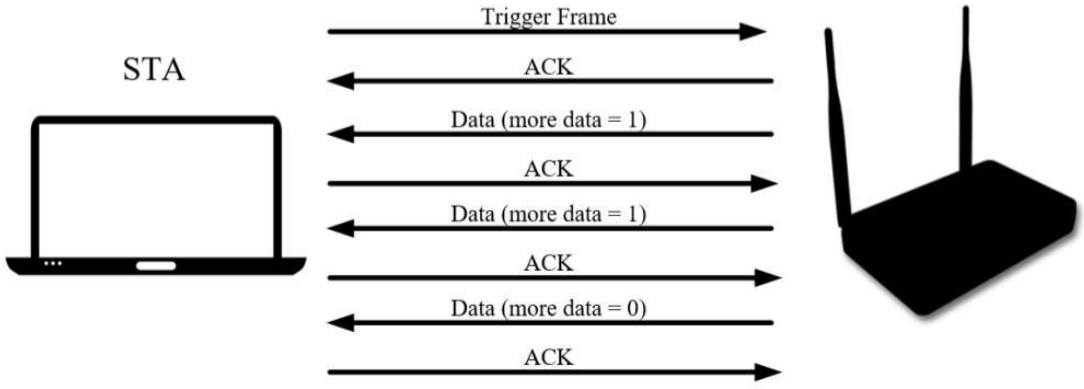
هي إرسال طلب بواسطة جهاز STA الذي يريد الاتصال بجهاز AP. بعد ذلك يقوم جهاز AP بمزامنة (Synchronize) موارده؛ لمعرفة هل يوجد امكانية لاحتواء هذا الاتصال، إذا كان نعم فيتم تخصيص (Allocate) موارد لهذا الجهاز ليتم الاتصال معه.

عملية Clear To sensed

هي عملية الرد على الطلب بواسطة جهاز AP الى جهاز STA؛ بحيث يسمح له بالاتصال أو الانتظار أو رفض. اذا تم سماح له بالاتصال، فيتم تحديد مدة معينة يسمح فيها لجهاز المستخدم بحجز الوسيط اللاسلكي خلال هذه الفترة لارسال البيانات، عند انتهاء المدة يتم انتهاء الاتصال والسماح لغيره بارسال البيانات.

تصوّر سيناريو (CSMA/CA)

في البداية، يقوم المرسل بعملية Request To Sensed، إذا كان جهاز AP خاملاً؛ يتم حجز له مدة زمنية يسمح له فيه بإرسال بياناته على الوسط الناقل من خلال الرد عليه بعملية Clear To sensed؛ والتي تضمن أن جهاز AP قد خصص موارده لمدة معينة لهذا الاتصال. لنفترض تم سماح لجهاز باستخدام الوسط الناقل لإرسال البيانات، في 802.11 كلما يتم ارسال فريم (Frame) يجب على طرف الاخر الرد عليه بـ ACK. فيما يلي شكل تسلسل الارسال.



هذا النوع من الاتصال يكون بشكل عام Half-Duplex؛ لا لكلا الجهازين ارسال واستقبال الفريمات في نفس الوقت. لتحقيق برتوكول CSMA/CA يتم تخصيص فريمات لهذه الوظيفة سنتعرف عليها لاحقاً. الآن في الشكل ادناه.

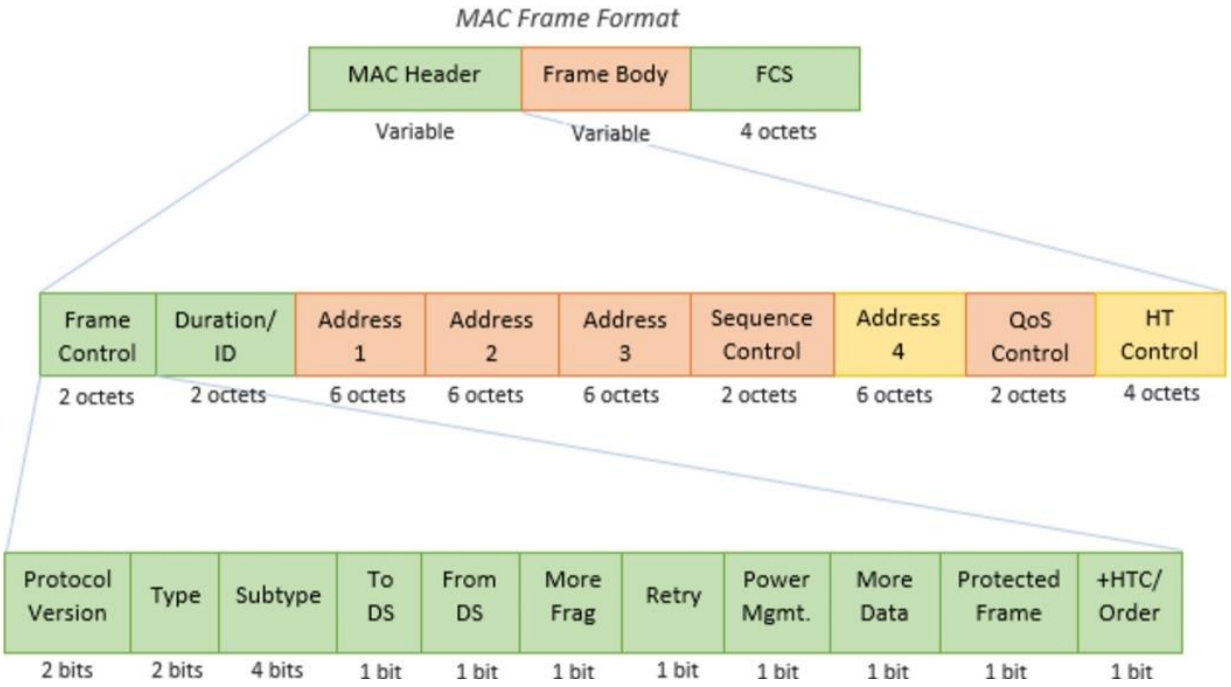
2.4.3 التنفيذ (Implementation)

حددت Standard Wi-F العديد من التطبيقات، ولكن أربعة منها فقط أصبحت شائعة خلال السنوات الأخيرة. يوضح الجدول التالي ملخصًا لتطبيقات Standard Wi-Fi.

Characteristics	*802.11a*	*802.11b*	*802.11g*	*802.11n*
Frequency	5GHz	2.4GHz	2.4GHz	5GHz،2.4GHz
Maximum Rate	54Mbpss	11Mbps	54Mbps	600Mbps

2.4.4 تنسيق الفريم

يوضح الشكل ادناه اقسام وحقول الفريم:



تنسيق الفريم في معيار IEEE 802.11 على مستويين: الأول على مستوى Physical Layer والثاني على مستوى Data-Link Layer. كما يظهر في الشكل أدناه.

على مستوى Physical Layer

في هذه الطبقة، يتم ملء بعض الحقول في الفريم، وهذه الحقول ليست جزءًا رسميًا من الفريم نفسه بل تُستخدم فقط للتهيئة والمزامنة. تتضمن هذه الحقول:

حقول Preamble PLCP

حجمها 7 بايت (144 بت) وتُستخدم لتنبيه المستلم وتحقيق مزامنة النظام قبل استلام الفريم القادم. يتضمن Preamble نوعين من الحقول:

حقل Synchronization

تتكون من 128 بت وتُستخدم لمزامنة الجهاز المستلم (مثل STA) مع نقطة الوصول (AP). منها 56 بت للمزامنة القصيرة و 72 بت للمزامنة الطويلة.

حقل Start Frame Delimiter

تتكون من 16 بت وتُعلن بداية الفريم. يُعتبر هذا الحقل بمثابة علامة تُنبه المحطات بأن الفرصة الأخيرة للمزامنة قد حانت، وأن الفريم القادم هو فريم بيانات.

حقول PLCP Header

يختلف PLCP Header باختلاف نوع الفريم، مثل فريمات Management أو Data. فيما يلي تلخيص لأهم الحقول التي يتضمنها PLCP Header:

حقل Signal
يتكون من 8 بت ويُستخدم للإشارة إلى قوة الإشارة المرسلة. يساعد هذا الحقل في تقييم جودة الاتصال وتحديد مدى فعالية الإرسال.

حقل Service
يتكون من 8 بت ويحتوي على معلومات إضافية حول نوع الخدمة أو المعالجة المطلوبة للفريم، لكنه غير مستخدم حالياً في بعض الفريمات.

حقل Length
يتكون من 16 بت ويُحدد طول البيانات المرسلة في الفريم، مما يساعد في تحديد نهاية الفريم. هذا الحقل أساسي لتحديد حجم البيانات التي يجب معالجتها أو استلامها.

حقل Cyclic Redundancy Code
يتكون من 16 بت ويُستخدم لاكتشاف الأخطاء التي قد تحدث في MAC Header. يساعد هذا الحقل في ضمان أن الفريم قد تم نقله بدون أخطاء، حيث يتم حساب CRC للتحقق من صحة البيانات المستلمة.

على مستوى Data-Link Layer
يتكون فريم IEEE 802.11 على مستوى Data-Link Layer من ثلاثة أجزاء رئيسية:

أولا جزء Header
يتضمن الـ Header جميع الحقول الأساسية التي تحدد شكل ووظيفة الفريم. يتكون الـ Header من عدة حقول رئيسية، منها حقول العنونة وحقول التحكم:

حقول Frame Control
يتكون حقول Frame Control من 16 بت ويحدد نوع الفريم وطريقة معالجته. يتضمن الحقل تقسيمات فرعية كما يلي:

حقل Protocol Version
طوله 2 بت، يُشير إلى الإصدار المستخدم من بروتوكول IEEE 802.11. القيم الممكنة:
- 00: الإصدار الأساسي (Legacy)
- 01: إصدار 802.11a
- 10: إصدار 802.11b
- 11: إصدار 802.11g

حقل Type
طوله 2 بت، يُستخدم لتحديد نوع الفريم. القيم الممكنة:
- 00: Management Frame (إدارة الشبكة)
- 01: Control Frame (التحكم في تدفق البيانات)
- 10: Data Frame (نقل البيانات)
- 11: محجور للاستخدام المستقبلي.

حقل Subtype
طوله 4 بت، يُستخدم لتحديد النوع الفرعي للفريم. يختلف بناءً على نوع الاساسي للفريم، هذا يسمح بتحديد الوظائف الفرعية داخل كل نوع.

الحقل To DS
طوله 1 بت، يُستخدم لتحديد ما إذا كان الفريم موجهًا إلى نظام Syste Distribution أم لا. القيم الممكنة لهذا الحقل:
- القيمة 0 الفريم ليس موجهًا إلى نظام توزيع، مما يُعني أن الفريم يتم إرساله من جهاز عميل إلى جهاز عميل آخر مباشرة (Peer-to-Peer) وليس عبر AP – نستنتج أن وضع سيكون Ad Hoc. على سبيل المثال،
- القيمة 1: الفريم موجه إلى نظام توزيع، مما يُعني أن الفريم يتم إرساله إلى نقطة الوصول (AP) ليتم توزيعه إلى وجهة أخرى عبر الشبكة - نستنتج أن وضع سيكون infcestacte.

حقل From DS

طوله 1 بت، يُستخدم هذا الحقل لتحديد ما إذا كان الفريم قادمًا من نظام Distribution System أم لا. إلى ما إذا كان الفريم قد تم استقباله من AP أو من جهاز عميل آخر. القيم الممكنة لهذا الحقل

- القيمة 0 الفريم ليس قادم من نظام توزيع، مما يُعني أن الفريم يتم إرساله من جهاز عميل إلى جهاز عميل آخر مباشرة (Peer-to-Peer) وليس عبر AP – نستنتج أن وضع سيكون Ad Hoc.
- القيمة 1: الفريم قادم من نظام توزيع، مما يُعني أن الفريم يتم إرساله إلى نقطة الوصول (AP) ليتم توزيعه إلى وجهة أخرى عبر الشبكة - نستننج أن وضع سيكون infcestacte.

حقل More Fragments

طوله 1 بت، يُستخدم هذا الحقل للإشارة إلى ما إذا كانت هناك فريمات إضافية مرتبطة بالفريم الحالي. بالتالي يشير إلى ما إذا كان الفريم الحالي هو آخر فريم في مجموعة من الفريمات المرسلة. القيم الممكنة لهذا الحقل:

- القيمة 0: لا توجد فريمات إضافية، يُعني أن الفريم الحالي هو آخر فريم في السلسلة، ولا توجد فريمات أخرى مرتبطة به.
- القيمة 1: يوجد فريمات إضافية. يُعني أن الفريم الحالي هو جزء من سلسلة، وأن هناك فريمات إضافية ستتبع هذا الفريم.

كما في IEEE 802.3 قد يحدث للفريم الذي سينتقل عبر شبكة عملية Fragmentation خاصة عندما تتجاوز البيانات حجم الفريم المسموح به. في هذه الحالة، يُستخدم حقل More Fragments للإشارة إلى ما إذا كانت هناك فريمات إضافية.

حقل Retry

طوله 1 بت، يُستخدم هذا الحقل للإشارة إلى ما إذا كان الفريم الحالي هو إعادة إرسال لفريم سابق. بالتالي يُشير إلى ما إذا كانت الفريم قد تم إرسالها مرة أخرى بعد فشل الاستلام أو عدم التأكيد على الاستلام. القيم الممكنة لهءا الحقل:

- القيمة 0: ليس إعادة إرسال، يُعني أن الفريم الحالي هو الفريم الأصلي الذي يُرسل للمرة الأولى.
- القيمة 1: إعادة إرسال، يُعني أن الفريم الحالي هو إعادة إرسال لفريم سابق، وغالبًا ما يحدث ذلك إذا لم يتلقَ المرسل تأكيد استلام (ACK) للفريم السابق.

حقل Power Management

طوله 1 بت، يُستخدم هذا الحقل للإشارة إلى حالة إدارة الطاقة للجهاز المرسل. بالتالي يُشير إلى ما إذا كان الجهاز في وضع توفير الطاقة أو في وضع التشغيل العادي. القيم الممكنة:

- القيمة 0: وضع التشغيل العادي، يُعني أن الجهاز في وضع التشغيل العادي ويعمل بشكل كامل.
- القيمة 1: وضع توفير الطاقة، يُعني أن الجهاز في وضع توفير الطاقة، مما يعني أنه قد يقوم بإيقاف تشغيل بعض المكونات لتقليل استهلاك الطاقة.

في جهاز AP لن يصبح في وضع توفير طاقة؛ لأن شبكة قائمة عليه؛ وبالتالي جميع الفريمات التي تكون خارجة من جهاز AP سيكون قيمة هذه الحقل 0.

الحقل More Data

يُستخدم للإشارة إلى ما إذا كان هناك المزيد من البيانات المتاحة لإرسالها إلى جهاز عميل معين. يتكون هذا الحقل من 1 بت ويُعتبر جزءًا من عملية إدارة البيانات في الشبكات اللاسلكية. حيث يُشير إلى ما إذا كانت هناك فريمات إضافية مرتبطة بالفريم الحالي. هذا يُساعد الأجهزة في معرفة ما إذا كان يجب عليها الاستمرار في انتظار المزيد من البيانات. القيم الممكنة لهذا الحقل

- القيمة 0: لا توجد بيانات إضافية، يُعني أن الفريم الحالي هو آخر فريم في سلسلة البيانات، ولا توجد فريمات إضافية سيتم إرسالها.
- القيمة 1: يوجد المزيد من البيانات، يُعني أن هناك فريمات إضافية ستتبع هذا الفريم، مما يُشير إلى أن الجهاز المستلم يجب أن يستعد لاستقبال المزيد من البيانات.

هذه الحقل له اهمية في تخزين الفريمات المتلقاة في نظام DS؛ في حالة كان هناك جهاز وسيط يستقبل البيانات من المرسل ويقوم بإعادة ارسالها إلى الهدف سيلزمه تخزين البيانات في ذاكرة مؤقته بالترتيب الذي تم استقباله. وكذلك له اهمية في تحديد وقت وضع توفير الطاقة؛ على افتراض أنه لا يوجد المزيد من البيانات فسيقوم الجهاز بتفعيل وضع توفير الطاقة إما اذا كان هناك المزيد من البيانات لن يقوم بتفعيل وضع توفير الطاقة.

الحقل Protected

طوله 1 بت، يحدد ما إذا كان تم استخدام خوارزمية تشفير للحماية.
- القيمة 1 تدل على أنه تم استخدام خوارزمية تشفير مثل WEP أو WPA أو WPA2.
- القيمة 0 تدل على انه لا يتم تشفير البيانات.

الحقل Order
تتكون من 1 بت، يحدد ما إذا كانت البيانات مرتبة.
- القيمة 1 تدل على انه تم استخدام طريقة معينة لترتيب البيانات ويجب معالجتها بهذا الترتيب؛ وذلك حسب البرتوكولات المستخدمة.
- القيمة 0 تدل على انه لا يوجد ترتيب للبيانات.

حقول العنونة (Address Fields)
يتضمن الفريم أيضًا حقول العنونة، وهي ضرورية لتوجيه الفريم بين الأجهزة داخل الشبكة. تشمل:
- عنوان Source Address – طوله 6 بت.
- عنوان Destination Address – طوله 6 بت.
- عنوان BSSID – طوله 6 بت.
- عنوان Receiver Address (في حالة معينة) – طوله 6 بت.

باقي الحقول
حقل DurationID
يُستخدم للإشارة إلى المدة الزمنية المخصصة لفريم معين. يُعتبر هذا الحقل مهمًا في إدارة تدفق البيانات في الشبكة اللاسلكية. يُشير حقل إلى المدة الزمنية التي يُسمح فيها للفريم بالبقاء في الشبكة قبل أن يُعتبر غير صالح أو يحتاج إلى إعادة الإرسال.

يتكون الحقل عادةً من 16 بت، مما يسمح بتحديد مدة تصل إلى 65535 ميلي ثانية (حوالي 65.5 ثانية). القيمة تُحدد بناءً على متطلبات التطبيق أو البروتوكول في سياق نقل البيانات.

الحقل QoS Control
يتكون هذا الحقل من 16 بت، هذا الحقل اختياري يستخدم لتحديد الأولوية للفريم. وتم استخدامها فقط مع 802.11e.

ثانيا الجزء Payload
يُعتبر Payload الجزء الذي يحتوي على البيانات الفعلية المرسلة بين الأجهزة. في فريمات Data، يتضمن Payload البيانات التي يرسلها جهاز إلى جهاز آخر، سواء كانت رسالة نصية، ملفًا، أو طلبًا (مثل طلب قهوة في المقهى).

ثالثاً الجزء Trailer
يتكون عادة من FCS (Frame Check Sequence) الذي يُستخدم للتحقق من تكامل البيانات. هذا الجزء يتضمن 32 بت، ويقوم الجهاز المستقبل بحساب FCS له ومقارنته بالقيمة التي يحتويها الفريم. إذا كانت القيم متطابقة، يُعتبر الفريم صالحًا ولم يتعرض للتلف أثناء الإرسال.

في هذا السيناريو، يعتمد طاقم المقهى على نظام شبكة لاسلكية لإدارة الطلبات. عندما يطلب الزبون مشروبه أو وجبته، يقوم النادل بإدخال تفاصيل الطلب على جهازه اللوحي المتصل بشبكة Wi-Fi عبر جهاز AP. هذا الجهاز (BSS/AP) هي جزء من شبكة ESS تغطي كامل المقهى، ومبنية على تقنية IEEE 802.11g. يتم ربط بين BSS باستخدام شبكة إيثرنت التي تشكل جزءًا من نظام DS. يتم تأمين الشبكة باستخدام بروتوكول WPA2 لحماية البيانات أثناء الإرسال.

عند إدخال النادل لطلب أحد الزبائن عبر جهازه اللوحي، يُرسل الطلب من خلال AP متصلة بهذا الجهاز. هذا الطلب يحتاج للوصول إلى جهاز إدارة المطبخ، والذي يعمل من خلال AP مختلفة على نفس ESS، لذلك يُرسل عبر شبكة إيثرنت.

الآن يقوم النادل بإدخال طلب زبون، حجم هذا الطلب كبير، حيث يحتوي على تفاصيل عديدة كالطعام والشراب المطلوبين، وقد يتجاوز حجم البيانات الحد المسموح به لفريم IEEE 802.11g (حوالي 2346 بايت). لذا، يجب تقسيم الفريمات وإرسالها عبر عدة أجزاء. فيما يلي سير العملية الكاملة لنقل الفريمات:

1. يقوم الجهاز اللوحي للجرسون بإعداد الطلب لكن حجم طلب أكبر من حد المسموح به.
2. الجهاز اللوحي للجرسون يقوم بتقسيم الطلب إلى فريمات (Fragments) اقل حجماً من خلال عملية Fragmentation.

3. يقوم الجهاز اللوحي للجرسون بإرسال كل فريم (Fragment) إلى جهاز AP المتصل به.
4. يستلم جهاز AP هذه الفريمات ومن ثم تقوم بتمريرها عبر شبكة الإيثرنت (DS) إلى جهاز AP المتصلة بجهاز إدارة المطبخ.
5. جهاز إدارة المطبخ يقوم بتجميع الفريمات (Fragment) بناءً على الحقول Fragment Number و Sequence Control لإعادة بناء الطلب بشكل كامل.
6. التحقق من صحة الفريمات: يتم فحص حقل FCS في كل فريم للتأكد من سلامة البيانات.
7. يقوم جهاز المطبخ برد على جهاز الجرسون بنجاح استلام الفريمات.

بهذا نجحت عملية نقل الطلبات من جهاز اللوحي للنادل إلى جهاز إدارة المطبخ، مع ضمان أمان البيانات بفضل WPA2، وإعادة تجميع الطلب الكامل بعد تجزئته.

فيما يلي قيمة الحقول في فريم IEEE 802.11 للفريمات المرسلة:

الرقم	الحقل	القيمة	الوصف
1	Type	00	هذا يدل على أن الفريم من نوع Data Frame.
2	Subtype	1000	هذا يدل على أن الفريم هو من نوع "بيانات" (Data Frame) بدون طلب خاص.
3	ToDS	1	هذا يدل على أن الفريم متجه من الجهاز اللوحي إلى نظام DS للوصول إلى AP المطبخ.
4	FromDS	0	هذا يدل على أن الفريم يبدأ من جهاز عميل وليس من AP.
5	More Fragments	1	هذا يدل على أن الفريم بحاجة إلى تجزئة بسبب كبر حجمه.
6	Retry	0	هذا يدل على أن الفريم لا يمثل فريمًا تم إرساله مسبقًا، فهذه هي المحاولة الأولى.
7	Power Management	0	هذا يدل على أن الجهاز اللوحي متصل بالشبكة طوال الوقت ولا يلزمه وضع توفير الطاقة.
8	More Data	1	هذا يدل على أنه يوجد المزيد من البيانات سيتم ارسالها بعد هذا الفريم.
9	Order	-	غير مفعّل في هذا السياق، حيث أن الفريمات لا تتطلب تسلسلًا محددًا معقدًا.
10	Address 1	-	عنوان MAC لنقطة الوصول AP التي يتصل بها الجهاز اللوحي.
11	Address 2	-	عنوان MAC الخاص بالجهاز اللوحي (مرسل الطلب).
12	Address 3	-	عنوان MAC الخاص بجهاز إدارة المطبخ (الوجهة النهائية).
13	Address 4	-	غير مستخدم في هذا السيناريو، لأن التنقل يتم عبر نقطة وصول واحدة.
14	Sequence Control	1	يُستخدم لترتيب الفريمات بحيث يتمكن جهاز المطبخ من تجميع أجزاء الطلب بالترتيب الصحيح. وستكون القيم تسلسلية.
15	QoS Control	-	قد يكون غير مفعّل، لأنه لا توجد حاجة لأولوية خاصة ضمن شبكة داخلية.

جزء Payload

يحتوي على تفاصيل الطلب: أنواع الأطعمة والمشروبات المطلوبة، والكميات، وأي تعليمات خاصة. يتم تقسيم Payload إلى أجزاء إذا تجاوز حجم الطلب الحد الأقصى للفريم، ويقوم كل فريم بحمل جزء منه باستخدام رقم "Fragment Number" للتمييز.

جزء Trailer

يتضمن على حقل FCS يستخدم للتحقق من سلامة البيانات، بحيث يتم التأكد من أن البيانات لم تتعرض للتلف أثناء النقل.

2.4.2 انواع الفريم

في IEEE 802.11، هناك عدة أنواع من الفريمات التي تُستخدم. قبل أن نتعرف على هذه الأنواع، سنعرض سيناريو يوضح كيفية عمل هذه الفريمات في شبكة Wi-Fi.

سيناريو:
مستخدم جالس في مقهى ويريد الاتصال بشبكة Wi-Fi. الشبكة تعتمد على نوع مصادقة PSK (Pre-Shared Key)، ومعروفة باسم "Cafe_WiFi".

اولا// النوع Management Frames

تتيح هذه الفريمات في المحافظة على الاتصال (Maintenance) وقطع الاتصال (Discontinuance). بمعنى اخر تدير الاتصالات على الشبكة، مثلاً اسمح لهذا الجهاز بالاتصال أو امنعه أو اعد الاتصال به، أو اقطع الاتصال معه.

يوجد من هذا النوع من الفريم عدة تصنيفات:

فريمات Beacon

تعتبر فريمات Beacon أساسية لإعلان وجود شبكة Wi-Fi. يتم إرسال فريمات Beacon بشكل دوري من نقطة الوصول (AP) للإعلان عن وجود الشبكة ومعلوماتها مثل (اسم الشبكة - عنوان MAC - نوع الأمان – السرعات المدعومة – القناة المستخدمة). فريم Beacon يُستخدم بشكل رئيسي من نقطة الوصول (AP)، ولا يتم عادةً إرساله من قبل STA (الجهاز المتصل بالشبكة).

في هذا السيناريو، يقوم جهاز AP في المقهى ببث فريم Beacon للإعلان عن شبكة "Cafe_WiFi". يقوم المستخدم بتفعيل Wi-Fi على هاتفه الذكي والبحث عن الشبكات المتاحة، حيث تظهر شبكة "Cafe_WiFi" في قائمة الشبكات المتاحة.

فريمات Authentication Request/Response

بعد اختيار الشبكة، يقوم جهاز STA بإرسال فريم Authentication Request إلى نقطة الوصول AP للتحقق من الهوية باستخدام بيانات الاعتماد المقدمة. إذا كانت المصادقة ناجحة، يرسل جهاز AP فريم Authentication Response يوافق على الاتصال. دائماً الذي يبدء المصادقة هو جهاز STA (الجهاز المتصل بالشبكة).

بالرجوع للسيناريو، الآن يختار المستخدم شبكة المقهى المعروفة باسم "Cafe_WiFi". بعد اختيار الشبكة، تظهر للمستخدم نافذة تطلب إدخال كلمة المرور. المستخدم يعرف الكلمة ويقوم بإدخالها. عند الضغط على "اتصال"، يقوم الهاتف الذكي (STA) بإرسال فريم Authentication إلى نقطة الوصول (AP) الخاصة بالشبكة. يتلقى جهاز AP طلب المصادقة. يتحقق منه من خلال مقارنة كلمة المرور المدخلة بالمفتاح المشترك المخزن لديها. إذا كانت كلمة المرور صحيحة، يرسل جهاز AP فريم استجابة تؤكد نجاح المصادقة. إذا كانت كلمة المرور خاطئة، ترسل فريم استجابة تفيد بالفشل.

فريمات Association Request/Response

بعد نجاح المصادقة، يقوم جهاز STA بإرسال فريم Association Request إلى جهاز AP للانضمام إلى الشبكة. إذا كانت هناك موارد متاحة، يرد جهاز AP بفريم Association Response ليؤكد الانضمام. وقد يتم رفض الطلب بسبب اكتمال عدد الأجهزة التي يمكنها الاتصال، أو أنه لا يلبي معايير الأمان الموضوعة.

في السيناريو، بعد المصادقة الناجحة، يرسل جهاز الهاتف الذكي (STA) فريم Association Request، وعندما يتلقى جهاز AP الطلب ويوافق عليه، يرد بفريم Association Response. يصبح جهاز STA الآن مرتبطًا بالشبكة ويمكنه تصفح الإنترنت. يلخص شكل التالي هذا السيناريو:

فريم De-authentication Frame

تُستخدم فريمات De-authentication لإلغاء المصادقة بين جهاز STA ونقطة الوصول AP. عندما يتم إرسال فريم De-authentication، يتم قطع الاتصال بشكل نهائي. على سبيل المثال، عندما يقوم مستخدم بحذف شبكة، او عندما يتم تغير اعدادات المصادقة (مثل تغير كلمة سر). فريم De-authentication يُستخدم بشكل رئيسي من نقطة الوصول (AP)، ولا يتم عادةً إرساله من قبل STA (الجهاز المتصل بالشبكة).

بالرجوع السيناريو: قامت إدارة المقهى بتغيير كلمة مرور شبكة Wi-Fi بشكل مفاجئ لأسباب أمنية، مثل منع الأجهزة التي قد تكون متصلة باستخدام كلمة مرور قديمة. بعد تغيير كلمة المرور، تقوم نقطة الوصول (AP) بإرسال فريم De-authentication إلى الأجهزة المتصلة حالياً (مثل هواتف الزبائن) لتصفية أي اتصالات قديمة أو غير مصرح بها باستخدام

كلمة المرور القديمة. عندما يستقبل جهاز STA (الهاتف الذكي، مثلاً) فريم De-authentication، ينقطع الاتصال فوراً بنقطة الوصول ويصبح الجهاز غير مصادق عليه، لأنه لم يعد لديه كلمة مرور صحيحة للاتصال.

فريم De-association

تُستخدم فريمات De-association لإنهاء الارتباط بين جهاز STA ونقطة الوصول AP. عند إرسال فريم De-association، يتم قطع الاتصال مؤقتًا مع الاحتفاظ بالمصادقة، مما يسهل إعادة الاتصال في المستقبل. فريم De-association يُستخدم بشكل رئيسي من نقطة الوصول (AP)، ولا يتم عادةً إرساله من قبل STA (الجهاز المتصل بالشبكة).

بالرجوع للسيناريو، ستخدم في مقهى متصل بشبكة Wi-Fi الخاصة بالمقهى. بعد فترة من الاستخدام، يقرر مغادرة المقهى في هذه الحالة، نقطة الوصول (AP) في المقهى قد تلاحظ أن الجهاز (STA) لم يعد في نطاق الشبكة أو أن الاتصال أصبح غير نشط. للحفاظ على موارد الشبكة وضمان عدم وجود اتصال غير مرغوب فيه أو مُعلق، تقوم نقطة الوصول (AP) بإرسال فريم De-association إلى الجهاز (STA) لإنهاء الاتصال بين الجهاز ونقطة الوصول.

فريمات Re-association Request/Response

تُستخدم فريمات Re-association Request و Re-association Response عندما يحتاج جهاز STA إلى إعادة الاتصال بشبكة بعد فقدان الاتصال، سواء بسبب التحرك إلى نقطة وصول أخرى أو إعادة الاتصال بنفس نقطة الوصول.

في السيناريو، إذا غادر المستخدم نطاق الشبكة ثم عاد، يقوم جهازه بإرسال فريم Re-association Request إلى AP لاستعادة الاتصال. إذا تم قبول الطلب، يرد جهاز AP بفريم Re-association Response.

فريمات Probe Response/Request

تُستخدم في اكتشاف الشبكات المتاحة. هذه الفريمات تساعد المحطات (STA) في العثور على نقاط الوصول (AP) التي يمكن الاتصال بها. فريم Probe Request يُستخدم لإرسال طلب استكشاف من جهاز STA إلى نقاط الوصول القريبة لكشف الشبكات المتاحة. لا يتوقع Probe Request تأكيدًا من APs؛ حيث يُرسل كإشارة Broadcast لتصل إلى جميع APs القريبة. فريم Probe Response يُستخدم للرد على طلب Probe Request المرسل من جهاز STA؛ حيث يُرسل Probe Response كإشارة unicast إلى جهاز STA الذي أرسل Probe Request، ويتوقع تأكيد استلام. يلخص الشكل التالي هذه العملية.

بالرجوع للسيناريو، مستخدم جالس في مقهى ويريد الاتصال بشبكة Wi-Fi، لكنه غير متأكد من الشبكات المتاحة. يفتح المستخدم تطبيق إعدادات Wi-Fi على هاتفه الذكي. يقوم الهاتف الذكي (STA) بإرسال فريم Probe Request إلى البيئة المحيطة. تستقبل جميع نقاط الوصول القريبة، مثل "Cafe_WiFi"، طلب Probe Request. يتلقى الهاتف الذكي فريمات Probe Response من نقاط الوصول القريبة. يقوم الهاتف بمعالجة المعلومات، ويعرض قائمة بالشبكات المتاحة على الشاشة. يرى المستخدم شبكة "Cafe_WiFi" ويختارها من القائمة. يلخص شكل التالي هذا سيناريو

فريمات Action

فريمات Action تُستخدم لأداء مهام خاصة تتعلق بإدارة الشبكة، مثل إعادة المصادقة أو إعادة الانضمام. يتم إرسال هذه الفريمات من AP للتحكم في سلوك الشبكة.

في السيناريو، قد يستخدم جهاز AP فريم Action لتنفيذ إجراءات معينة، مثل منع الأجهزة الأخرى من الاتصال بالشبكة في حالة حدوث ازدحام، ولكن لا يرسل STA فريمات Action بنفسه لتغيير إعدادات الشبكة.

ثانيًا: نوع Control Frames

تُستخدم Control Frames لإدارة وتنظيم حركة البيانات بين الأجهزة المتصلة في شبكة BSS (Basic Service Set). تساعد هذه الفريمات في التحكم في الوصول إلى الوسيط وتنسيق تبادل البيانات بين الأجهزة المتصلة بالشبكة. على سبيل المثال، يُستخدم بعضها لإبلاغ الأجهزة بتخصيص وقت معين للإرسال، ويتم تحديد هذا الوقت في Header Frame للفريم.

فريم RTS

هو طلب إرسال يُرسل من جهاز STA إلى نقطة الوصول (AP) لإعلامها أنه يرغب في إرسال بيانات. يتم إرسال هذا الفريم كإشارة Unicast إلى نقطة الوصول.

فريم CTS

هو رد من AP إلى جهاز STA لإعلامه بأنه يمكنه الآن إرسال البيانات. يُرسل هذا الفريم كإشارة Broadcast إلى جميع الأجهزة المتصلة بشبكة BSS. الفكرة هنا هي أن جميع الأجهزة المتصلة تتوقف عن إرسال البيانات فور تلقيها فريم CTS، مما يضمن أن جهاز STA المعني يمكنه إرسال بياناته بدون تصادم.

فريمات RTS/CTS تُستخدم كجزء من طريقة التحكم في الوصول إلى الوسيط CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)، وذلك بهدف منع التصادمات في الشبكة. حيث يتم تحديد فترة زمنية محددة (يتم تحديدها في Header الفريم) تُخصص لجهاز STA لإرسال بياناته بعد تلقي فريم CTS.

في السيناريو: كلما أراد مستخدم (STA) إرسال بيانات عبر شبكة Wi-Fi، يرسل أولًا فريم RTS إلى AP لطلب إذن للإرسال. إذا كانت نقطة الوصول AP متاحة، تقوم بالرد على الفريم RTS بإرسال فريم CTS إلى الجهاز (STA)، مما يعني أنه يمكنه بدء إرسال البيانات. في نفس الوقت، يقوم AP بإرسال فريم CTS كإشارة Broadcast لجميع الأجهزة الأخرى المتصلة في الشبكة لإعلامها بأنها يجب أن تنتظر وأن جهاز STA المعني هو الذي له الحق في الإرسال الآن. بمجرد أن يتلقى جهاز STA فريم CTS، يبدأ في إرسال البيانات عبر الشبكة. بعد أن ينتهي من إرسال البيانات، يمكن لمستخدم آخر إرسال البيانات باستخدام نفس العملية.

فريمات RTS و CTS تعملان معًا لضمان استخدام منظم وفعال للوسيط، حيث يتم تنسيق إرسال البيانات بين الأجهزة المتصلة. يتم إرسال RTS من جهاز STA إلى AP لطلب إذن بالإرسال، ثم يستجيب AP بفريم CTS يُسمح فيه للجهاز بالإرسال مع إعلام بقية الأجهزة في الشبكة بالتوقف مؤقتًا. لاحظ شكل التالي، يوضح كيف يقوم جهاز مستخدم بث اشارة RTS وكيف يرد جهاز ببث اشارة CTS:

ثالثاً: النوع Data/ACK Frame

فريم Data

هو الفريم المستخدم لنقل البيانات الفعلية بين المحطات (STA) أو بين محطة (STA) ونقطة الوصول (AP) في شبكة Wi-Fi. يتضمن هذا الفريم البيانات الفعلية التي يتم إرسالها، مثل رسائل أو طلبات أو أي نوع من البيانات الأخرى.

فريم ACK

هو فريم يُستخدم لتأكيد استلام فريمات Data. بعد أن تستلم المحطة (STA) أو نقطة الوصول (AP) فريم Data، تقوم بإرسال فريم ACK إلى المرسل لتأكيد أن البيانات قد تم استلامها بنجاح. يساعد هذا الفريم في ضمان موثوقية النقل في الشبكة عبر تأكيد الاستلام.

السيناريو: في مقهى، عندما يطلب أحد الزبائن القهوة والكيك، يقوم جرسون بكتابة تفاصيل الطلب على جهازه اللوحي المتصل بشبكة Wi-Fi الخاصة بالمقهى ثم يرسلها إلى إدارة المطبخ لتجهيز الطلب. لكن قبل أن يتم إرسال الطلب، يتم أولًا تنفيذ عملية RTS/CTS كما تم شرحه سابقًا، لتنسيق الوصول إلى الوسيط ومنع التصادمات بين الأجهزة.

بمجرد اكتمال عملية RTS/CTS، يقوم جهاز الجرسون (الذي يعمل كجهاز STA) بإرسال فريم Data يحتوي على تفاصيل طلب القهوة والكيك إلى جهاز المطبخ (الذي يعمل كجهاز STA آخر). عندما يستقبل جهاز المطبخ (الذي يمكن أن يكون جهاز حاسوب أو شاشة عرض ضخمة) فريم Data بنجاح، فإنه يكون قد تلقى تفاصيل الطلب من الجرسون. بعد استلام فريم Data بنجاح، يقوم جهاز المطبخ بإرسال فريم ACK إلى جهاز الجرسون لتأكيد أن البيانات قد تم استلامها بنجاح. جهاز الجرسون يستقبل فريم ACK، مما يعني أن المطبخ قد استلم الطلب بنجاح وهو جاهز لتنفيذه.

إذا لم يستلم جهاز الزبون فريم ACK في الوقت المحدد (قد يكون بسبب مشكلة في النقل أو فشل في الاستلام)، قد يفترض أن هناك مشكلة في الاتصال ويقوم جهاز الزبون بإعادة إرسال فريم Data مرة أخرى إلى جهاز المطبخ.

بالتالي فريم Data يُستخدم لنقل البيانات الفعلية بين الأجهزة المتصلة بالشبكة. بينما فريم ACK يُستخدم لتأكيد استلام البيانات بنجاح. تساعد فريمات Data و ACK في ضمان أن البيانات تم إرسالها واستلامها بشكل صحيح بين الأجهزة. إذا كان هناك أي فشل في النقل، يمكن للجهاز المرسل إعادة إرسال البيانات لضمان استلامها بشكل موثوق.

2.5 وضع Infrastructure

تعمل معظم شبكات Wi-Fi في هذا الوضع. حيث تتصل جميع أجهزة المستخدمين الموجودة على الشبكة من خلال نقطة وصول مركزية، بشكل عام يمكن تشبيهها بـ Wireless Switch.

2.5.1 مفهوم BSS

كل خلية تدعى Basic Service Set - يرمز لها اختصاراً BSS – تتكون هذه الخلية من المكونات التالية:

جهاز المستخدم (Stations)

يرمز له STA، تعرف أيضاً باسم Wireless Hosts، عبارة عن جهاز حاسوب يمكنه الاتصال بشبكة لاسلكياً. من الأمثلة عليه الهاتف الذكي، لابتوب، طباعة لاسلكية.

جهاز شبكة لاسلكي (Access Point)

يرمز له AP، تعرف أيضاً باسم Wireless Access Point، هو قلب الخلية BSS والذي يربط أجهزة المستخدمين لاسلكياً بشبكة المحلية من خلال تقنية Wi-Fi. ببساطة جهاز AP يحاكي جهاز Switch لكن بدلاً من توصيل الأجهزة سلكيا يقوم جهاز AP بتوصيلها لاسلكياً؛ بالتالي يمكن تشبيه كأنه Wireless Switch. في هذا النموذج، يُعتبر جهاز AP هو جهاز الإرسال والاستقبال المركزي الذي يربط الأجهزة ببعضها البعض.

معايير الخلية (BSS)، مثل مساحة التغطية وقوة الاشارة وسرعة نقل البيانات، يحددها جهاز AP الخاص بها والمعمارية التي يعمل تحتها. بالنسبة لجهاز المستخدم (STA) يمكن أن يتصل مع BSS واحدة فقط في كل مرة. يكون الانتقال بين BSS و STA تلقائي وذلك حسب قوة الإشارة مما يتيح للمستخدم الاتصال بأقرب خلية (BSS) تم الانضمام إليها مسبقاً.

يدعم جهاز AP عدد محدد من المستخدمين (STA)، يغطي مساحة جغرافية محدودة، يمكن أن يعمل اكثر من جهاز AP على نفس التردد (هذا يؤذي إلى تداخل). تتأثر الإشارة الخارجة من جهاز AP بعوامل البيئية والعوائق المادية، حيث كلما قلت مسافة زادت قوة الاشارة، أقوى إشارة تكون على نفس مستوى النظر (LOS).

أوضاع الخلية

قد تعمل الخلية (BSS) بأحد الاوضاع التالية:

- أولا Hotspot Mode: في هذا الوضع، يقوم جهاز AP بمشاركة الإنترنت مباشرة مع الأجهزة المتصلة به، حيث يتم الاتصال بالإنترنت عبر الشبكة اللاسلكية.
- ثانياً Client/Bridge Mode: في هذا الوضع، يتصل جهاز AP بشبكة سلكية، ويقوم بتوزيع خدمة الشبكة السلكية عبر الاتصال اللاسلكي.
- ثالثاً Extander Mode: يقوم جهاز AP بتقوية إشارة جهاز AP آخر عن طريق استقبال الإشارة وتقويتها ثم إعادة إرسالها.

خصائص الخلية

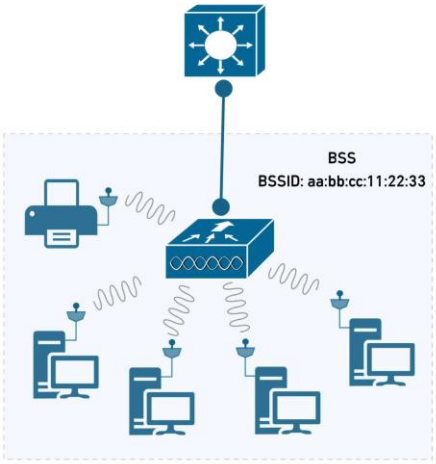
تقوم الخلية ببث اشارتها (Broadcast Signal) تحت مسمى معين يطلق عليه Service Set Identifier، هو الاسم المنطقي للشبكة ويتألف من كلمةٍ نصيةٍ قد يصل طولها حتى 32 حرفاً أو رقماً (وهي حساسةٌ لحالة الأحرف الكبيرة والصغيرة). يستخدم هذا المعرّف أثناء عمليّة الانضمام مع الشبكة اللاسلكية. بالتالي يمكن للمستخدمين الذين يحاولون الانضمام إلى شبكة مسح المنطقة بحثًا عن الشبكات المتاحة والانضمام إلى الشبكة باستخدام SSID محدد.

اسم SSID ليس فريد، قد تقوم خلية BSS بالإعلان عن اشارتها تحت نفس SSID؛ لذلك نحتاج لتعريف خلية BSS بشكل فريد؛ يتم ذلك من خلال BSSID. الـ Basic Service Set Identifier، هو رقم تعريفي ثنائي ويتكون من 48 بت، يمثل الخلية BSS بشكل فريد؛ يتكون BSSID من شقين:

- الشق الاول Organization Unique Identifier - يرمز لها OUI – تتكون من 24 بت يشير للشركة المصنعة.
- الشق الثاني Serial Number: يتكون من 24 بت يشير إلى ترقيم BSS في نفس المجال.

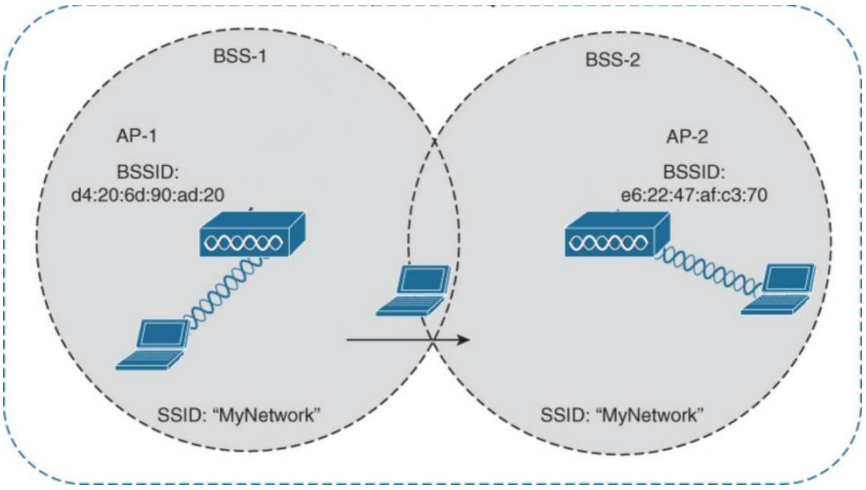
ملاحظة

جهاز Point Acssess جهاز AP لا يقوم بالعمل كـ DHCP Server، اليوم، أصبحت العديد من الأجهزة متعددة الأغراض، خاصة تلك الموجهة للمستخدمين العاديين، حيث تدمج بين وظائف Modem، و Router، و Switch، و Access Point، وغيرها. هذا الدمج قد يسبب لبسًا، حيث يظن البعض أن جهاز Access Point يقوم بتفعيل خدمة DHCP Service، بينما في الواقع هذه الوظيفة تُنفذ داخليًا عبر Router المدمج في الجهاز. فيما يلي شكل يوضح BSS ومكوناتها:



2.5.2 مفهوم ESS

قد تتكون الشبكة من خلية (BSS) واحدة أو أكثر؛ يتم دمج بين هذه الخلايا لتحقيق عملية Roaming؛ هي تقنية تتيح للمستخدم التنقل بين خلايا BSS التابعة لنفس شبكة بشكل سلس دون الحاجة إلى إعادة الانضمام أو المصادقة. لتحقيق هذا الهدف، يتم تصميم الشبكة باستخدام طوبولوجيا Mesh، يطلق على هذه طوبولوجي اسم Extended Service Set. فيما يلي شكل يوضح ESS:



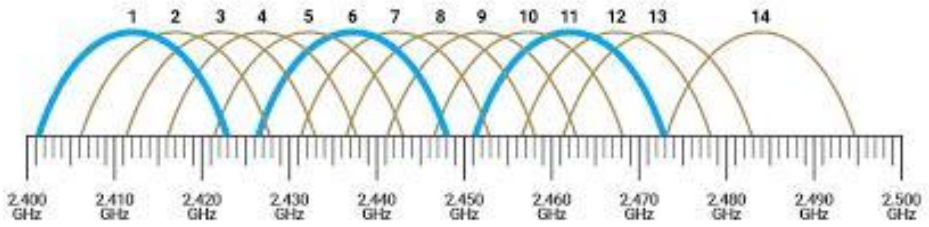
يمكن تعريف ESS على أنها مجموعة من الخلايا (BSSs) متصلة مع بعضها البعض بواسطة نظام Distributed System؛ بشرط أن تكون جميع الخلايا مشتركة بنفس تكوينات الشبكة (Logical Network Segment). بالتالي الهدف من ESS هو توسيع نطاق تغطية للشبكة اللاسلكية من خلال تجميع وربط BSSs مع بعضها البعض تحت إشارة بث واحدة (أي لها نفس SSID)، مما يسمح بالتجول والتنقل بين BSSs التي تقع في نفس ESS بسهولة وسلسة بشرط وجود تداخل بين كل خلية BSS مجاورة، أن تكون قوة الإشارة داخل منطقة التداخل بين الخلايا لا تقل عن 10% - 15% لضمان انتقال سلس.

من منظور طبقة Data-Link Layer فإن كل الخلايا في ESS متصلة في نفس الشبكة (Link) وعملية الانتقال بين BSSs من مهام طبقة الفرعية Logical Like Sub-Layer.

إذا كانت كل خلية BSS تعمل بشكل مستقل تحت إشارة بث مختلفة وعوامل آخرى؛ فهذا لا يسمى ESS ويجب على مستخدم القيام بإجراءات الانضمام يدوياً عند كل BSS اثناء التجول

كما تعلمنا مسبقاً، في الشبكات اللاسلكية يتم استخدام قناة بث (Broadcast Channel) من خلالها يتم إرسال واستقبال البيانات. عند تنفيذ ESS، يتم تخصيص قنوات مختلفة لكل خليتين BSS متجاورتين مع ترك قنوات فارغة (Channel Spacing) بين القنوات المستخدمة في الخلايا المختلفة لتجنب التداخل. فيما يلي شكل يوضح تقسيم نطاق 2.4 GHz إلى قنوات:

كما يظهر من شكل اعلاه، النطاق 2.4GHz يشمل ترددات تبدأ من 2.400GHz إلى 2.4835GHz، مقسمة لـ 14 قناة كل قناة يكون عرضها 22MHz ويفصل بين القنوات 5MHz.

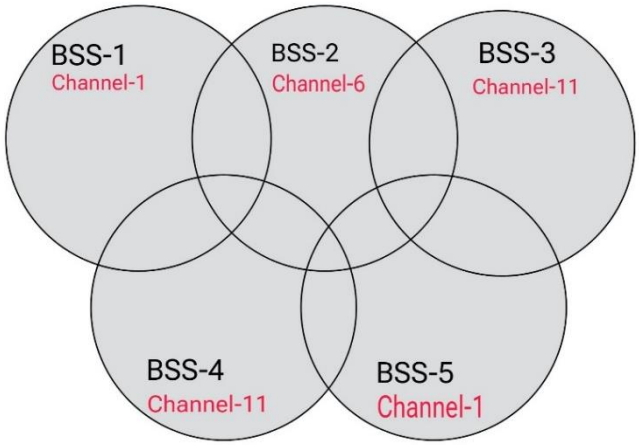


بسبب عرض القناة الكبير والصغيرة بين القنوات، يحدث تداخل بين القنوات المتجاورة؛ هذا التداخل يسمى التداخل الطيفي (Overlap). على سبيل المثال، القناة 1 تتداخل مع القنوات 2، 3، 4، و5. بينما القناة 6 تتداخل مع القنوات 4، 5، 7، و8. لحل هذه المشكلة، يتم اختيار قنوات متباعدة بما يكفي لتجنب التداخل، مثل: القناة 1، القناة 6، القناة 11.

بالتالي عند تصميم الشبكات اللاسلكية الكبيرة (ESS)، يجب توزيع قنوات مدروسة لتحقيق تداخل تحكم به بين الخلايا.

1. خلايا BSS المتجاورة يجب أن تعمل على قنوات مختلفة (1، 6، 11).
2. عند التغطية الكثيفة، يتم تكرار القنوات بشكل مدروس لتجنب التداخل بين الخلايا البعيدة.

هذا يسمح للمستخدم التنقل والتجول بين BSSs داخل الشبكة. يعتمد على توزيع قنوات مدروسة لتحقيق تداخل تحكم به بين الخلايا؛ مما يضمن وجود منطقة تداخل بين تغطية الخلايا لتسهيل انتقال الأجهزة دون فقد الاتصال. يوضح الشكل أدناه مثال على تحكم في التداخل:

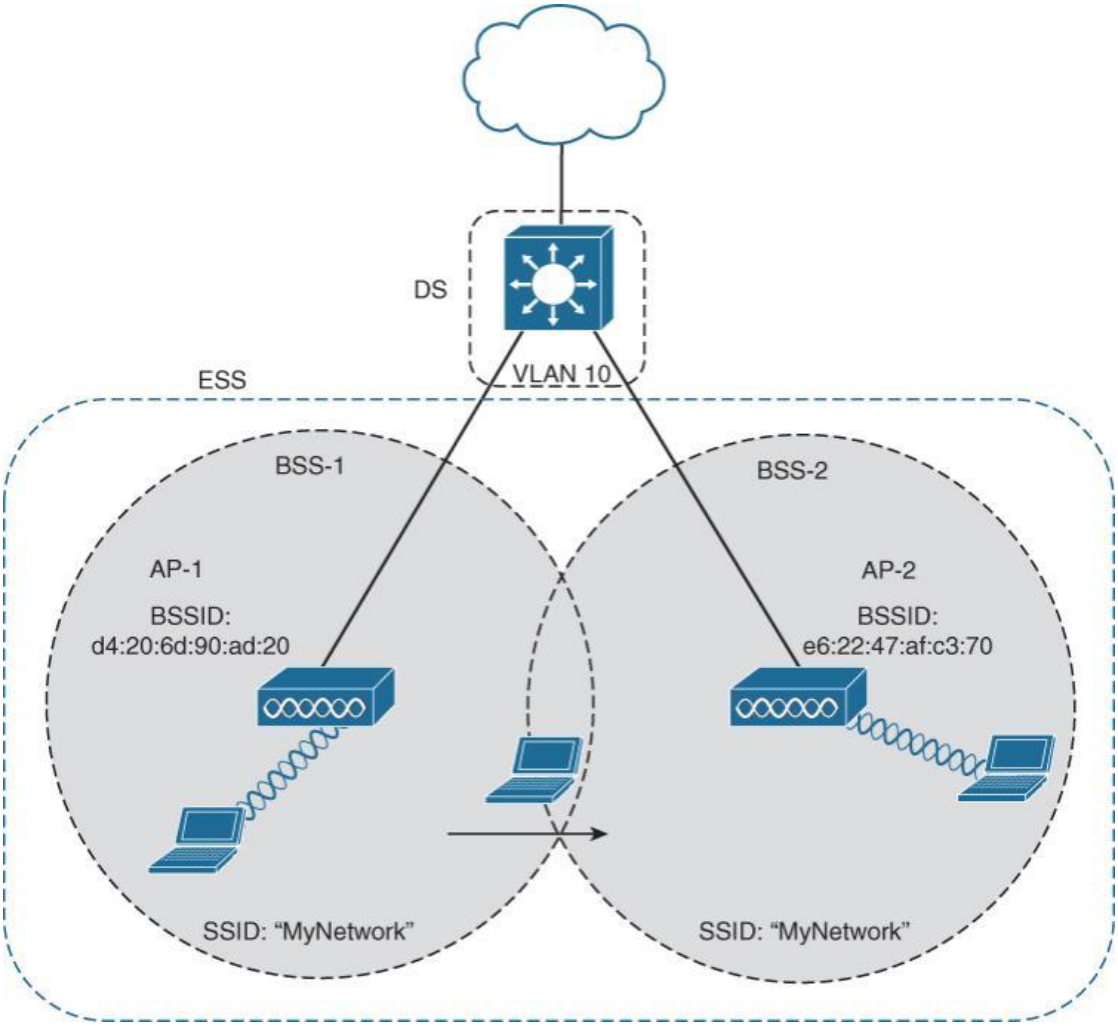


يكون SSID هو نفسه لجميع BSS التي تتكون منها ESS. بالنسبة لجهاز المستخدم (STA) يمكن أن يتصل مع أكثر BSS. يكون الارتباط بين BSS و STA تلقائي وذلك حسب قوة الاشارة مما يتيح للمستخدم الاتصال بأقرب خلية (BSS).بالتالي يتم تميز كل BSS في ESS من خلال BSSID.

مفهوم DS

يتم تحقيق أهداف ESS من خلال نظام Distribution System، الذي يوفر التنقل والتجوال عن طريق ربط خلايا. يركز هذا النظام على توصيل هذه الخلايا بشكل مادي، غالبًا عبر شبكة محلية ثابتة مثل Ethernet، يمكن أيضًا أن يعمل بشكل منطقي (ربطها لاسلكياً). بالتالي يقوم DS بتوصيل خلايا BSS عبر شبكة Backbone، مثل Ethernet، وبالتالي يسهل انتقال البيانات بين BSSs المختلفة في ESS؛ مما يسمح بتتبع مواقع المستخدمين الفعليين ويقوم بتوجيه البيانات من AP إلى AP الآخر عبر شبكة Backbone.

حاليًا، يعتمد نظام DS على شبكة Ethernet التي تتصل بأحد أو جميع خلايا، وتُعرف هذه الشبكة باسم Backbone Network. يعمل هذا التكوين كحلقة وصل بين الشبكات السلكية واللاسلكية، مما يسمح بتواصل فعال بين الأجهزة المتصلة - يسمى هذا التكوين بـ Wireless Bridge. فيما يلي شكل يوضح هذا النوع.



في هذه التكوين (Wireless Bridge) يشتمل نظام DS على طريقة لإدارة ارتباطات المستخدمين في الشبكة. حيث يرتبط جهاز STA بجهاز AP واحد فقط في كل مرة. إذا كان جهاز STA مرتبط بجهاز AP واحد، فإن جميع أجهزة APs الأخرى في ESS تحتاج إلى التعرف على ذلك جهاز STA.

جهاز Wireless LAN Controller

جهاز WLN يقوم بتحكم بأجهزة AP بشكل مركزي؛ هناك أجهزة APs مخصصة لهذا الهدف يطلق عليها اسم Light Weight Access Point. حيث يكون هذا النوع من AP مخصص ليتم تحكم به بشكل مركزي من خلال جهاز WLN. يمكن أن يكون WLC إما جهاز حقيقي (Appliances) أو تطبيق برمجي (Software) أو تقنية يمكن الوصول إليها من خلال الكلاود (Based Cloud). يوضح شكل ادناه نظام معتمد على WLC:

يتم استخدام بروتوكول CAPWAP لإنشاء مسار مؤمن (Tunnel) بين WLC و LAP. يوفر بروتوكول CAPWAP بتوفير نوعين من Tunnel أحدهما Control Tunnel تستخدم البورت 5246، والأخرى Data Tunnel تستخدم البورت 5247.

في أجهزة Crisco، لضمان التوفيرية العالية (High Of Availability) يتم تثبيت برمجية Cisco Flex Connect على أجهزة LAP لمصادقة المحلية على المستخدمين.

من اكثر المميزات شيوعاً التي يوفرها جهاز Controller هي Captive Portal؛ ميزة تُستخدم عادةً في الشبكات اللاسلكية لتوجيه المستخدمين إلى صفحة ويب عند محاولة الاتصال بالإنترنت (تطلب تسجيل الدخول). وكذلك يوفر ميزة Dynamic Channel Assignment، بحيث يتم تخصيص القنوات تلقائيًا لأجهزة APs لتجنب التداخل.

2.6 عملية Scanning

عملية Scanning هي المرحلة الأولى التي يبدأ فيها جهاز العميل (مثل هاتف ذكي أو جهاز كمبيوتر محمول) بالبحث عن الشبكات اللاسلكية المتاحة في المنطقة. هذه العملية تعتمد على نوع المسح الذي يتم (نشط أو سلبي).

أولاً Passive Scanning

يقوم جهاز AP، بالاعلان عن نفسه بشكل دوري من خلال بث Beacon Frame، يتضمن هذا الفريم على بعض المعلومات (اسم شبكة والأمان). في هذه الطريقة، يقوم جهاز العميل بالانتظار جهاز AP لبث Beacon Frame ليتم استقبالها والتعرف على شبكة. هذه الإشارات تحتوي على معلومات حول الشبكة مثل SSID والأمان. هذا النوع موفر للطاقة بالنسبة لجهاز المستخدم لأنه لم يبث اشارات بحث فقط استقبالها.

ثانياً Active Scanning

في هذه الطريقة، يرسل جهاز العميل إشارات تسمى Probe Requests لاكتشاف الشبكات في المنطقة. يتم استقبال هذه إشارات من أجهزة APs، التي تستجيب بإرسال Probe Responses تحتوي على تفاصيل مثل اسم الشبكة والتردد وقوة الإشارة. يقوم الجهاز بانتظار هذه الاستجابات ثم يعرض قائمة بالشبكات المتاحة.

يبث جهاز العميل إشارات Probe Requests في كل مرة في قناة معينة. بعد ذلك، ينتظر فترة زمنية محددة مسبقًا تُسمى ProbeTimer قبل الانتقال إلى القناة التالية وإجراء عملية استكشاف هناك. إذا كان هناك أجهزة AP تلبي الباراميترات فإنها تستجيب بـ Probe Response Frames. قد يتضمن Probe Request Frame على العديد من الباراميترات في إجراء البحث - من هذه الباراميترات:

أولا BSS Type

يمكن أن يحدد المسح باستخدام الباراميتر BSS Type ما إذا كان يجب البحث عن شبكات تعمل بوضع Independent أو Infrastructure أو كلايهما.

ثانياً SSID

يمكن أن يحدد المسح باستخدام الباراميتر SSID ما إذا كان يجب البحث عن شبكات باسمها أو يترك فارغاً للبحت عن اي شبكة.

بالنهاية، بعد المسح، يقوم الجهاز بعرض الشبكات المتاحة في بيئته للمستخدم لاختيار الشبكة التي يريد الاتصال بها.

2.6 عملية الانضمام (Joining)

بعد أن يحدد جهاز العميل الشبكة التي يريد الاتصال بها من خلال عملية Scanning، تبدأ عملية Joining التي تتضمن الانضمام الفعلي إلى الشبكة. عادةً ما يختار المستخدم الشبكة (AP) التي تتمتع بأفضل قوة إشارة لضمان اتصال مستقر. حيث تبدأ أجهزة المستخدمين دائمًا عملية الانضمام. تتضمن عملية مرحلتين:

- مرحلة Association: يتم فيها تحديد شبكة المراد الانضمام اليها. حيث تبدأ أجهزة المستخدمين دائمًا عملية الانضمام بإرسال طلب انضمام إلى أجهزة APs. يمكن لأجهزة APs منح أو رفض الوصول بناءً على محتويات طلب الانضمام.
- مرحلة Authentication: يتم فيها مصادقة على هوية جهاز العميل (بالتأكيد ليس كل الشبكات تستخدمها، حيث أن بعض الشبكات قد تكون غير محمية).

فيما يلي خطوات الانضمام للشبكة:

- يحدد جهاز العميل اسم الشبكة (SSID) التي يريد الاتصال بها من بين الشبكات التي تم اكتشافها أثناء عملية Scanning.
- يرسل جهاز العميل طلب مصادقة (Authentication Request) إذا كانت شبكة محمية، يحتوي الطلب على معلومات الأمان. ثم يستجيب جهاز AP برد على مصادقة (Authentication Response) يفيد بنجاح المصادقة إذا كانت البيانات صحيحة. بعد إتمام عملية التوثيق بنجاح، ينتقل الجهاز إلى مرحلة Association ليتم إضافته إلى الشبكة.
- يرسل جهاز العميل طلب الانضمام (Association Request) يحتوي الطلب على معلومات مثل SSID ومعلومات أخرى عن الجهاز. يستجيب جهاز AP برد على طلب الانضمام (Association Response) يفيد بنجاح الانضمام إذا كان جهاز AP قادر على استيعاب عدد إضافي من الأجهزة المتصلة دون تجاوز الحد الأقصى.
- في حال كانت الشبكة تستخدم DHCP، يقوم جهاز العميل بطلب عنوان IP بعد إرسال طلب الارتباط.

2.7 جهاز Access Point

جهاز Access Point هو مكون شبكي يُستخدم لتوفير نقطة اتصال لاسلكية (Wi-Fi) للأجهزة، مثل الهواتف الذكية، أجهزة الكمبيوتر المحمولة، والأجهزة الذكية الأخرى، للاتصال بالشبكة المحلية (LAN) أو الإنترنت.

2.7.1 تحسينات (IEEE802.11 Innvoation)

بعض أجهزة AP تأتي بميزات إضافية، هذه ميزات نطلق عليها اسم IEEE802.11 Innvoation، وهي تضم ما يلي:

ميزة Multiple SSID

التي تتيح بث إشارات لاسلكية بأسماء شبكات (SSID) متعددة؛ مما يسمح بإنشاء اكثر من شبكة والعزل بينهم. هذا يمكن إنشاء شبكات متعددة ذات سياسات أمان مختلفة، مثل شبكة للموظفين وشبكة للزوار.

ميزة Dual-Band

التي توفر بث الإشارة عبر ترددين مختلفين (2.4GHz و5GHz)، مما يمنح المستخدمين مرونة في تحسين الأداء حسب الحاجة.

ميزة Beamforming

تركيز الإشارة اللاسلكية على الأجهزة بدلاً من البث العشوائي، مما يعزز قوة الإشارة.

ميزة Band Steering

تستخدم لتوجيه الأجهزة المتصلة إلى النطاق الترددي الأنسب (2.4GHz و5GHz) بناءً على قوة الإشارة وأداء الشبكة. الهدف من Band Steering هو تحسين الأداء وتقليل الازدحام في الشبكة اللاسلكية عن طريق توجيه الأجهزة إلى التردد الأكثر ملائمة؛ من خلال يقوم تحليل الأجهزة المتصلة بالشبكة ويقوم بتوجيهها إلى النطاق الأكثر كفاءة بناءً على عدة عوامل مثل:

- المسافة: الأجهزة القريبة يتم توجيهها إلى 5GHz للحصول على سرعة أفضل.
- قوة الإشارة: الأجهزة ذات الإشارة الأضعف يتم توجيهها إلى 2.4GHz.
- ازدحام الشبكة: إذا كانت قناة 5GHz مشغولة، يتم توجيه الجهاز إلى 2.4GHz.

ميزة Fast Roaming

ميزة Fast Roaming يُعرفها معيار 802.11r، والذي يهدف إلى تحسين سرعة انتقال الأجهزة بين Access Points في نفس الشبكة Wi-Fi، وهو مفيد بشكل خاص في بيئات ESS حيث يكون هناك عدة أجهزة Aps متصلة عبر نظام DS.

عند تفعيل 802.11r، يُمكن للجهاز المتنقل الانتقال من AP إلى آخر بسهولة وسرعة دون الحاجة لإعادة إجراء عملية التوثيق (Authentication) مرة أخرى. بدون 802.11r، يتعين على الجهاز إعادة التوثيق عند التبديل بين أجهزة AP، مما يؤدي إلى تأخير وقد يفقد الاتصال بالإنترنت مؤقتًا. يتم تحقيق من خلال تخزين المعلومات المتعلقة بالجهاز (مثل عنوان MAC) في كل AP داخل ESS. عندما يتحرك الجهاز من AP إلى AP آخر، لا يحتاج لإعادة التوثيق بل يُستخدم التوثيق المُسبق (Pre-authentication) الذي يقلل من الوقت اللازم للانتقال. يتم تسريع عملية handover (التبديل) بين النقاط عبر نقل بيانات الاتصال بشكل سريع بين الأجهزة.

ميزة Load Balancing

تستخدم لتوزيع الأجهزة بشكل أكثر توازنًا بين Access Points في الشبكة. الهدف هو ضمان أن كل AP في الشبكة يخدم عددًا معقولًا من الأجهزة، مما يحسن الأداء ويمنع أي AP من التحميل الزائد؛ حيث عندما يتصل جهاز جديد بالشبكة، يقوم Access Point بتقييم عدد الأجهزة المتصلة به. إذا كان AP معين يحتوي على عدد كبير جدًا من الأجهزة، يقوم Load Balancing بتوجيه الأجهزة الجديدة إلى Aps أخرى أقل ازدحامًا. قد يستخدم Load Balancing أيضًا عوامل مثل القوة الإشارة والنطاق الترددي لضمان تجربة أفضل للمستخدم.

ميزة MIMO

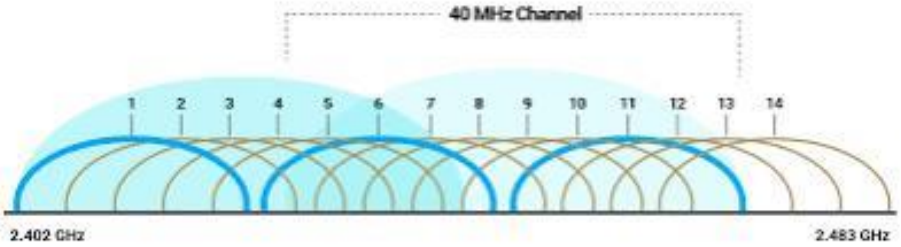
اختصار لـ Multiple Input Multiple Output، حيث يتم استخدام هوائيات متعددة في الإرسال والاستقبال لزيادة عرض النطاق الترددي وسرعة البيانات.

ميزة MU-MIMO

اختصار لـ Multi-User MIMO، هي تحسين على تقنية MIMO للعمل مع عدة أجهزة في نفس الوقت. بدلاً من مشاركة القناة بين الأجهزة، تُخصص قنوات مستقلة لكل جهاز، مما يزيد من الكفاءة.

ميزة Channel Bonding

دمج قنوات لاسلكية متعددة لإنشاء قناة ذات عرض نطاق أكبر. تُستخدم لتحسين سرعة الاتصال اللاسلكي، خصوصًا في النطاق GHz5.



2.7.2 الشركات المصنعة

فيما فيلي أبرز العلامات التجارية التي توفر هذه الأجهزة تتضمن:

شركة Cisco

تقدم شركة Cisco مجموعة من أجهزة APs التي تدعم ESS، مثل Cisco Aironet و Cisco Meraki. هذه الأجهزة توفر حلولاً قوية لإدارة الشبكات الكبيرة وضمان الاتصال اللاسلكي المستقر عبر نقاط الوصول متعددة.

شركة Ubiquiti

منتجات مثل Ubiquiti UniFi Aps توفر حلول لاسلكية اقتصادية وفعّالة مع إمكانيات لتكوين ESS. وكذلك تتيح إدارة مركزية عبر UniFi Controller وتدعم ESS بشكل ممتاز.

شركة TP-Link

تقدم مجموعة من أجهزة APs مثل TP-Link Omada و TP-Link EAP. تُستخدم هذه المنتجات في الشبكات الصغيرة إلى المتوسطة، وتدعم تكوين ESS بشكل جيد.

بعض أجهزة AP توفر LAN Port إضافية لتوصيل الأجهزة السلكية. وبعضها مصمم لمقاومة العوامل الجوية للاستخدام الخارجي. وقد تكون هوائيات قابلة للإزالة أو ثابتة لتحسين التغطية.

2.8 آمن شبكات المحلية اللاسلكية (IEEE 802.11 Security)

لتمكن من تأمين شبكة لاسلكية، يشتمل معيار 802.11 على مجموعة من ميزات وبرتوكولات الأمان. قبل التطرق لهذه البروتوكولات يجب تعرف اساسيات حماية الوصول للشبكة والبيانات.

2.8.1 حماية الوصول إلى الشبكة

في الشبكات السلكية، يحتاج المستخدمون إلى الوصول المادي للاتصال بالشبكة، مما يعني أنهم يتطلبون وسيلة مادية مثل الكابلات. بالتالي تأمين الوسيط المادي يمنع المهاجمين من الوصول إلى الشبكة بسهولة. بفضل هذا التحكم في الوصول، يمكن للأجهزة والمستخدمين أن يضمنوا أن الشبكة محمية من أي تدخل خارجي. على الجانب الآخر، في الشبكات اللاسلكية، يتم بث الإشارات في الهواء. وهذا يعني أن أي شخص ضمن نطاق الإشارة يمكنه التقاط البيانات المرسلة. هذه الطبيعة تجعل من السهل على المهاجمين محاولة الوصول إلى الشبكة. فعندما تُبث الإشارات في الفضاء، يصبح من الصعب تأمين الوصول، مما يزيد من مخاطر الهجمات.

طرق تأمين الوصول للشبكة

يؤمن IEEE 802.11 الوصول للشبكة بطريقتين:

قائمة ACL

يمكن لمسؤول الشبكة السماح أو رفض الوصول إلى الشبكة (AP) عن طريق تكوين ACL على جهاز AP نفسها. يعتمد ACL على جدول MAC Table المخزن على جهاز AP لمصادقة المستخدمين الفرديين الذين يطلبون الوصول إلى الشبكة. تزيد هذه الميزة من أمان الشبكة اللاسلكية عن طريق منع الوصول غير المصرح به إلى الشبكة.

المصادقة (Authentication)
تُعتبر عملية المصادقة خطوة حيوية في تأمين الوصول إلى الشبكات اللاسلكية، حيث تهدف إلى التأكد من هوية المستخدمين (STAs) التي تسعى للاتصال بجهاز AP. يمكن القول أن عملية المصادقة تقوم بتحقق من هوية المستخدم المراد الاتصال بشبكة من خلال تقديم بيانات الاعتماد. يمكن مصادقة المستخدم بثلاث طرق:

المصادقة المفتوحة (Open System Authentication)
لا تتطلب أي معلومات إضافية، مما يجعلها أقل أمانًا.

المصادقة باستخدام كلمة المرور (Pre-Shared Key Authentication)
تتطلب من المستخدم إدخال كلمة مرور قبل الاتصال. تتضمن هذه العملية مجموعة من الخطوات التي تضمن أن المستخدمين المصرح لهم فقط يمكنهم الوصول إلى الشبكة. فيما يلي الخطوات الأساسية لعملية المصادقة:
1. بعد اختيار الشبكة (AP) والانضمام إليها، يقوم الجهاز (STA) بإرسال طلب مصادقة إلى الشبكة (AP). يتضمن هذا الطلب معلومات التعريف الضرورية.
2. تقوم نقطة الوصول (AP) بمعالجة طلب المصادقة وتتحقق من تفاصيل الهوية.
3. بعد التحقق من هوية، تقوم AP بإرسال استجابة للمصادقة. إذا كان التحقق ناجحًا، يتم منح STA الوصول إلى الشبكة.
4. بعد المصادقة، يمكن للجهاز (STA) الاتصال بالشبكة ويبدأ في تبادل البيانات مع AP.

المصادقة باستخدام سيرفر مركزي (802.1X)
تعتمد على بروتوكول EAP، في هذه النوع من المصادقة يتطلب وجود سيرفر مصادقة مركزي، مما يوفر مستوى أمان أعلى من خلال التحقق من الهوية.

غالباً لا تكون هذه المصادقة بهذه البساطة هذه، بل تكون جزء من بروتوكول الأمان.

2.8.2 حماية البيانات
تعتبر حماية البيانات من الأمور الأساسية في عالم الاتصالات الحديثة، خاصةً في الشبكات اللاسلكية حيث يتم تبادل المعلومات عبر الهواء. نظرًا لأن هذه البيانات قد تكون عرضة للاعتراض والتنصت، فإن تشفير المعلومات يصبح ضرورة ملحة. يتمثل دور التشفير في تحويل المعلومات الأصلية (النص العادي) إلى شكل غير مفهوم (النص المشفر) باستخدام خوارزميات معينة، مما يحمي البيانات من الوصول غير المصرح به. يدعم IEEE 802.11 العديد من خوارزميات تشفير، منها:

خوارزمية RC4
خوارزمية RC4 هي خوارزمية تُستخدم لتشفير البيانات بشكل سريع، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى سرعة في الأداء. تعرضت هذه الخوارزمية لانتقادات بسبب بعض الثغرات الأمنية التي قد تسمح للمهاجمين بفك تشفير البيانات.

خوارزمية TKIP
اختصار لـ Temporal Key Integrity Protocol، تم تطوير TKIP كجزء من معيار IEEE 802.11i لتحسين أمان الشبكات اللاسلكية. تعتمد TKIP على تغيير المفاتيح بشكل دوري لتقليل خطر الهجمات. رغم أنها أكثر أمانًا من خوارزمية WEP، إلا أن TKIP لا تعتبر قوية كما هو الحال مع AES.

خوارزمية AES
اختصار لـ Advanced Encryption Standard، تُعتبر AES واحدة من أقوى خوارزميات التشفير المتاحة حاليًا. تستخدم AES في العديد من التطبيقات الأمنية، بما في ذلك WPA2، وتوفر مستوى عالٍ من الأمان. تتميز AES بكفاءتها العالية وقدرتها على معالجة كميات كبيرة من البيانات بسرعة، مما يجعلها الخيار المفضل للعديد من الشبكات.

2.8.3 بروتوكولات الامان
يدعم IEEE 802.11 العديد من بروتوكولات الامان، توفر هذه البروتوكولات طريقة للمصادقة وتشفير البيانات. بالتالي حماية الوصول للشبكة وحماية البياناتا التي يتم تبادلها.

بروتوكول Wired Equivalent Privacy
يستخدم هذا البروتوكول لحماية الاتصال اللاسلكي من التنصت من خلال التشفير ومنع الوصول غير المصرح به إلى الشبكة اللاسلكية مع المصادقة. تعتمد كل من آليات التشفير والمصادقة على مفتاح سري مشترك بين جهاز STA وجهاز AP.

يعتمد هذا البروتوكول على طريقة PSK للمصادقة، ويستخدم خوارزمية تشفير RC4. يعتمد هذا البروتوكول على مفتاح تشفير ثابت يُدخل يدويًا لتشفير البيانات (غالباً ما يكون كلمة مرور الشبكة). يتم استخدام هذا المفتاح لتأمين حركة ترافيك البيانات، بما في ذلك بيانات المصادقة، مما يساعد في حماية المعلومات المرسلة عبر الشبكة. ومع ذلك، يجب ملاحظة أن WEP يعاني من ثغرات أمنية معروفة، مما يجعله أقل أمانًا مقارنة بالبروتوكولات الحديثة مثل WPA وWPA2.

مرة اخرى، مفتاح تشفير ثابت يتم استخدامه نفس عند كل عملية اتصال أو نقل للبيانات. بالتالي مجرد نجاح المهاجم في معرفته يبقي دائماً قادر على مراقبة البيانات المراسلة. وكذلك على رغم من أن هذا البروتوكول آلية للمصادقة وتشفير ولكن يمكن تفعيل أحدها دون الآخر.

بروتوكول Wi-Fi Protected Access

هو بروتوكول أمان يُستخدم في الشبكات اللاسلكية لتحسين مستوى الأمان مقارنةً بـ WEP. يعتمد WAP على خوارزمية تشفير متماثلة، حيث يستخدم مفتاح تشفير ديناميكي لتشفير البيانات، مما يعزز سلامة حركة الترافيك. تُستخدم هذه المفاتيح لتأمين حركة البيانات في الشبكة، بما في ذلك بيانات المصادقة. ومن الجدير بالذكر أن WAP يقدم تحسينات في الأمان مثل إدارة المفاتيح بشكل أفضل، وقد تم استبداله بـ WPA2 لتوفير مستوى أعلى من الحماية. مفتاح تشفير متغير بشكل ديناميكي عند كل عملية اتصال. بالتالي اذا نجح المهاجم في معرفة مفتاح التشفير، سيتم فقد اتصاله بمجرد قطع الاتصال.

انواع بروتوكول WAP

ينقسم بروتوكول WAP إلى نوعين رئيسيين:

الاول WPA-Personal

يُعرف أيضًا باسم WPA-PSK يستخدم مفتاح مشترك مسبقًا. يُستخدم بشكل شائع في الشبكات المنزلية أو الصغيرة. بحيث يعتمد على كلمة مرور واحدة (مفتاح مشترك) يتم إدخالها على جميع الأجهزة المتصلة بالشبكة. يوفر مستوى أمان جيد عن طريق استخدام خوارزمية TKIP لتشفير البيانات.

ثاني WPA-Enterprise

يُعرف أيضًا باسم WPA-802.1X يُستخدم في البيئات المؤسسية أو التجارية حيث يتطلب مستوى أعلى من الأمان. يعتمد على نظام المصادقة 802.1X، مما يسمح بالتحقق من هوية كل مستخدم بشكل فردي من خلال سيرفر مصادقة (مثل RADIUS) للتحقق من هوية المستخدمين وتوفير مفاتيح تشفير ديناميكية.

الاصدار الثاني WAPv2

هو الإصدار المحسن من WPA، وقد تم تقديمه لتعزيز الأمان بشكل أكبر. يتضمن WPA2 عدة تحسينات رئيسية. بدلاً من استخدام TKIP، يستخدم WPA2 خوارزمية التشفير المتقدمة AES التي تعتبر أكثر أمانًا وفعالية. توفر AES مستوى أعلى من الحماية ضد الهجمات. بالاضافة يوفر WPA2 إدارة ديناميكية للمفاتيح بشكل أفضل، مما يزيد من صعوبة اختراق الشبكة.

1 شبكات الهاتف المحمول (Mobile Networks)

تُعد شبكات الجوال (Mobile Networks) أنظمة اتصالات لاسلكية واسعة النطاق، تغطي مساحات جغرافية شاسعة تصل إلى مستوى دولي وعالمي. تعتمد هذه الشبكات في عملها على أجهزة إرسال واستقبال (Transceivers) مثبتة في مواقع ثابتة ومحددة مسبقًا.

تعمل هذه الأجهزة كمحطات أساسية (Base Stations) أو مواقع خلوية (Cell Sites)، حيث تقوم باستقبال وإرسال الإشارات اللاسلكية بشكل متزامن. على عكس الشبكات اللاسلكية المحلية التي يمكن تركيب هوائياتها في مواقع متغيرة ومتنقلة، فإن هوائيات شبكات الجوال تُثبت في مواقع دائمة ومخطط لها بعناية.

تعتمد آلية الاتصال في كلا النوعين من الشبكات على إشارات الراديو (Radio Signals)، التي تمثل شكلاً من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي. تتكون هذه الإشارات من خصائص أساسيتين، التردد (Frequency) الذي يمثل عدد دورات الموجة في الثانية الواحدة، والطول الموجي (Wavelength) الذي يقاس بالمسافة بين قمتي موجتين متتاليتين.

يُعتبر مبدأ عمل إشارات الراديو تقنية قديمة متطورة، حيث تستخدم الخصائص الموجية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة. تعمل شبكات الجوال من خلال تقسيم المناطق الجغرافية إلى خلايا (Cells) متجاورة، كل خلية تخدمها محطة قاعدة محددة، مما يضمن استمرارية الخدمة وسلاسة الانتقال بين الخلايا المختلفة.

تم تصميم شبكات الهاتف المحمول للسماح بعملية التجول على شبكة (Handover/Handoff)؛ حيث يمكن للمستخدمين التنقل بين الخلايا بسلسة. عندما تتحرك وأنت تتحدث على هاتفك أو تستخدم البيانات، تنتقل من خلية إلى أخرى. تقوم الشبكة تلقائياً بنقل اتصالك من محطة القاعدة في الخلية الأولى إلى محطة القاعدة في الخلية التالية بسلاسة دون أن تنقطع المكالمة أو تتوقف الخدمة. هذه هي السحر الحقيقي الذي يمكنك من القيادة لمسافات طويلة والبقاء متصلاً.

المكونات الأساسية لشبكات الهاتف المحمول

أولا المحطة المتنقلة – Mobile Station

تمثل المحطة المتنقلة وحدة الاتصال الأساسية في الشبكة، وتتألف من مكونين رئيسيين هما:

جهاز الهاتف المحمول – Mobile Equipment

يمثل الهاتف المحمول المحطة النهائية المتكاملة في نظام الاتصالات، حيث يجمع بين وظائف الإرسال والاستقبال والمعالجة في وحدة واحدة مدمجة. يعمل الهاتف كمنصة اتصالات متعددة الوظائف تتيح للمستخدم الوصول إلى الشبكة والخدمات الرقمية المختلفة.

يتم تخصيص معرف فريد عالميًا يُخصص لكل جهاز محمول (هاتف، لوحي، مودم) أثناء التصنيع. يشبه "بصمة" أو "رقم الهوية" الخاص بالجهاز المادي نفسه يسمى IMEI – International Mobile Equipment Identity.

التصميم الهندسي المتكامل

يتكون الهاتف المحمول من وحدات متخصصة تعمل بتناغم:

- وحدة الترددات الراديوية (RF Module) المسؤولة عن إرسال واستقبال الإشارات
- وحدة المعالجة المركزية (CPU) التي تدير عمليات التشغيل والمعالجة
- وحدة الذاكرة العشوائية (RAM) وذاكرة التخزين الداخلية
- نظام إدارة الطاقة والبطارية
- وحدات الإدخال والإخراج من شاشات وأزرار وميكروفون ومكبر صوت

أنظمة معالجة الإشارات الرقمية

تتميز الهواتف الحديثة بدوائر معالجة رقمية متطورة تقوم بـ:

- تحويل الإشارات التناظرية (الصوت) إلى إشارات رقمية وبالعكس
- ضغط البيانات لتحقيق كفاءة في استخدام النطاق الترددي
- تصحيح الأخطاء الناتجة عن التشويش في قنوات الاتصال
- معالجة الإشارات متعددة المسارات لتحسين جودة الاستقبال

شريحة Subscriber Identity Module

شريحة SIM، وهي اختصار لـ "وحدة تعريف المشترك" (Subscriber Identity Module)، هي شريحة إلكترونية صغيرة قابلة للبرمجة وتحتوي على ذاكرة. تعمل هذه الشريحة بمثابة هوية رقمية فريدة للمستخدم على شبكات الهاتف المحمول. فهي لا تمثل مفتاح الاتصال بالشبكة فحسب، بل هي عنصر أمني أساسي يحفظ بيانات المستخدم الشخصية ومعلومات المصادقة، مما يمكنه من الوصول إلى خدمات الاتصالات في أي مكان.

تخيل أن شريحة SIM هي بطاقة هويتك الرقمية الذكية التي لا تفتح فقط أبواب شبكة الاتصالات، ولكنها تحمل أسرار هويتك الرقمية. هذه القطعة الصغيرة البالغ حجمها ظفر إصبع تحوي عالماً معقداً من البيانات والآليات الأمنية التي تجعل اتصالك بالعالم ممكناً وآمناً.

البنية التقنية للشريحة

تتكون شريحة SIM من معالج دقيق وذاكرة مؤقتة ودائمة، تشبه كمبيوتر مصغر متكامل. نظام التشغيل المضمن فيها ليس مجرد برنامج بسيط، بل هو نظام متكامل يدير عمليات المصادقة والتخزين والتشفير. الذاكرة مقسمة بدقة إلى أقسام خاصة بكل نوع من البيانات، مع طبقات حماية متعددة تحيط بالبيانات الحساسة مثل قلعة محصنة.

نظام الهوية المتعدد المستويات

لشريحة SIM ثلاثة وجوه للهوية:

- الوجه السري (IMSI): هو جواز سفرك السري في عالم الاتصالات، يتكون من كود الدولة (مثل 425 لفلسطين)، كود الشركة (مثل 02 لجوال)، ورقم مشترك فريد. هذه الهوية لا تظهر لأحد إلا للشبكة أثناء المصادقة.
- الوجه العلني (MSISDN): هو رقم هاتفك الذي يعرفه الجميع، عنوانك في دليل الاتصالات العالمي.
- الوجه المادي (ICCID): هو بصمة الشريحة نفسها، الرقم التسلسلي الفريد المطبوع على الجسم البلاستيكي.

آلية الأمان المعقدة

في قلب الشريحة يكمن السر الأكبر - مفتاح المصادقة (Ki). هذا المفتاح السري بطول 128 بت يشبه القفل السحري الذي لا يمكن فك شفرته. عند اتصالك بالشبكة، تحدث رقصة أمنية معقدة:

1. ترسل الشبكة "معادلة تسمى Change" عشوائياً للشريحة
2. تستخدم الشريحة Ki لحل هذا المعادلة وإرسال الرد المشفر
3. الشبكة تقوم بنفس العملية الحسابية وتقارن النتائج
4. عند المطابقة، تفتح الأبواب للاتصال

مثال حي من أرض الواقع

لنأخذ مشتركاً خالد من غزة يحمل شريحة جوال:

- عند التشغيل: تعلن شريحته عن هويتها السرية (IMSI: 425022987654321) لأقرب برج إرسال
- أثناء المصادقة: تثبت الشريحة هويتها باستخدام Ki السري دون الكشف عنه
- عند الاتصال: يتصل خالد برقم صديقه (+0599123456)، فتبحث الشبكة عن صاحب هذا الرقم في قواعد البيانات
- أثناء التنقل: عندما ينتقل خالد من غزة إلى رام الله، يتم تحديث موقعه تلقائياً في قواعد البيانات

الوظائف الأساسية لشريحة SIM

تقوم شريحة SIM بعدة وظائف حيوية لضمان عمل هاتفك بأمان وكفاءة، يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- إدارة الهوية والبيانات الشبكية: تتحكم الشريحة في البيانات التي يحتاجها الجهاز للتعريف بنفسه على الشبكة. تخزن معلومات حيوية مثل الرقم الدولي للمشترك (IMSI) الذي يحدد هويتك بشكل فريد لشبكات المحمول حول العالم، مما يسمح للشبكة بالتعرف عليك والسماح لك بالاتصال.

- المصادقة والتشفير: هذه هي الوظيفة الأمنية الأكثر أهمية. تقوم الشريحة بعملية المصادقة (Authentication) مع الشبكة للتأكد من أنك مشترك شرعي، مما يمنع الاحتيال. كما أنها تشارك في إنشاء مفاتيح التشفير (Ciphering) التي تُشفر جميع المكالمات والبيانات المرسلة بين هاتفك وشبكة المحمول، لحمايتها من التنصت والاختراق.

- إدارة بيانات التجوال: عندما تسافر خارج نطاق شبكة موفر الخدمة الخاص بك، تدخل في وضع "التجوال". تدير شريحة SIM البيانات اللازمة للاتفاقيات بين الشبكات المختلفة، مما يتيح للشبكة المضيفة التحقق من هويتك والسماح لك باستخدام خدماتها، مع الحفاظ على أرقامك وبياناتك.

- تخزين البيانات الشخصية: بالإضافة إلى بيانات الشبكة، تحتوي الشريحة على مساحة تخزين لإدارة المعلومات الشخصية للمستخدم. كان هذا أكثر شيوعًا في الماضي، ولكنها لا تزال قادرة على حفظ بيانات مثل جهات الاتصال والرسائل النصية القصيرة (SMS) وبعض الإعدادات المخصصة.

التطور التاريخي المذهل

تطورت شريحة SIM بشكل كبير من حيث الشكل والوظيفة. أما من ناحية التطور المادي، فقد انتقلت من الحجم الكامل إلى الشرائح الأصغر (ميني، ميكرو، نانو)، ثم إلى الجيل الحديث من الشرائح المدمجة eSIM التي يمكن برمجتها عن بُعد، وصولاً إلى تقنية iSIM المستقبلية المدمجة في معالج الجهاز نفسه. هذا التطور يهدف إلى توفير مساحة أكبر في الأجهزة، وتحسين كفاءة الطاقة، وتمكين مرونة غير مسبوقة للمستخدم، خاصة في عالم الهواتف الذكية والأجهزة الذكية، مما يجعلها تقنية حيوية مستمرة في التطور.

آلية اتصال المحطة المتنقلة (Mobile Station)

تشكل المحطة المتنقلة (Mobile Station) نقطة البداية في رحلة الاتصال ضمن الشبكة الخلوية، حيث تمثل حلقة الوصل بين المستخدم والشبكة. تبدأ العملية عندما يبحث الهاتف المحمول عن أقرب برج اتصال (BTS) يمكنه توفير إشارة قوية ومستقرة:

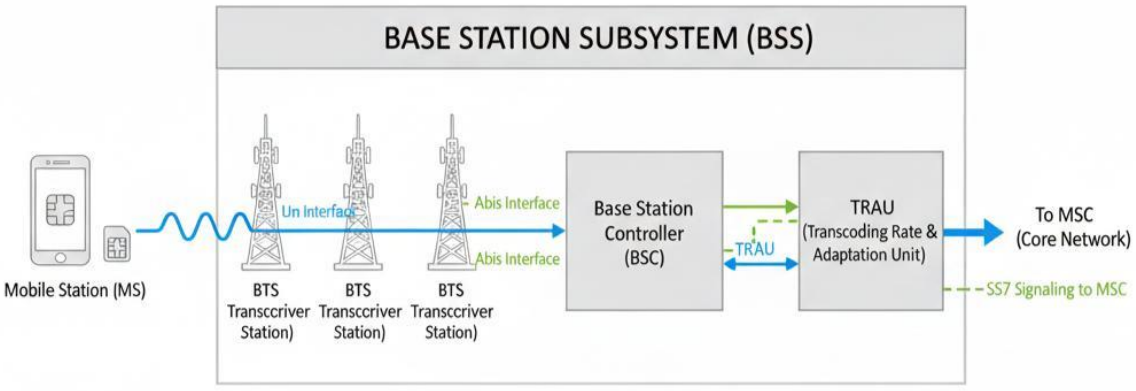
- يقوم الهاتف بشكل تلقائي ومستمر بمسح الطيف الترددي للكشف عن إشارات محطات الإرسال القريبة. عند تحديد أقرب محطة إرسال مناسبة، يرسل الهاتف طلب ارتباط يحتوي على معلومات تعريفية تستند إلى بيانات شريحة SIM. تخضع هذه العملية لمراقبة دائمة حيث يقوم الهاتف بتقييم جودة الإشارة بشكل مستمر، وإذا لزم الأمر، ينتقل تلقائياً إلى برج آخر يوفر إشارة أفضل دون انقطاع في الخدمة.

- بعد إنشاء الاتصال، تنشأ قناة اتصال مشفرة بين الهاتف ومحطة الإرسال تضمن خصوصية وسرية البيانات المنقولة. تدير محطة الإرسال توزيع القنوات المتعددة بشكل فعال، مما يمكنها من خدمة العديد من المستخدمين في وقت واحد دون تداخل. كما يتم ضبط قوة إرسال الهاتف تلقائياً بناءً على بعد المسافة عن البرج، مما يحافظ على عمر البطارية ويقلل من التداخل مع الأجهزة الأخرى.

- تتميز هذه العلاقة بالديناميكية والاستمرارية، حيث أن اتصال الهاتف لا يقتصر على محطة إرسال واحدة ثابتة. أثناء تنقل المستخدم، ينتقل الهاتف بسلاسة بين محطات الإرسال المختلفة، مع الحفاظ على استمرارية المكالمات وجلسات نقل البيانات. تضمن هذه الآلية تقديم خدمة اتصال متواصلة وفعالة، سواء كان المستخدم ثابتاً أو متحركاً، مما يفسر قدرة الشبكات الخلوية على توفير اتصال دائم ومستقر عبر مساحات جغرافية شاسعة.

ثانياً أبراج الإتصال – Base Station Subsystem

يشكل نظام BSS العمود الفقري للبنية التحتية اللاسلكية، حيث يعمل كوسيط اتصال بين الأجهزة المحمولة والشبكة الأساسية. حيث يتم تقسيم المدينة إلى العديد من "الخلايا" السداسية. كل خلية لها محطة قاعدة (BSS) خاص بها. هذا يسمح بإعادة استخدام نفس الترددات في خلايا غير متجاورة، مما يزيد بشكل هائل من عدد المستخدمين الذين يمكن للشبكة خدمتهم في وقت واحد. هذه هي الفكرة الثورية. بدلاً من وجود هوائي واحد قوي يغطي مدينة كاملة (مما يستهلك كل الترددات ولا يسمح إلا لعدد قليل من المستخدمين بالاتصال)، يتكون هذا النظام من:



محطات الإرسال والاستقبال – Base Transceiver Station

محطة BTS هي العنصر الأساسي في الشبكة الخلوية الذي ينشئ "الخلية" (Cell) التغطية. تعمل كجسر حيوي بين الهواتف المحمولة والشبكة الأساسية. مهمتها الرئيسية هي إدارة جميع الاتصالات اللاسلكية المباشرة مع الأجهزة داخل نطاق تغطيتها، مما يجعلها "الأذن" و"الصوت" الظاهر للشبكة.

المكونات الرئيسية لمحطة BTS

تكون المحطة من عدة مكونات أساسية تعمل معًا:

الهوائيات (Antennas)

هي الواجهة البصرية للمحطة، مسؤولة عن بث الإشارات الراديوية إلى الهواتف واستقبالها منها. يمكن تركيب عدة هوائيات لتغطية اتجاهات مختلفة (تقنية تسمى "قطاعات" أو Sectoring) لتحسين الكفاءة والسعة.

أجهزة الإرسال والاستقبال (Transceiver/Transmitter/Receiver)

هذا هو القلب الإلكتروني للمحطة. حيث:

- جهاز الإرسال (Transmitter): يأخذ البيانات الصوتية والرقمية من الشبكة، ويحولها إلى إشارة راديوية عالية التردد، ثم يرسلها عبر الهوائيات.
- جهاز الاستقبال (Receiver): يستقبل الإشارة الضعيفة القادمة من الهاتف عبر الهوائيات، ويعززها وينقيها، ثم يحولها مرة أخرى إلى بيانات ليتم إرسالها عبر الشبكة.

مرشحات الإدخال والإخراج (Input/Output Filters)

هي مكونات حيوية لضمان جودة الإشارة ومنع التداخل. تعمل على:

- تنقية الإشارة المرسلة من أي ضوضاء أو تشوهات قبل بثها.
- تصفية الإشارات الواردة من الهواتف لعزل الإشارة المطلوبة عن الإشارات الأخرى والتداخلات

الوظائف الأساسية لـ BTS

تقوم محطة BTS بعدة وظائف حيوية أكثر من مجرد إرسال واستقبال الإشارات:

- معالجة الإشارة: تشمل عمليات Modulation/Demodulation للإشارات.
- التشفير وفك التشفير: تطبق خوارزميات التشفير على البيانات والمكالمات لحمايتها من التنصت، بالتعاون مع SIM.
- إدارة الموارد الراديوية: تخصص قنوات اتصال لكل هاتف متصل ضمن الخلية لضمان اتصال سلس.
- قياس جودة الإشارة: تراقب قوة وجودة الإشارة من كل هاتف متصل، وتتعاون مع الهاتف لتعديل قوة الإرسال للحفاظ على اتصال مستقر مع أقل طاقة ممكنة.

محطة BTS ليست وحدة مستقلة؛ فهي مرتبطة بشبكة أكبر. بحيث يتم ربط عدة محطات BTS بوحدة تحكم تسمى Base Station Controller، والتي تدير عددًا من محطات BTS. يقوم BSC بدوره بالاتصال بـ Mobile Switching Center، الذي يربط المكالمات بين الخلايا المختلفة وبين شبكة الهاتف الثابت والإنترنت.

وحدات التحكم الذكية - Base Station Controller

تعد BSC العقل المدبر في الشبكة الخلوية. إذا كانت محطات BTS هي "الجنود" على الأرض التي تتواصل مباشرة مع الهواتف، فإن الـ BSC هو "الضابط" الذي يدير مجموعة من هذه الجنود. فهو وحدة تحكم ذكية تشرف على وتنسق عمل عدة محطات BTS (مئات منها في بعض الأحيان)، لضمان كفاءة وموثوقية الشبكة.

المكونات الرئيسية للـ BSC

يعتمد الـ BSC على مكونات حاسوبية قوية:

الـ Switching Array

هذا هو "الراوتر" الخاص بالـ BSC. وهو مسؤول عن توجيه المكالمات وبيانات المستخدمين بين محطات BTS المختلفة التي يتحكم بها، وبين الـ BSC والوحدة الأكبر في الشبكة (MSC). يضمن هذا المكون أن تصل البيانات إلى وجهتها الصحيحة دون تأخير.

بنك البيانات (Data Bank)

يعمل كذاكرة الـ BSC ومركز تخزين المعلومات. يحتفظ ببيانات حيوية مثل:

- موقع كل هاتف محمول متصل (الخلية التابع لها).
- قوة الإشارة لكل اتصال.

- إعدادات التكوين لجميع محطات BTS التابعة له.
- هذه البيانات المخزنة مسبقًا هي التي تمكنه من اتخاذ قرارات ذكية وفورية.

وحدة المعالجة المركزية (CPU)
هي عقل الـ BSC الفعلي. تقوم بمعالجة كميات هائلة من البيانات الواردة من محطات BTS في الوقت الفعلي. تشغّل الخوارزميات المعقدة اللازمة لإدارة حركة المرور، واتخاذ قرارات التسليم (Handover)، وتخصيص الموارد.

الوظائف الأساسية للـ BSC

يقوم الـ BSC بمجموعة من الوظائف الحيوية التي تجعل التنقل بين الخلايا سلسًا:

- إدارة التسليم (Handover Management): هذه هي الوظيفة الأكثر أهمية. عندما يتحرك هاتفك بعيدًا عن نطاق محطة BTS ويقترب من أخرى، يتخذ الـ BSC القرار بنقل الاتصال بشكل سلس بين المحطتين. يعتمد في قراره على بيانات قوة الإشارة المخزنة في بنك البيانات، مما يمنع انقطاع المكالمة.

- إدارة حركة البيانات والموارد: يقوم بتوزيع وتحسين استخدام الموارد الراديوية (مثل قنوات الاتصال) بين جميع محطات BTS التابعة له. يحدد أي قناة ستستخدم لأي مكالمة أو جلسة بيانات لضمان عدم ازدحام الشبكة.

- التحكم في قوة الإرسال: يوجه الـ BSC محطات BTS والهواتف لتعديل قوة إرسالها. يطلب من الهاتف البعيد زيادة قوته، ومن الهاتف القريب تخفيفها. هذا يحسن من جودة الاتصال ويقلل من التداخل ويوفر في عمر بطارية الهاتف.

الـ BSC هو حلقة وصل حيوية في التسلسل الهرمي للشبكة، كيث من الأسفل يتصل بعدة محطات BTS (مئات المحطات). من الأعلى يرتبط بوحدة التحكم الأكبر، مركز تحويل الخدمة المتنقلة (MSC)، الذي يدير العديد من وحدات الـ BSC ويربط الشبكة الخلوية بشبكة الهاتف العادي والإنترنت.

وحدات معالجة الإشارات – Transcoding Rate & Adaptation Unit

وحدة TRAU هي عنصر حاسم لتحسين كفاءة استخدام النطاق الترددي الثمين في الشبكات الخلوية. تخيل أن لديك خط أنابيب ضيق يجب أن يمر عبره كميات كبيرة من البيانات؛ تقوم الـ TRAU بدور "ضاغط الهواء" الذي يضغط البيانات لتمر بكميات أكبر عبر هذا الخط، ثم يعيد فكها عند الطرف الآخر. هذا بالضبط ما تفعله مع الإشارات الصوتية والبيانات.

عادة ما يتم وضع وحدة TRAU بين وحدة BSC ومركز MSC في بنية الشبكة. وظيفتها المركزية هي:

- الضغط (Compression): عندما يتم إجراء مكالمة من هاتف محمول، يكون الصوت مُشفرًا بتنسيق معين (مثل HR-AMR في شبكات GSM). تقوم الـ TRAU بتحويل (Transcoding) هذا الصوت من تنسيقه الأصلي إلى تنسيق آخر مضغوط بشكل أكبر (مثل 64 kbps PCM) قبل إرساله عبر الشبكة الأساسية (Core Network) نحو الطرف الآخر للمكالمة.

- فك الضغط (Decompression): عند استقبال بيانات صوتية مضغوطة قادمة من الشبكة الأساسية (مثل مكالمة من هاتف أرضي)، تقوم الـ TRAU بفك ضغطها وتحويلها مرة أخرى إلى التنسيق المناسب للإرسال عبر الواجهة الهوائية إلى الهاتف المحمول.

الفوائد الرئيسية لوحدة TRAU

وجود هذه الوحدة يجلب فوائد كبيرة لمشغلي الشبكات والمستخدمين:

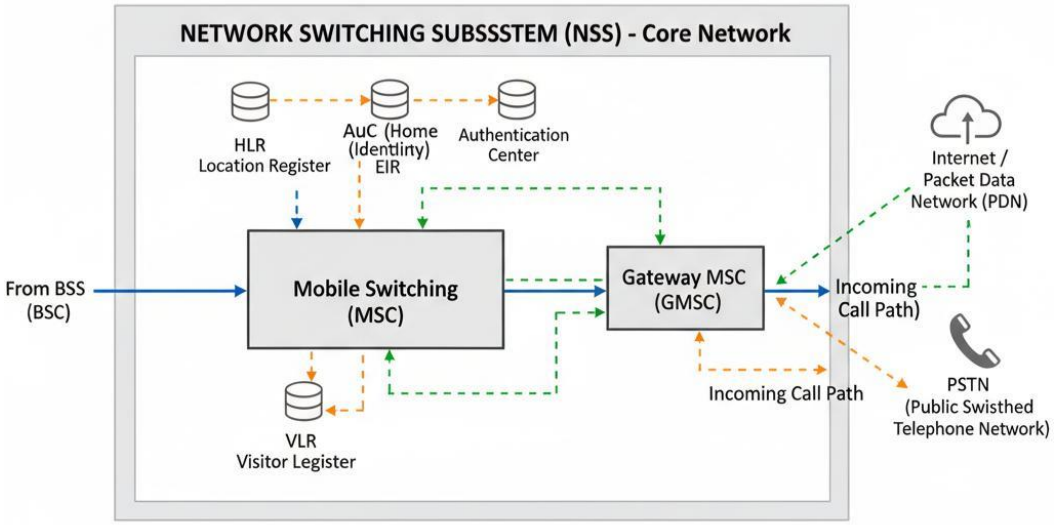
- الاستخدام الأمثل للنطاق الترددي: يعد الطيف الراديوي موردًا محدودًا ومكلفًا. من خلال ضغط البيانات الصوتية، تسمح الـ TRAU بتمرير عدد أكبر من المكالمات المتزامنة عبر نفس القناة أو وصلة الشبكة، مما يزيد من سعة الشبكة بشكل كبير دون الحاجة إلى بنية تحتية إضافية مكلفة.

- تحسين جودة الصوت: على الرغم من أن الضغط قد يبدو وكأنه يقلل الجودة، فإن خوارزميات الضغط الحديثة (مثل AMR) مصممة للحفاظ على جودة صوت عالية مع تقليل حجم البيانات. كما تسمح بالتكيف مع ظروف الشبكة، حيث يمكنها تخفيض معدل البت (مزيد من الضغط) عند ضعف الإشارة للحفاظ على استمرارية المكالمة بدلاً من انقطاعها.

- التكيف (Adaptation): كما يشير اسمها، فهي مسؤولة عن "التكيف" بين المعدلات والتنسيقات المختلفة المستخدمة في الجزء اللاسلكي من الشبكة (الهواء) والجزء السلكي منها (الشبكة الأساسية)، مما يضمن توافقًا سلسًا.

ثالثاً مركز الشبكة – Network Switching Subsystem

نظام NSS هو المركز العصبي أو "الدماغ" للشبكة الخلوية. بينما تعتني المكونات السابقة (مثل BTS و BSC) بالاتصال اللاسلكي المباشر مع الهاتف، فإن NSS مسؤول عن جميع العمليات المنطقية المعقدة التي تجعل هذا الاتصال مفيداً وآمناً وقابلاً للفوترة. فهو يدير معالجة المكالمات، وتوجيهها، وخدمات المشتركين، والاتصال بالعالم الخارجي.



يعتبر Mobile Services Switching Centre (MSC) المكون الرئيسي داخل نظام NSS، وهو المسؤول عن تنسيق جميع العمليات الحيوية.

الوظائف الأساسية لـ MSC:

تحويل المكالمات (Call Switching)

هذه هي الوظيفة الأساسية للمركز. يقوم الـ MSC بتأسيس وإدارة وتوجيه وإنهاء جميع المكالمات الصوتية وجلسات البيانات. عندما تقوم بإجراء مكالمة، فإن طلبك يصل إلى الـ MSC، الذي يعمل كمحور توجيه ذكي. فهو يحدد مكان المتلقي (هل هو على نفس الشبكة؟ على شبكة أخرى؟ على شبكة أرضية؟) ويوجه المكالمة عبر المسار الصحيح لإتمامها.

إدارة خدمات المشتركين (Mobile Service Management)

- المصادقة (Authentication): بالتعاون مع قواعد البيانات (مثل HLR)، يتأكد الـ MSC من هوية المشترك وصلاحية اشتراكه قبل السماح له باستخدام الخدمة.
- التسجيل وتحديث الموقع (Registration & Location Updating): عند تشغيل هاتفك، يسجل نفسه في الشبكة عبر الـ MSC. وعندما تتنقل، يقوم الـ MSC بتحديث موقعك الحالي في قواعد البيانات، مما يسمح للشبكة بتوجيه المكالمات والرسائل إليك أينما كنت.
- إدارة التسليم (Handover Management): بين الـ MSCs المختلفة، عندما تنتقل خلال تنقلك من منطقة يتحكم فيها MSC إلى منطقة أخرى، يتولى الـ MSC تنسيق عملية نقل اتصالك بشكل سلس دون انقطاع.

تتواصل MSC مع مكونات NSS الاخرى. كل مجموعة من المناطق (BSCs) يديرها MSC واحد أو اكتر او قد يدير شبكة كلها MSC واحد، اي يمكن لـ MSC واحد إدارة شبكة صغيرة بالكامل، أو يمكن أن تعمل عدة وحدات MSC معًا لإدارة شبكة وطنية كبيرة. حيث من الأسفل يتصل الـ MSC بعدة وحدات BSCs، مما يمنحه سيطرة على منطقة جغرافية واسعة. داخل NSS يتواصل مع جميع قواعد البيانات المركزية (HLR, VLR, EIR) للحصول على معلومات المشتركين.

قواعد البيانات المركزية (Central Databases)

تُشكل قواعد البيانات العمود الفقري للبنية التحتية الشبكة، حيث تتعامل مع تخزين وإدارة معلومات المشتركين والأجهزة بشكل آمن ومنظم.

السجل Home Location Register

يعتبر قاعدة البيانات الأساسية والدائمة في الشبكة، حيث يحتفظ بالمعلومات الشاملة لكل مشترك مسجل. يشمل ذلك البيانات الأساسية مثل الرقم الدولي للمشترك (IMSI) ورقم الهاتف (MSISDN)، بالإضافة إلى خصائص الخدمات المشترك فيها ومعلومات الموقع الحالية. يعمل HLR كمستودع مركزي لجميع البيانات الحيوية المتعلقة بحسابات المشتركين.

السجل Visitor Location Register

يمثل قاعدة البيانات المؤقتة التي تخدم منطقة MSC محددة. يعمل VLR كنسخة محلية من HLR، حيث يخزن معلومات مختصرة عن جميع المشتركين المتواجدين حاليًا ضمن نطاقه الجغرافي. يتم دمج VLR بشكل وثيق مع MSC لضمان كفاءة الوصول إلى البيانات وتقليل زمن الاستجابة.

سجل Equipment Identity Register

يعد قاعدة البيانات الأمنية المتخصصة في إدارة وتحديد هوية الأجهزة المتصلة بالشبكة. يعتمد EIR على نظام التصنيف باستخدام IMEI، حيث يحتفظ بقوائم الأجهزة المسموح بها (White List) والمشبوهة (Grey List) والمحظورة (Black List). يساهم هذا السجل بشكل كبير في تعزيز أمان الشبكة ومنع الاحتيال.

وحدات البوابة – Gateway Mobile Services Switching Centre

تُعد وحدة GMSC عنصر الربط الحيوي بين الشبكة الداخلية لمشغل الخدمة والعالم الخارجي، حيث تؤدي دور البوابة الذكية التي تنظم حركة المرور الصادرة والواردة.

الوظيفة الأساسية:

تعمل كمنفذ اتصال مركزي للشبكات الأخرى، سواء كانت شبكات خلوية تابعة لمشغلين آخرين أو شبكات الهاتف الثابت (PSTN). عند ورود مكالمة إلى مشترك في الشبكة، تصل أولاً إلى الـ GMSC، الذي يتحمل مسؤولية تحديد موقع المشترك المستهدف وتوجيه المكالمة بشكل صحيح.

آلية العمل:

1. استقبال المكالمات الواردة: تستقبل المكالمات القادمة من الشبكات الخارجية.
2. الاستعلام عن الموقع: تتصل فوراً بـ HLR للاستعلام عن موقع المشترك المستهدف الحالي.
3. التوجيه الذكي: توجه المكالمة إلى MSC الذي يخدم المشترك في موقعه الحالي.
4. إدارة المسارات: تتحكم في مسارات الاتصال وتضمن الجودة.

رابعاً شبكة النقل (Backhaul)

تشكل شبكة النقل العمود الفقري للبنية التحتية للاتصالات، حيث تربط أبراج الاتصالات (BTS) بمراكز التحكم (BSC/MSC) وبعضها البعض. تعتمد هذه الشبكة على تقنيات نقل قوية مثل الألياف الضوئية وروابط الميكروويف لضمان نقل البيانات بسرعات عالية وموثوقية كبيرة. يتم ربط أبراج الاتصالات (BTS) بمراكز التحكم (BSC/MSC) بعدة أنماط:

النمط النجمي (Star Topology)

يعمل النمط النجمي على مبدأ المركزية، حيث تتصل جميع الأبراج المحيطية بمحطة أساسية مركزية واحدة. في هذا النموذج، تتدفق جميع البيانات من الأبراج إلى المركز الذي يقوم بمعالجتها وتوجيهها. نجد هذا النموذج شائعاً في المناطق الحضرية حيث تكون المحطة المركزية قادرة على إدارة عدة أبراج محيطة.

النمط السلسلي (Chain Topology)

يتميز هذا النمط بتوصيل الأبراج بشكل متسلسل، حيث يعتمد كل برج على الذي يسبقه في نقل البيانات. هذا النموذج مفيد في المناطق الخطية مثل الطرق السريعة والأنفاق، حيث يتم نشر الأبراج على امتداد مسار محدد. تعتبر كفاءة التكلفة من أبرز مزايا هذا النموذج.

النمط الحلقي (Ring Topology)

يوفر النمط الحلقي مسارين مختلفين لتدفق البيانات، مما يزيد من موثوقية الشبكة. إذا تعطل أحد المسارات، يمكن للبيانات أن تسلك المسار البديل. هذا النموذج مناسب للمناطق التي تتطلب استمرارية الخدمة بشكل عالٍ، مثل المناطق الصناعية والتجارية.

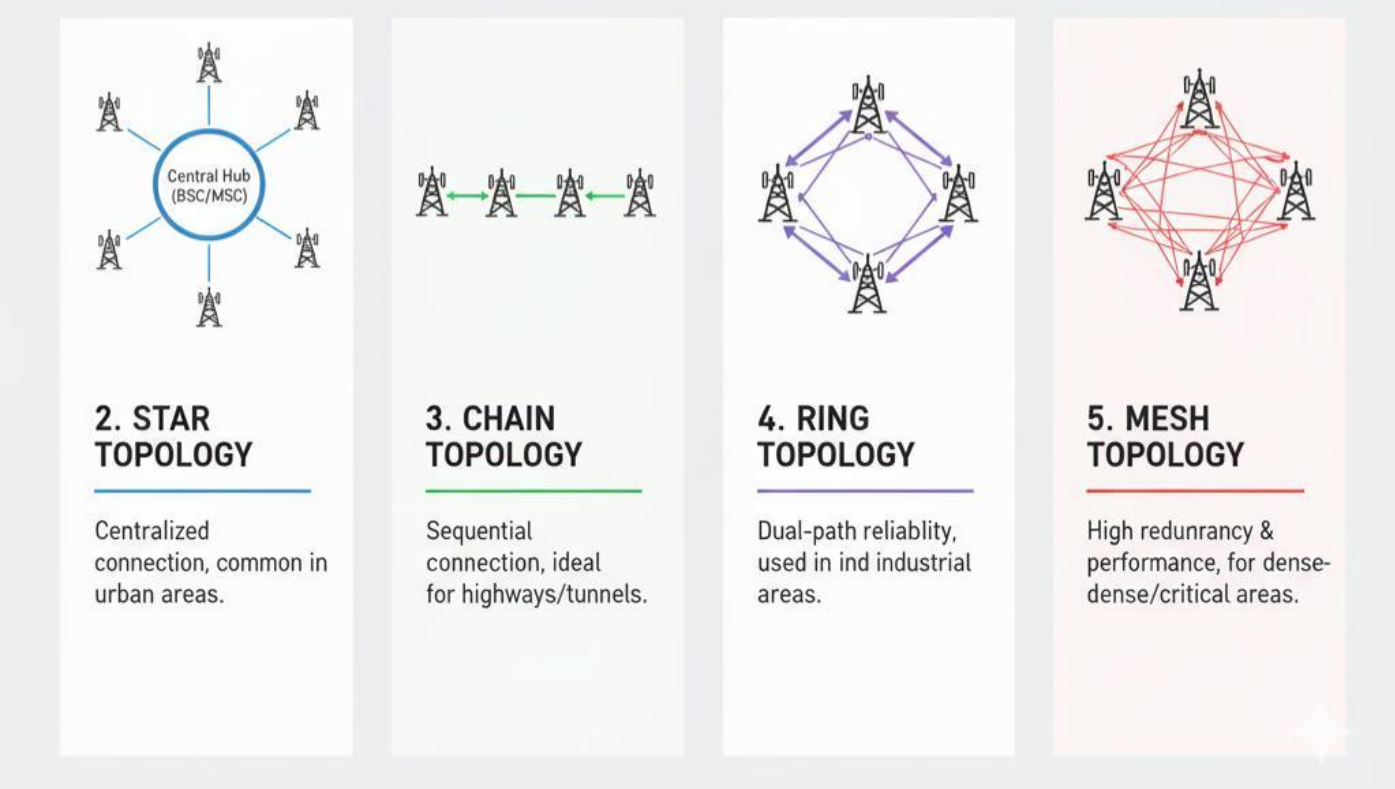
Exhibit 11-3 Small-Group Networks and Effective Criteria

Criteria	Networks: Chain	Wheel	All Channel
Speed	Moderate	Fast	Fast
Accuracy	High	High	Moderate
Emergence of a leader	Moderate	High	None
Member satisfaction	Moderate	Low	High

النمط الشبكي الكامل (Mesh Topology)

يمثل هذا النموذج أعلى مستويات المرونة والموثوقية، حيث تتصل جميع الأبراج مع بعضها بشكل مباشر. نجد هذا النموذج في المناطق عالية الكثافة السكانية والمناطق الحرجة التي تتطلب أداءً عالياً. رغم تكلفته العالية، إلا أنه يضمن استمرارية الخدمة حتى في حالات الأعطال.

عند إجراء مكالمة بين هاتفين، تنتقل البيانات عبر شبكة النقل الخلفي باستخدام أحد هذه الأنماط. في المناطق الريفية، قد يستخدم النموذج السلسلي حيث تنتقل المكالمة عبر سلسلة من الأبراج. أما في المدن الكبرى، فيمكن استخدام النموذج الشبكي الكامل لنقل البيانات بأقل زمن ممكن. الجدول التالي يوضح مزايا وعيوب كل منها:



آلية عمل الشبكة

تُعد آلية اتصال المحطة المتنقلة (MS) بالشبكة نموذجاً للكفاءة التقنية، حيث تبدأ بإرسال الهاتف طلب الارتباط إلى أقرب محطة قاعدة (BTS) مصحوباً ببيانات التعريف من شريحة SIM.

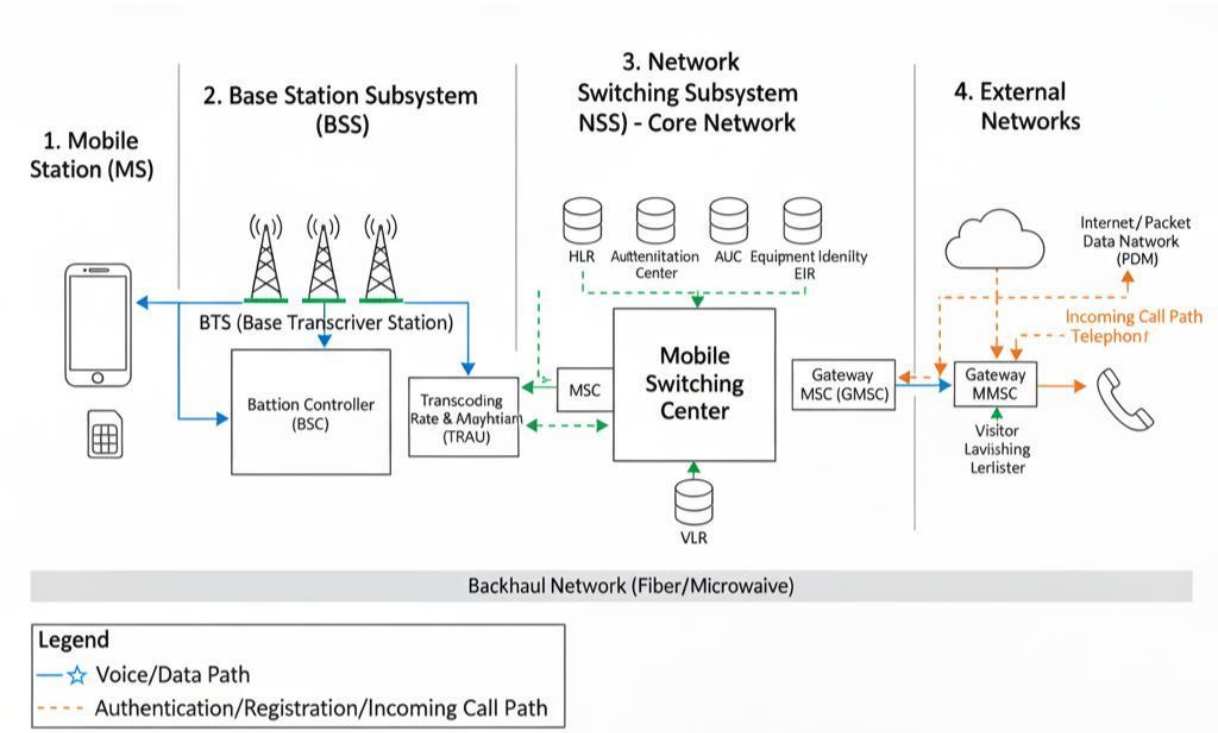
تُنقل الإشارة عبر وحدة التحكم في المحطة الأساسية (BSC) ووحدة معالجة الإشارة (TRAU) إلى مركز تحويل الخدمات المتنقلة (MSC).

يُجري الـMSC استعلاماً في سجل الموطن (HLR) وسجل الزائرين (VLR) لتحديد موقع المستخدم الهدف، بينما يتحقق سجل هوية المعدات (EIR) من هوية الجهاز.

تُوجه المكالمة عبر بوابة MSC (GMSC) للاتصال بالشبكات الخارجية، مع الاعتماد على شبكة النقل الخلفي (Backhaul) من ألياف ضوئية وروابط ميكروويف.

أثناء التنقل، تدخل آلية التسليم (Handover) حيز التنقل، حيث تنتقل الخدمة بين محطات BTS المختلفة دون انقطاع، مع مراقبة مستمرة لجودة الإشارة وضبط قوة الإرسال تلقائياً.

تعمل هذه المكونات المتكاملة عبر واجهات قياسية مثل واجهة Um بين الهاتف والـBTS، وواجهة A بين الـBSC والـMSC، لضمان اتصال مستقر وآمن مع الحفاظ على استمرارية الخدمة خلال تنقل المستخدم بين مناطق التغطية المختلفة..



تطور شبكات الهاتف المحمول

البداية: الجيل الأول (1G) – عصر الصوت التناظري

في الثمانينيات، ظهر الجيل الأول كبداية للهاتف المحمول. كان يعتمد على التقنية التناظرية وكان يقتصر على خدمة واحدة فقط هي المكالمات الصوتية. كانت جودة الصوت منخفضة والأجهزة كبيرة الحجم، لكنه مثل الخطوة الأولى نحو التحرر من التلفاز السلكي.

التحول الرقمي: الجيل الثاني (2G) – ولادة الرسائل والبيانات

مع التسعينيات، جاء الجيل الثاني بالتقنية الرقمية. أحدث هذا ثورة حقيقية، حيث قدم خدمة الرسائل النصية (SMS) وأتاح أول اتصال بطيء بالإنترنت. كان التحول من التناظرية إلى الرقمية هو الأساس الذي بنيت عليه كل التطورات اللاحقة، مع تحسن كبير في جودة الصوت والأمان.

ثورة الإنترنت: الجيل الثالث (3G) – الإنترنت في جيبك

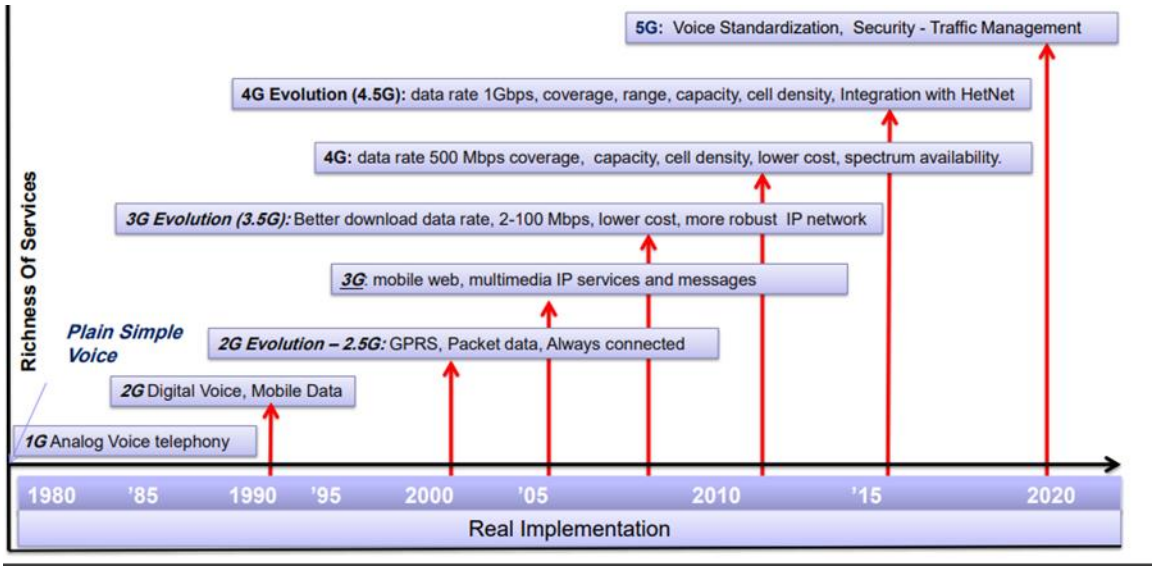
في مطلع الألفية، حوّل الجيل الثالث الهاتف إلى بوابة إنترنت. أصبح تصفح الويب ومشاهدة مقاطع الفيديو وتحميل الملفات ممكناً بسرعات معقولة. هذه الثورة هي ما مهد الطريق لظهور الهواتف الذكية وتطبيقاتها بشكلها الحديث، حيث أصبح الإنترنت حقاً في متناول اليد.

عصر السرعة: الجيل الرابع (4G) – عالم الستريم والايفات

خلال العقد الماضي، أسس الجيل الرابع لعالم الهواتف الذكي الحقيقي. بسرعات عالية جداً، أصبح بث الفيديو عالي الجودة والمكالمات الجماعية عبر الإنترنت والألعاب عبر الشبكة أمراً سلساً. أصبحت الشبكة قوية لتدعم الاقتصاد التطبيقي بالكامل، من "أوبر" إلى "نتفليكس".

المستقبل: الجيل الخامس (5G) – أكثر من مجرد هاتف:

اليوم، يمثل الجيل الخامس نقلة نوعية تتجاوز الهواتف. فهو مصمم لربط كل شيء من السيارات ذاتية القيادة والمصانع الذكية إلى أجهزة الاستشعار في المدن. بسرعات فائقة وزمن تأخير شبه منعدم، يعد 5G بتحويل المجتمع الرقمي وتمكين إنترنت الأشياء على نطاق غير مسبوق.



خصائص شبكات الهاتف المحمول

الاتصالات الرقمية

تعتمد الشبكات الحديثة على التقنيات الرقمية منذ ظهور الجيل الثاني، مما يسمح بضغط الإشارات وكفاءة طيفية عالية. تتيح هذه التقنيات نقل عدد أكبر من المكالمات مقارنة بالنظم التناظرية، بالإضافة إلى تمكين نقل البيانات بسرعات متقدمة تدعم التطبيقات الحديثة.

البنية التحتية المتكاملة

تعتمد الشبكات على منظومة متكاملة من المحطات الأساسية المنتشرة جغرافياً، تختلف في أحجامها وطريقة نشرها حسب الكثافة السكانية وطبيعة المنطقة. تتراوح هذه المحطات بين الأبراج العالية في المناطق الريفية والوحدات الصغيرة المدمجة في المناطق الحضرية.

الاتصال ثنائي الاتجاه المتزامن

تعمل الأجهزة المحمولة بتقنية الإرسال والاستقبال المتزامن، باستخدام ترددات منفصلة لكل اتجاه. هذه التقنية تمكن المحادثات المباشرة دون تأخير، وتدعم كافة أشكال الاتصالات الصوتية والمرئية.

حماية البيانات والتشفير

تتميز الشبكات بتطبيق تقنيات تشفير متقدمة لحماية المستخدمين وتضمن أمن ارسال المعلومات. تعمل هذه الأنظمة بشكل تلقائي وخلفي دون الحاجة لتدخل المستخدم.

موثوقية الأداء وجودة الخدمة

تعتمد الشبكات على تقنيات تبديل الرزم التي تضمن وصول البيانات دون أخطاء، مع الحفاظ على استمرارية الخدمة أثناء تنقل المستخدم بين الخلايا. يتم توجيه البيانات عبر المسارات المثلى لضمان جودة الخدمة.

إدارة الطاقة الذكية

تتميز الأجهزة المحمولة بقدرتها على ضبط استهلاك الطاقة تلقائياً حسب قوة الإشارة وبعد المحطة الأساسية. يضمن هذا النظام عمراً أطول للبطارية مع الحفاظ على جودة الاتصال.

تحديد الموقع والتنقل السلس
تمتلك الشبكات قدرة متطورة على تتبع مواقع الأجهزة وإدارة عملية الانتقال بين الخلايا. تعمل هذه الآلية بشكل تلقائي لضمان استمرارية الخدمة أثناء حركة المستخدم..