

2. فهم مبدأ تقاسم الطيف الترددي:

تستخدم الاتصالات اللاسلكية الأمواج الكهرومغناطيسية (أو الكهرومغناطيسية) لإرسال الإشارات الحاملة للمعلومات. تنتشر الأمواج الكهرومغناطيسية الحاملة للمعلومات من المرسل ضمن البيئة المحيطة بالمرسل (وسط الانتشار أو قناة الانتشار). وتتأثر الأمواج أثناء انتشارها من ظواهر الانعكاس Reflection، والانتثار Diffraction، والتخميد Attenuation، وتمثل قناة الانتشار الجزء الأعقد ضمن أي نظام اتصالات لاسلكي.

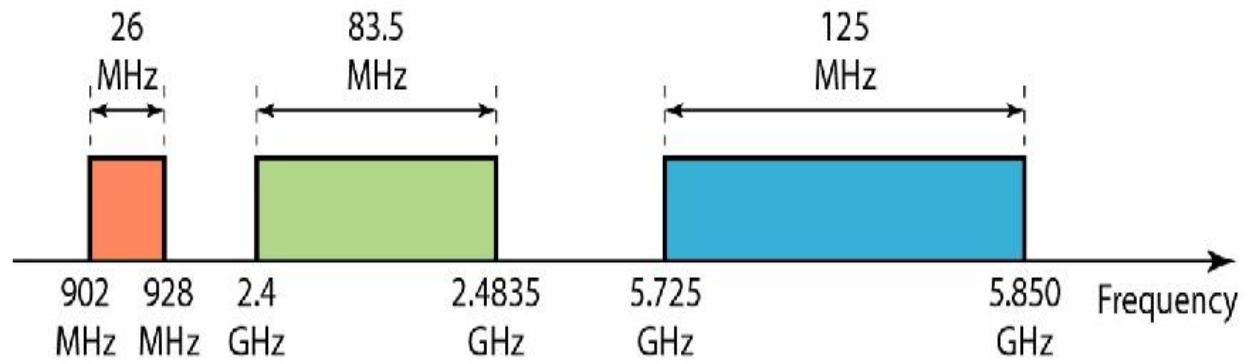
تنتشر الأمواج الكهرومغناطيسية ضمن مجال واسع من الترددات (وبالتالي أطوال الموجه). يُدعى مجال الترددات وأطوال الموجه هذا بالطيف الكهرومغناطيسي (أو الطيف الترددي). يبين الشكل 1-2 تقسيمات الطيف الترددي.

Band	Frequency range
HF Band	3 to 30 MHz
VHF Band	30 to 300 MHz
UHF Band	300 to 1000 MHz
L Band	1 to 2 GHz
S Band	2 to 4 GHz
C Band	4 to 8 GHz
X Band	8 to 12 GHz
Ku Band	12 to 18 GHz
K Band	18 to 27 GHz
Ka Band	27 to 40 GHz
V Band	40 to 75 GHz
W Band	75 to 110 GHz
Mm Band	110 to 300 GHz

الشكل 1-2: تقسيمات الطيف الترددي

تقوم الحكومات عادة بتطبيق قوانين صارمة على استخدام الطيف الترددي والتي قد يكلف الحصول على ترخيص للعمل ضمنها مبالغ طائلة. لاسيما تلك المستخدمة لأغراض البث الإذاعي والتلفزيوني إضافة إلى الاتصالات الصوتية واتصالات نقل المعطيات. وعلى الرغم من ذلك فقد جرى الاتفاق عالمياً على تخصيص بعض المجالات الترددية للاستخدامات الصناعية العلمية والطبية ISM bands دون الحاجة إلى ترخيص وفق الشكل 2-2.

تعمل معظم الأنظمة اللاسلكية المنزلية، مثل: WiFi, Bluetooth, الخ... ضمن مجالات ISM من الطيف الترددي، بينما تعمل أنظمة أخرى، مثل: WiMax، الأنظمة الخلوية، الخ... خارج مجالات ISM.



الشكل 2-2: المجالات الترددية ISM

إن الطيف الترددي مورد من الموارد المحدودة جداً، ويشمل استخدامه مختلف أنواع النظم والتطبيقات اللاسلكية، إذ يمتد ليشمل التطبيقات التجارية والبث العام (التلفزيوني والراديو) والأنظمة العسكرية والمدنية، ... ولكل نظام من النظم والتطبيقات المذكورة طيف ترددي محدد ومخصص له، ويبقى أحد التحديات الأساسية في النظم والاتصالات اللاسلكية هو الاستخدام الفعال لهذا الطيف الترددي وتوفير آليات مناسبة لتنسيق ولوج المشتركين (أو مستخدمي هذا النظام) إلى هذا الطيف.

تلجأ النظم اللاسلكية إلى تقنيات متنوعة ليتشارك مشترك نظام معين الطيف الترددي المخصص لهذا النظام، ويمكن تصنيف تلك التقنيات وفق التالي: تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access، تقنيات النفاذ العشوائي Random access، تقنيات الطيف المنتشر Spread spectrum.

1.2. تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access

تقسم تلك التقنيات إلى الطرق التالي:

النفاذ المتعدد باقتسام التردد (FDMA) Frequency-Division Multiple Access.

النفاذ المتعدد باقتسام الزمن (TDMA) Time-Division Multiple Access.

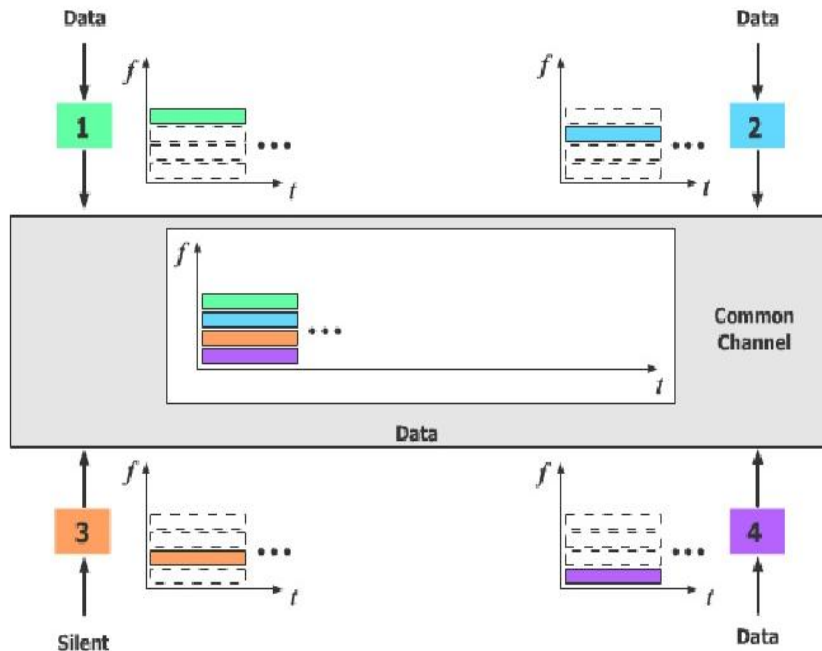
النفاذ المتعدد باقتسام الرمز (CDMA) Code-Division Multiple Access.

النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).

النفاذ المتعدد باقتسام التردد FDMA:

يتم تقسيم الحزمة الترددية المخصصة لنظام الاتصالات اللاسلكية إلى حيزات ترددية صغيرة، كل حيز ترددي (channel) يُمنح لمستخدم واحد ويفصل بين هذه الحيزات الترددية ما يسمى بحزمة أمان (Guard band) لمنع التداخل بين الحيزات المتجاورة، وهذا يتطلب وجود مرشحات عالية الجودة والدقة في النظام لتحقيق هذا العزل. إن حجم الحيز الترددي يتعلق بنوع النظام اللاسلكي وبنوع الإشارة التي تُرسل على هذا الحيز وعند استخدام المحطة اللاسلكية لحيز ما لا يمكن لمحطة ثانية في نفس المنطقة استخدام نفس الحيز.

يبين الشكل 2-3 مثلاً لقناة اتصال بحزمة ترددية محددة لنظام اتصال يشارك فيها أربعة مستخدمين، جرى تخصيص كل منهم بحيز ترددي يُرسل من خلال معطياته طوال فترة تخصيصه بهذا الحيز.



الشكل 2-3: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد

تتيح هذه التقنية إمكانية التوافق مع التجهيزات اللاسلكية التي تعمل وفق الأنظمة التقليدية (Conventional FM)، كما تؤمن سهولة في بناء تخطيط الشبكات التي تستخدم هذه التقنية، كذلك من مميزات عدم حرجية التزامن في الأنظمة العاملة وفق هذه التقنية. ولكن بالمقابل تتطلب تجهيزاتها مرشحات عالية الجودة.

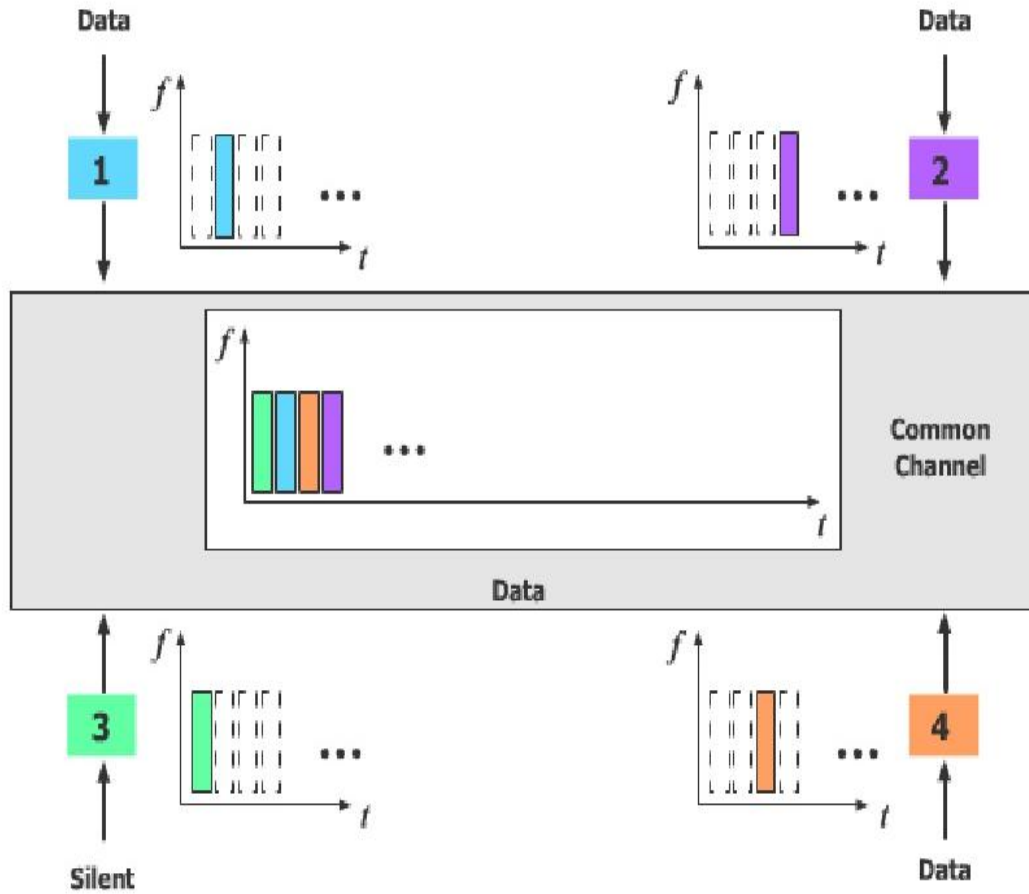
من أهم النظم التي تستخدم تقنية الـ FDMA هي: الأنظمة التماثلية الهاتفية النقالة مثل (TACS, AMPS) والأنظمة الرقمية النقالة مثل (P25, TETRAPOL, EDACS).

النفاز المتعدد باقتسام الزمن TDMA:

وفق هذه التقنية تنقسم عدة محطات لمستخدمين ضمن نظام اتصالات نفس الحزمة الترددية للإرسال وحزمة ترددية أخرى للاستقبال. يجري تخصيص كل محطة ضمن هذا النظام بحيز زمني محدد ضمن الحزمة الأولى يقوم خلالها بإرسال المعطيات، كما ويخصص له حيز زمني آخر ضمن الحزمة الأخرى لاستقبال المعطيات. تقوم كل محطة بإرسال المعطيات بالتتابع خلال الحيز الزمني المخصص لها فقط، مما يتيح لعدة محطات باستخدام نفس الحزمة الترددية. يبين الشكل 4-2 مثلاً لقناة اتصال بحزمة ترددية محددة لنظام اتصال يشارك فيها أربعة مستخدمين، جرى تخصيص كل منهم بحيز زمني ليُرسل من خلال معطياته طوال فترة تخصيصه بهذا الحيز. وهكذا فالمحطة لا تُرسل أو تستقبل طوال الوقت وإنما خلال الحيز الزمني المخصص لها فقط.

تستخدم هذه التقنية الحزمة الترددية بكفاءة أكثر من تقنية FDMA، كما أنها تعطي إمكانية نقل المعطيات بمعدلات عالية عبر تخصيص عدة حيزات زمنية معاً لنفس المستخدم، ولكن بالمقابل تكمن الصعوبة الأساسية بأنظمة TDMA بتحقيق التزامن بين المحطات المختلفة، فإن التزامن يعتبر من البارامترات الحرجة جداً في النظم التي تستخدم هذه التقنية، ويزيد من هذه الصعوبة التأخير الزمني الناتج عن انتشار إشارات المحطات المتباعدة عن بعضها البعض، وللتعويض عن هذا التأخير يجري إدخال زمن حماية بين كل حيز زمني وآخر، كما أنها تعاني أكثر من مشاكل تعدد المسارات التي تتعرض لها الإشارة أثناء انتشارها من المرسل إلى المستقبل.

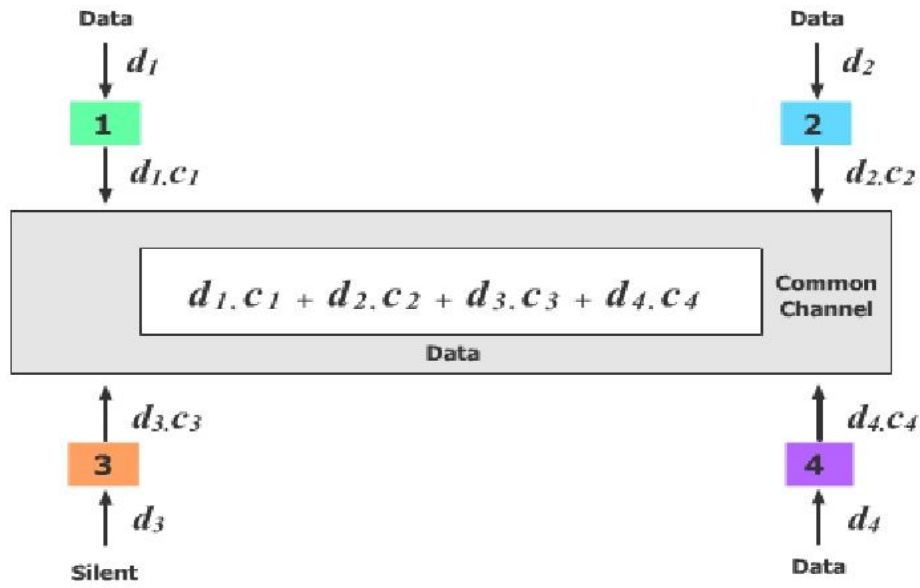
من أهم الأنظمة التي تستخدم تقنية TDMA هي: نظام الاتصالات النقالة GSM، و IS-136، كما ويستخدم بشكل واسع في نظم السوائل.



الشكل 4-2: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن

النفاذ المتعدد باقتسام الرماز CDMA:

تختلف تقنية CDMA عن تقنية FDMA بأن محطة واحد تشغل كامل الحزمة الترددية المخصصة، وتختلف عن تقنية TDMA بأنه بإمكان جميع المحطات الإرسال معاً. إذاً، بهذه التقنية تحمل الحزمة الترددية جميع إشارات المحطات بأن واحد. لتحقيق ذلك بدون حصول تداخل أو تشويش بين إشارات المحطات، تستخدم CDMA تقنية الطيف المنتشر ونظام ترميز خاص. يعتمد نظام الترميز على نظرية الترميز (coding theory)، ووفقها يجري تخصيص كل محطة (مشارك) برماز Code يتألف من سلسلة من الأعداد الثنائية تدعى الرقاقة (Chip). يجري اختيار الرقاقات بحيث تحقق خاصية التعامدية فيما بينها. يبين الشكل 5-2 نظام CDMA يتألف من أربعة محطات كلاً منها مخصصة برقاقة C_x .



الشكل 5-2: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الرماز

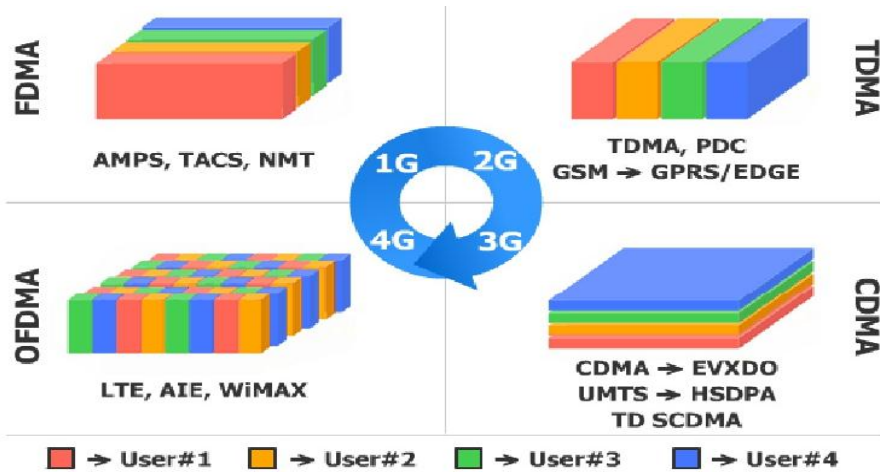
يكون معدل إرسال المحطة مساوياً لمعدل لمعطيات المحطة مضروباً بعدد خانات الرقاقة وبذلك يكون طيف الإشارة المرسل أعلى بكثير من طيف الإشارة الأصلية.

إذا رغبت محطة ما بإرسال معطيات، فإنها ترسل الرقاقة الخاصة بها أو عكسها بحسب قيمة البت قيد الإرسال "1" أو "0"، أي $d_1.c_1$ ، حيث d_1 البت قيد الإرسال للمحطة 1، و c_1 الرقاقة الخاصة بالمحطة المؤلفة من عدد من البتات. وبهذا تتراكب رقاقات المحطات ضمن قناة الانتشار. يبين الشكل 5-2 السابق الإشارة المتراكبة ضمن قناة الانتشار المرسل من المحطات الأربعة. ونظراً لخاصية التعماد بين رقاقات المحطات فيمكن استخلاص إشارة أية محطة من المحطات المرسل عن طريق إجراء عملية الجداء الداخلي بين رقاقة المحطة المراد استخلاص إشارتها والإشارة المستقبلية من قناة الانتشار، أي بحال استخلاص إشارة المحطة 1: $Data = (d_1.c_1 + d_2.c_2 + d_3.c_3 + d_4.c_4).c_1$.

يمكن للنظم العاملة وفق تقنية CDMA أن تخدم عدد أكبر من المشتركين ضمن حزمة ترددية محددة مقارنة مع تقنيات FDMA و TDMA، كما أن الطاقة المصدرة للإرسال هي أقل من مثيلاتها مقارنة مع باقي التقنيات.

من أهم النظم التي تستخدم تقنية CDMA هي: أنظمة الهاتف النقال CDMAOne, CDMA2000 و 3G.

من الملاحظ أنه يمكن اعتبار تقنية CDMA كإحدى تقنيات الطيف المنثور كما سيجري شرحه.



الشكل 7-2 تقنيات النفاذ المتعدد وأمثلة عن الأنظمة المستخدمة لها

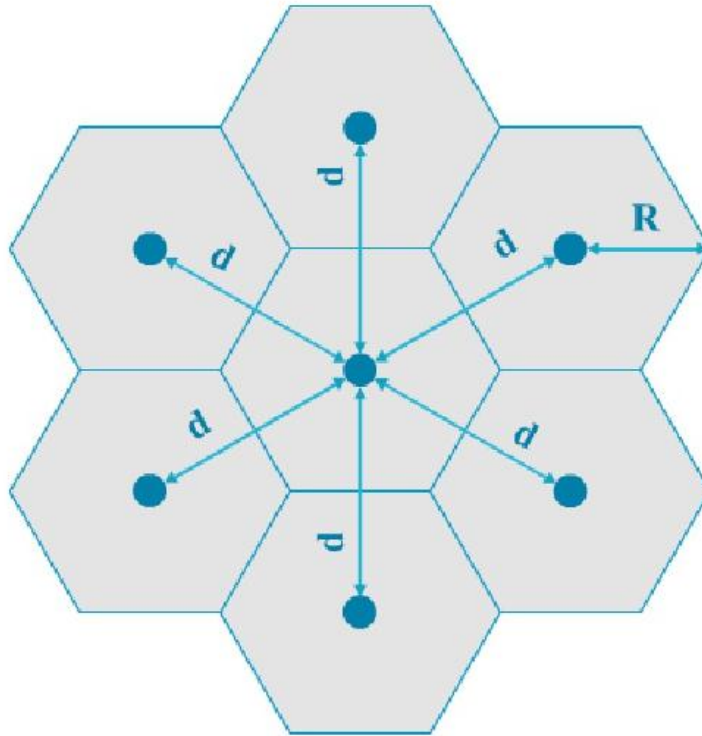
مقدمة: وصف شبكات الاتصالات الخلوية Cellular networks

تعتبر نظم الاتصالات الخلوية حالياً واحدة من بين أعظم الإنجازات في حقل الاتصالات وتبادل المعطيات وأكثرها نجاحاً، وتُعتبر التقنية الخلوية أساساً للاتصالات النقالة وتدعم مستخدمين بأماكن من الصعب تخديمهم بالشبكة الهاتفية التقليدية.

إن جوهر عمل الشبكة الخلوية هو استخدام محطات إرسال متعددة باستطاعات منخفضة، وبما أن مجال تغطية المرسل محدودة يجري تقسيم منطقة ما إلى خلايا تقوم محطة إرسال -محطة قاعدية- بتغطيتها. يجري تخصيص كل خلية بنطاق ترددي محدد، وتختلف النطاقات الترددية المخصصة للخلايا المتجاورة لتجنب التداخل أو التسميع المتبادل crosstalk، ومع ذلك يمكن لخلايا بعيدة نسبياً عن بعضها البعض من استخدام نفس النطاق الترددي.

تشكيل الخلايا:

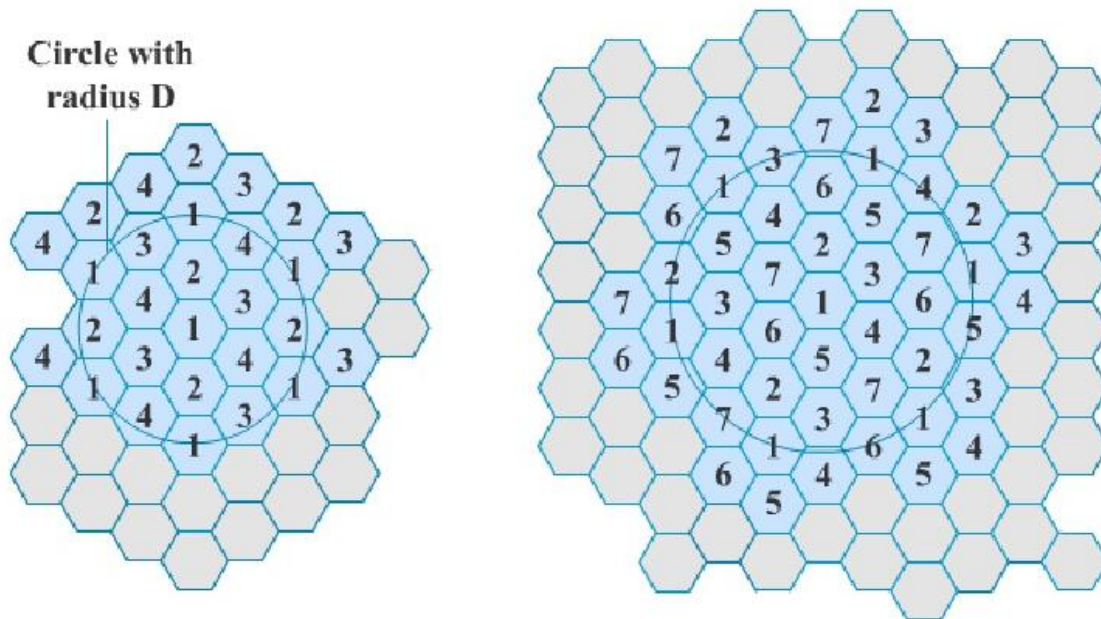
من المفضل، عند تصميم خلايا النظام، أن تكون المحطات القاعدية المتوزعة بمركز كل خلية على مسافات متساوية تقريباً. ويؤمن الشكل السداسي الأضلاع مسافات متساوية بين المحطات القاعدية، كما يبين الشكل 1-7. ولكن، يصعب الحصول عملياً على خلايا بأضلاع سداسية نتيجة جغرافية الأرض المخصصة لعمل النظام، أو طبيعة انتشار إشارة المحطات القاعدية أو صعوبات تقنية بتوضع الهوائيات.



الشكل 1-7: النموذج السداسي للخلايا

إعادة استخدام النطاقات الترددية:

يجري تخصيص الخلايا المتجاورة بنطاقات ترددية مختلفة، ويمكن استخدام نفس النطاق الترددي في خلايا تبعد عن بعضها مسافة ما، مما يسمح باستخدام التردد ذاته لإجراء اتصالات متعددة في خلايا مختلفة. يكمن التصميم في توزيع النطاقات الترددية بتحديد المسافة الدنيا التي يجب أن تفصل بين خليتين تستخدمان ذات النطاق الترددي لكي لا تتداخل إشارتهما مع بعضهما البعض. تتوفر نماذج متعددة تتيح إعادة استخدام النطاق الترددي، حيث يجري توزيع الترددات المتاحة ضمن نطاقات ترددية وتخصيص كل خلية بنطاق ترددي. يظهر الشكل a-7-2 توزيع أربعة نطاقات ترددية، بينما يظهر الشكل b-7-2 توزيع سبعة نطاقات ترددية على خلايا النظام.



الشكل 7-2: (a) توزيع أربعة نطاقات ترددية، (b) توزيع سبعة نطاقات ترددية

زيادة سعة خلية:

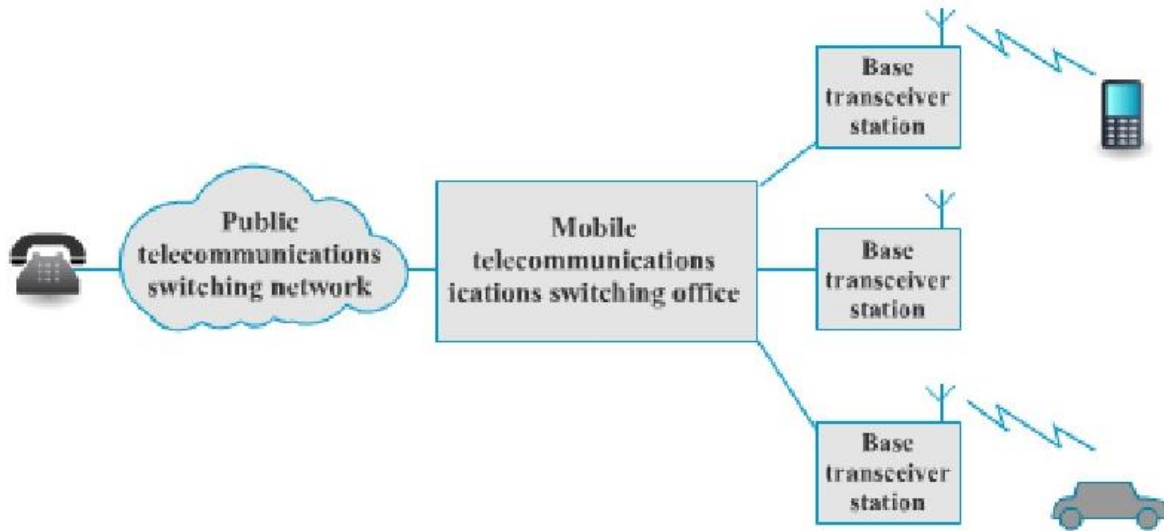
من المحتمل أن تتعرض خلية ما إلى ازدياد عدد المستخدمين داخلها، ما يؤدي بدوره إلى استهلاك مواردها من الترددات ويجعلها غير قادرة على تلبية المزيد من طلبات الخدمة. جرى استخدام عدة حلول للتغلب على هذه الحالة، وهي:

- وضع ترددات جديدة بالخدمة داخل الخلية بحال لم يجر استخدام كامل ترددات النطاق الترددي.
- استعارة تردد من خلية مجاورة بحال لم تكن تلك الخلية في حاجة له في الوقت الراهن، ويمكن توزيع الترددات ديناميكياً وفق الحاجة.

- يمكن في المناطق ذات الكثافة العالية لمستخدمي النظام الخلوي تجزئة الخلية الواحدة إلى عدة خلايا أصغر، ويمكن لتلك الخلايا الناتجة أن تجزأ أيضاً. من الواضح أنه عندما يجري تجزئة الخلايا فإن الاستطاعة المستخدمة يجب تخفيضها لكي تبقى الإشارة داخل نطاق الخلية.
- تجزئة الخلية إلى قطاعات ويخصص لكل قطاع عدد من الترددات وتستخدم المحطة القاعدية هوائيات موجهة باتجاه كل قطاع.

1. مبدأ عمل الشبكات الخلوية:

يبين 3-7 الشكل العناصر الرئيسية لنظام اتصالات خلوي. تقع في مركز كل خلية تقريباً محطة قاعدية base station تتضمن مجموعة من الهوائيات ومتحكم controller وعدد من المرسلات والمستقبلات للاتصال عبر القنوات المخصصة لتلك الخلية. يقوم المتحكم بمعالجة إجرائية الاتصال بين الوحدة المتحركة وباقي الشبكة. يمكن لعدد من الوحدات المتحركة -في أي وقت من الأوقات- من إجراء الاتصال عبر المحطة القاعدية والتحرك ضمن الخلية.



الشكل 3-7: العناصر الرئيسية لنظام خلوي

ترتبط كل محطة قاعدية مع مركز تبديل الاتصالات النقالة Mobile telecommunications switching office (MTSO) الذي يقوم بتخديم عدد من المحطات القاعدية كما يوضح الشكل. ويكون الربط عادة بين MTSO والمحطات القاعدية سلكياً، مع أنه يمكن أن يكون لاسلكياً. تؤمن MTSO الاتصال بين الوحدات المتحركة، كما ترتبط MTSO أيضاً مع شبكة الاتصالات الهاتفية العمومية Public telephone switching network لتأمين الاتصال بين مشترك الهاتف الثابت ومشتركي الشبكة الخلوية. تخصص

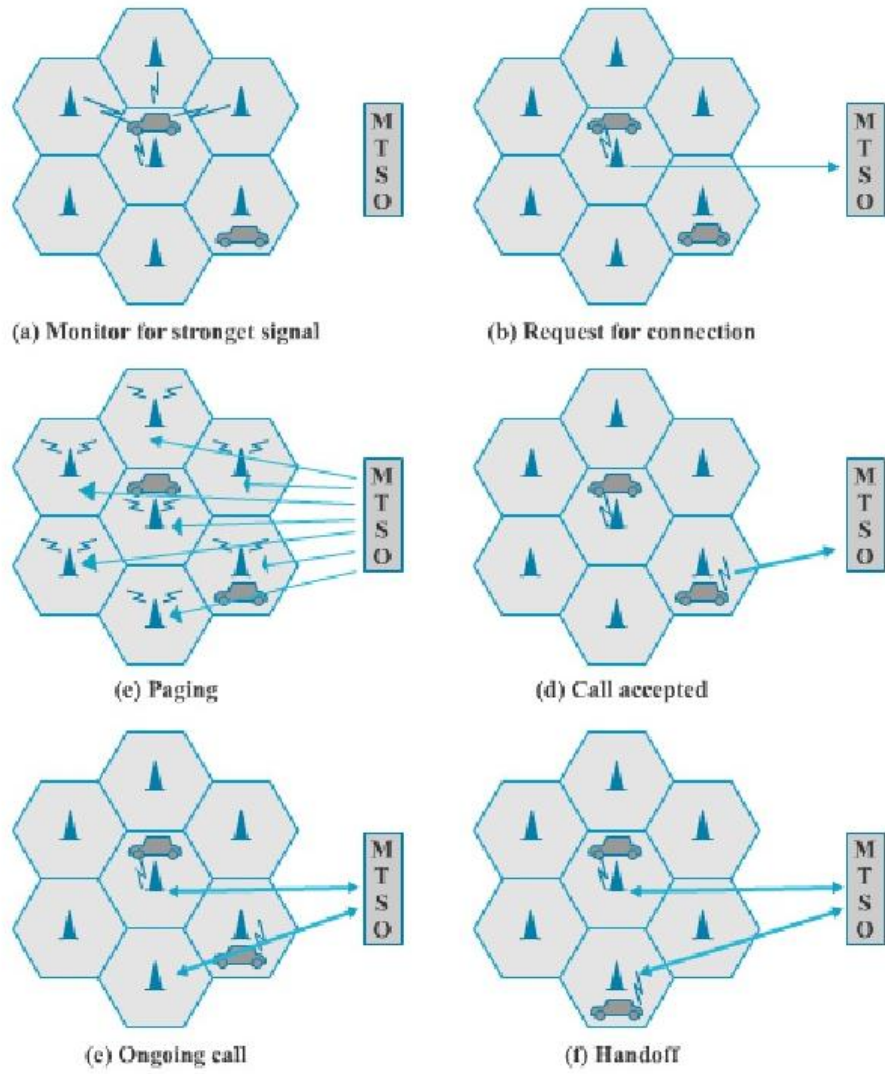
MTSO كل اتصال بقناة صوتية خاصة به أثناء إجراء الاتصال، وتُجري عمليات التسليم -ستُشرح لاحقاً- كما تقوم بمراقبة الاتصال طوال فترة تواجده.

يتوافر نوعان من القنوات بين الوحدة المتحركة والمحطة القاعدية: قنوات التحكم وقنوات "نقل المعلومات". تُستخدم قنوات "نقل المعلومات" Traffic channels لنقل المعلومات الرقمية الأساسية بين طرفي الاتصال. وقد تُمثل المعلومات التي تنقلها هذه القنوات "إشارة كلامية" Speech traffic ضمن اتصال هاتفي أو "معطيات رقمية" data يُرسلها أحد طرفي الاتصال. أما قنوات التحكم فيعتمد عليها النظام الخلوي لإنجاز مهام تنسيق مختلفة ومتشعبة، منها ما هو خاص بالتحكم بأطوار الاتصال المختلفة، ومنها ما يتعلق بتحقيق التزامن بين الشبكة والوحدات المتحركة، أو بتنسيق النشراك في موارد الشبكة.

1.1. خطوات إجراء اتصال:

يبين الشكل 4-7 خطوات إجراء اتصال نموذجي بين وحدتين متحركتين ضمن منطقة تُديرها MTSO واحدة، وهي:

- تهيئة الوحدة المتحركة: تقوم الوحدة المتحركة عند تشغيلها بفحص وانتقاء أقوى إشارة لقناة تحكم تابعة لإحدى المحطات القاعدية المجاورة، الشكل 4-7-a. إذ تقوم كل محطة قاعدية بشكل متكرر بالبث على قناة للتهيئة set up خاصة بها. تجري عمليات التحقق من هوية المحطة المتحركة وتسجيل موقعه الحالي. وطالما بقيت الوحدة المتحركة بوضعية تشغيل تستمر بفحص قنوات التحكم بشكل دوري بهدف مراقبة تحرك الوحدة المتحركة. فإذا دخلت الوحدة المتحركة ضمن نطاق خلية جديدة فسيجري انتقاء المحطة القاعدية التابعة لها. إضافةً لذلك، يجري مراقبة الوحدة المتحركة لأجل إجراء عمليات النداء Paging -ستُشرح لاحقاً.



الشكل 4-7: خطوات إجراء اتصال ضمن MTSO واحدة

- الاتصال الناشئ عن الوحدة المتحركة: تقوم الوحدة المتحركة بإنشاء اتصال بإرسال الرقم المطلوب عبر قناة التهيئة المنتقاة مسبقاً وفق الشكل 2-7-b. قبل إرسال الرقم تتأكد الوحدة المتحركة من خلو قناة التهيئة الصاعدة، وعند التأكد من خلوها تقوم بإرسال الرقم المطلوب إلى المحطة القاعدية، التي ترسل هذا الطلب إلى MTSO. خلال مرحلة إنشاء الاتصال، إذا كانت جميع قنوات نقل المعلومات التابعة للمحطة القاعدية المعنية مشغولة، تجري عدة محاولات متتابعة متكررة لإنشاء الاتصال قبل إعلان فشل تحقيق الاتصال.
- إجرائية النداء Paging: تحاول MTSO إجراء الاتصال مع الوحدة المطلوبة. تُرسل MTSO رسالة النداء إلى بعض المحطات القاعدية بالاعتماد على رقم الوحدة المطلوبة وفق الشكل 2-7-7. تقوم كل محطة قاعدية بدورها بإرسال رسالة النداء عبر قناة التهيئة الهابطة الخاصة بها.
- قبول الاتصال: تتعرف الوحدة المطلوبة - عبر مراقبتها المستمرة لقناة التهيئة الهابطة - على رقمها وتقوم بإجابة المحطة القاعدية، التي بدورها تُرسل الإجابة إلى MTSO. تختار MTSO قناة

اتصال عاملة متاحة لكل محطة من المحطتين القاعديتين مخصصتين للوحدة الطالبة والمطلوبة وتخير كل محطة قاعدية بقناة نقل المعلومات المخصصة لهذا الاتصال، بدورها تُعلم MTSO الوحدة المتحركة التابعة لها بهذه القناة، وفق الشكل 2-7-d.

- استمرار الاتصال: طوال فترة الاتصال، تتبادل الودعتان الإشارات الصوتية أو أية معطيات أخرى عبر المحطات القاعدية و MTSO المعنية. خلال مرحلة الاتصال هذه، إذا تدنت الإشارة المستقبلية تحت المستوى المقبول لفترة من الزمن إما بسبب تشويش ما أو ضعف بالإشارة بمناطق محددة يجري تحرير (إنهاء) هذا الاتصال ويُعلم MTSO بذلك وتُحرر قنوات نقل المعلومات.
- التسليم handover: إذا تحركت الوحدة المتحركة أثناء الاتصال خارج نطاق الخلية التابعة لها وبخلت ضمن نطاق خلية أخرى فيتوجب تخصيص قناة عاملة جديدة لهذه الوحدة تابعة للمحطة القاعدية الجديدة. الشكل 2-7-f. تقوم MTSO بهذا التغيير بدون انقطاع الاتصال أو إخبار المستخدم عن هذا التسليم.
- تحرير الاتصال Call release: عندما يقوم أحد مستخدمي الاتصال بإنهاء ذلك الاتصال، سيجري إخبار MTSO وسيجري تحرير قنوات نقل المعلومات لكلا المحطتين القاعديتين.

2.1. مبدأ التسليم Handoff:

يشير التسليم إلى إجرائية تغيير ارتباط وحدة متحركة من محطة قاعدية إلى أخرى وذلك عند تحركها من خلية إلى أخرى. تُعالج مسألة التسليم بطرق متنوعة في الأنظمة المختلفة ويدخل فيها عدة عوامل. يمكن أن تبدأ إجرائية التسليم من المحطة القاعدية بناءً على شدة الإشارة المستقبلية من الوحدة المتحركة. وبشكل آخر، يمكن للوحدة المتحركة، وبناءً على الإشارات المستقبلية، أن تساهم بقرار البدء بإجرائية التسليم. إن العامل الرئيسي المستخدم للبدء بإجرائية التسليم هو وسطي الإشارة المستقبلية - إن كان من طرف الوحدة المتحركة أو من طرف المحطة القاعدية - ويجري حسابه خلال فترة من الزمن لإلغاء أثر التذبذب بشدة الإشارة الناجمة عن تعدد مسارات الإشارة. جرى طرح عدة استراتيجيات بهدف اتخاذ قرار البدء بإجرائية التسليم، ويُتخذ في الشرح اللاحق الإشارات الواصلة إلى الوحدة المتحركة من المحطتين القاعديتين كمرجع للقياس. تعتمد الإستراتيجية الأولى على شدة الإشارة النسبية بين المحطة القاعدية الأولى والثانية، فإن تجاوزت إشارة إحدى المحطتين الأخرى بدأت إجرائية التسليم نحو المحطة ذات الإشارة الأقوى. يمكن أن تؤدي هذه الإستراتيجية إلى تأرجح ارتباط الوحدة المتنقلة بين المحطتين القاعديتين في حال كانت شدة إشارة المحطتين القاعديتين تتذبذب بسبب ظروف انتشار إشارتهما.

تعتمد الإستراتيجية الثانية على بقاء الوحدة المتنقلة مرتبطة مع المحطة القاعدية طالما أن شدة إشارتها فوق عتبة محددة، أي بشكل تسمح باستمرار الاتصال بنوعية مقبولة. ففي حال تدنت شدة إشارة المحطة القاعدية تحت مستوى العتبة وكانت شدة إشارة المحطة القاعدية الثانية أقوى من الأولى بدأت إجراءات التسليم. أما الإستراتيجية الثالثة فتعتمد على بدء إجراءات التسليم عندما تتجاوز شدة إشارة المحطة الثانية شدة إشارة المحطة المرتبطة معها الوحدة المتحركة بعتبة محددة. تتجنب هذه الإستراتيجية مشكلة الأرجحة إذ لا يمكن للمحطة المتحركة أن تعيد ارتباطها مع المحطة الأولى السابقة إلا إذا تجاوزت شدة إشارتها إشارة المحطة الحالية بالعتبة المحددة.

3.1. التحكم بطاقة الإرسال:

ساهمت عدّة مسائل في الأنظمة الخلوية في جعل موضوع التحكم الديناميكي بطاقة الإرسال من الأمور الواجب أخذها بعين الاعتبار، منها:

- يجب على الإشارة المستقبلية أن تكون فوق عتبة معينة لتحقيق اتصال فعال، ما يفرض استطاعة إرسال معينة.
- بنفس الوقت، من المحبذ تخفيض طاقة إرسال الوحدات المتنقلة للحد من تداخل الإشارات مع الإشارات المماثلة في الخلايا المجاورة، وللحفاظ على طاقة البطارية لفترة أطول، وكذلك لاعتبارات تمس الصحة بشكل عام.
- في أنظمة الطيف المنثور التي تستخدم تقنية CDMA من المفضل أن تكون شدة إشارات الوحدات المتحركة الواصلة إلى المحطة القاعدية متساوية للحفاظ على أداء النظام. ما يستدعي التحكم بطاقة إرسال كل محطة كلاً على حدة.

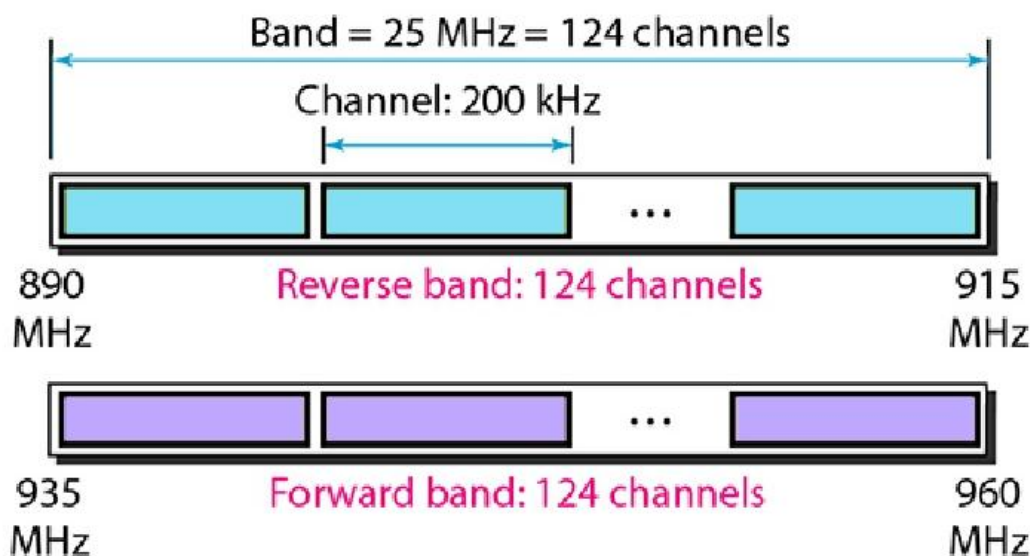
تقترح الأنظمة الخلوية إستراتيجيتين اثنتين للتحكم بطاقة الإرسال. تُسمّى الأولى "حلقة التحكم المفتوحة بالطاقة" وتتخذ القرار فيها الوحدة المتحركة بدون أية مساعدة أو معلومات من المحطة القاعدية. تستند الوحدة المتحركة في هذه الإستراتيجية على شدة الإشارة المستقبلية من المحطة القاعدية وبناءً عليها تحدد طاقة إرسالها بشكل يتناسب عكسياً مع شدة الإشارة المستقبلية. تُسمّى الإستراتيجية الثانية "حلقة التحكم المغلقة بالطاقة" ومن خلالها تقوم المحطة القاعدية عبر إجراء قياسات على إشارة المحطة المتحركة المستقبلية من اتخاذ القرار بشأن طاقة إرسال المحطة المتنقلة وتُخبرها بذلك عبر قنوات الوصلة الهابطة المخصصة لهذا الأمر.

الجيل الثاني من نظم الاتصالات الخلوية المعتمدة على تقنية TDMA

كانت الأجيال الأولى من الشبكات الخلوية، والتي تُعرف باسم "أنظمة الجيل الأول"، تعتمد "تقنيات تماثلية" "Analogue systems"، ذات سعات محدودة، وتقتصر على توفير خدمات الاتصالات الصوتية التقليدية، وتفتقر إلى خدمات التجوال الدولي، ولم يكن هناك أي تجانس بين المواصفات الفنية بين الشبكات القطرية. جرى العمل على تطوير وبناء نظم، جرى تسميتها بالجيل الثاني، تعتمد تقنيات رقمية من جهة، وتستند إلى معايير معتمدة في عدة بلدان، ما يضمن انتشاراً أوسع وأسرع لها. لعل أهم فارق بين الجيلين الأول والثاني هو أن الأول تماثلي بالكامل بينما الجيل الثاني رقمي بالكامل بقنواته التحكمية وقنوات نقل المعطيات. تجعل هذه الميزة النظام ملائماً لنقل معطيات رقمية data كذلك يجري ترميز الصوت رقمياً قبل إرساله. يتيح ذلك تفسير المعطيات والصوت لمنع التتصت، كذلك يتيح استخدام تقنيات كشف وتصحيح الأخطاء مما يؤدي إلى جودة في استقبال الصوت. يستخدم الجيل الثاني تقنيات النفاذ بالاقتسام المتعدد بالزمن TDMA أو بالرمز CDMA الذي يؤدي إلى تشارك عدة مستخدمين بقناة اتصال وحيدة، بينما ووفق الجيل الأول كان يخص كل مستخدم بقناة مستقلة.

2. شبكة الجيل الثاني GSM network architecture:

يُعتبر نظام الشبكات الخلوي (GSM) Global system for mobile communications أبرز أنظمة الجيل الثاني، الذي طُوّرت مواصفاته الفنية ضمن جهود أوروبية مشتركة، وأصبح هذا النظام في غضون سنوات قليلة النظام المهيمن تجارياً وتقنياً في العالم أجمع. استخدم نظام GSM النطاق الترددي حول التردد 900 MHz بعدد قنوات عددها 124 قناة مضاعفة (124 للوصلة الصاعدة و124 للوصلة الهابطة) بعرض حزمة 200 KHz للقناة الواحدة، كما يبين الشكل 5-7. ويتشارك كل ثمانية مشتركين بقناة واحدة وفق تقنية TDMA.



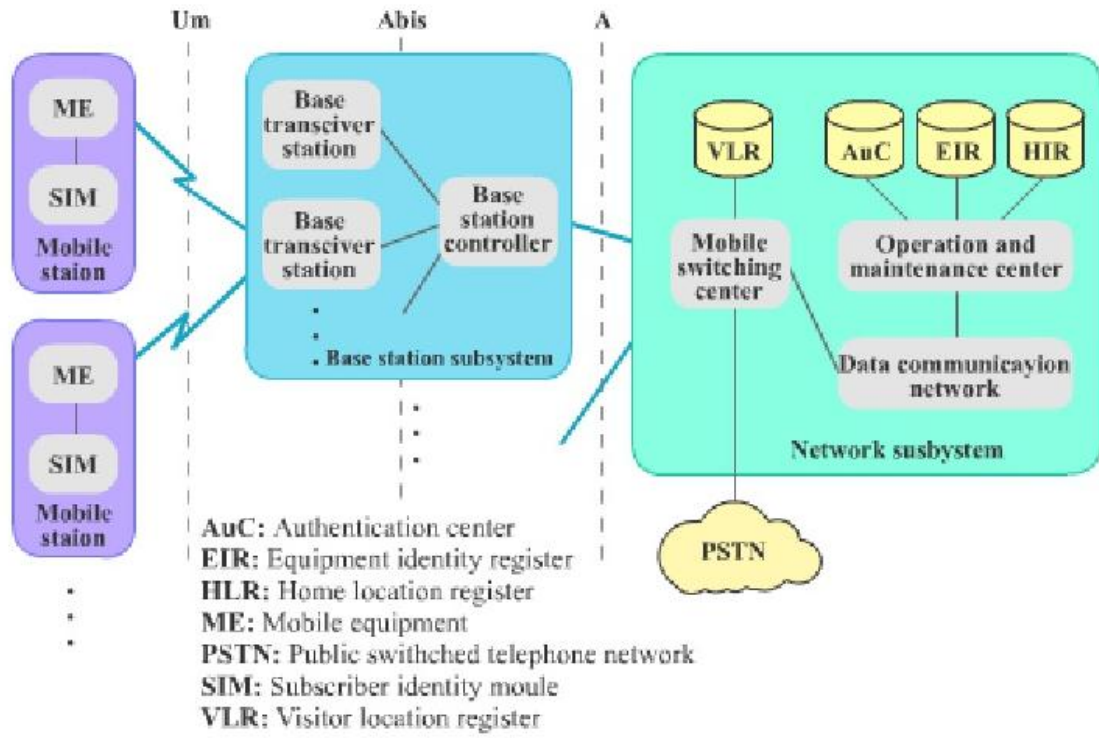
الشكل 5-7: النطاق الترددي لنظام GSM

ومع الانتشار الواسع لنظام GSM وازدياد عدد المشتركين، جرت إضافة نطاقات ترددية أخرى لأنظمة GSM وهي: 1800 MHz و 1900 MHz.

1.2. بنية شبكة نظام GSM:

يبين الشكل 6-7 المكونات الأساسية لنظام الاتصالات الخلوي من الجيل الثاني GSM. تُشير الحدود Um و A و Abis إلى واجهات التخابر بين الوحدات العاملة لنظام GSM، وهي موصّفة بشكل كامل بالموصفات الفنية لنظام GSM، مما يتيح لأجهزة متنوعة ومصنّعة من قبل شركات مختلفة من العمل فيما بينها. ويتألف نظام GSM من:

- "الوحدة المتحركة" (ME) mobile equipment: تتخاطب الوحدة المتحركة مع المحطة القاعدية الخاصة بالخلية التابعة لها عبر واجهة التخابر Um ويُعرف أيضاً بـ "واجهة التخابر مع قناة الانتشار اللاسلكية". يُشير مصطلح الوحدة المتحركة إلى جهاز الاتصال، مثل جهاز الاتصال النقال أو غيره من الأجهزة المماثلة. يحتوي جهاز الاتصال على وحدة الربط اللاسلكي والمعالجة mobile equipment (ME)، وعلى شريحة تعريف المشترك Subscriber identity module (SIM)، وهي عبارة عن بطاقة ذكية Smart card تحوي رقم المشترك والشبكات المرخص التعامل معها، إضافة إلى مفتاح التشفير المستخدم بتشفير المعطيات الصوتية والرقمية بين الوحدة المتنقلة والمحطة القاعدية. وبالتالي يبقى جهاز الاتصال النقال عمومي إلى حين إدخال شريحة SIM داخله. يتكون رقم المشترك من 15 خانة ويدعى هوية المشترك المتنقل العالمية International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ويتضمن هذا الرقم رمز البلد العالمي مما يسمح لهذه الشريحة SIM بالتجوال العالمي.



الشكل 6-7: المكونات الأساسية لنظام الاتصالات الخلوي من الجيل الثاني GSM

- الوحدة الفرعية للمحطات القاعدية (Base station subsystem (BSS): تتألف تلك الوحدة الفرعية من عدد من المحطات القاعدية (Base transceiver station (BTS) كل منها تعرف خلية واحدة، ويتراوح نصف قطر الخلية من 100 متر حتى 35 كيلومتر تعتمد بذلك على بيئة انتشار الإشارات وعلى تصميم الشبكة. ويتحكم بتلك بالمحطات القاعدية متحكم خاص Base station controller (BSC) ويمثل MTSO المذكور سابقاً، إذ يقوم بتخصيص قنوات المعطيات، ويدير عمليات التسليم، ويتحكم بإجراءات النداء Paging.
- الوحدة الفرعية الشبكية (Network subsystem (NS): تؤمن هذه الوحدة الفرعية الربط بين الشبكة الخلوية GSM وشبكة الهاتف الثابت العمومية. كما تؤمن عمليات التسليم بين BSSs مختلفة، وتتوثق من هويات المستخدمين وتتحقق من صحة حساباتهم، كما تحتوي على الوظائف اللازمة لتأمين عملية التجوال Roaming. وتكوّن وحدة التبديل المركزية mobile switching center (MSC) العنصر الرئيس ضمن NS. تتضمن وحدة التبديل MSC تقنيات مختلفة لتبديل الدارات Circuit-switching وتتصل مع شبكة الهاتف الثابت العمومية. يدعم عملها أربعة أنواع من قواعد المعطيات، وهي:
- سجل مقر الاشتراك (Home location register (HLR): عندما يحصل المشترك على الشريحة الخاصة به بعد اشتراكه بخدمات الشبكة، يجري تسجيل أو حفظ أهم المعلومات المتعلقة بنوع وطبيعة ومزايا اشتراكه في هذا السجل.

- سجل المقر الحالي (VLR) Visitor location register: لابد لتوجيه اتصال ما، سواءً من أو إلى مشترك، من أن تتوفر لدى NS معلومات عن المشترك وخصوصاً مكانه. يجري تحديد مكان المشترك الحالي عن طريق "سجل المقر الحالي" الذي يحوي معلومات عن المشتركين الموجودين فيزيائياً ضمن المنطقة التابعة لمركز تبديل MSC.
- قاعدة معطيات التوثيق (AuC) Authentication center database: يجري حفظ معلومات التوثيق ومفاتيح التشفير الخاصة بكل مشترك.
- سجل أجهزة المشتركين (EIR) Equipment identity register database: يمثل هذا السجل قاعدة معطيات تتضمن نوع ورقم الجهاز المحمول المستخدم من قبل المشترك. يتألف رقم الجهاز من 15 خانة ويدعى هوية الجهاز المتنقل العالمية International Mobile Equipment Identity (IMEI) ويخزن هذا الرقم داخل الجهاز من قبل الشركة الصانعة عند تصنيعه. يتيح السجل EIR التأكد من سلامة الأجهزة التي تلج إلى الشبكة فنياً وقانونياً. فيمكن مثلاً حظر استخدام أجهزة ذات منشأ معين، أو أجهزة ضمن نموذج معين أو التي ذات أرقام تصنيع محددة.

2.2. بنية إطار المعطيات TDMA frame format:

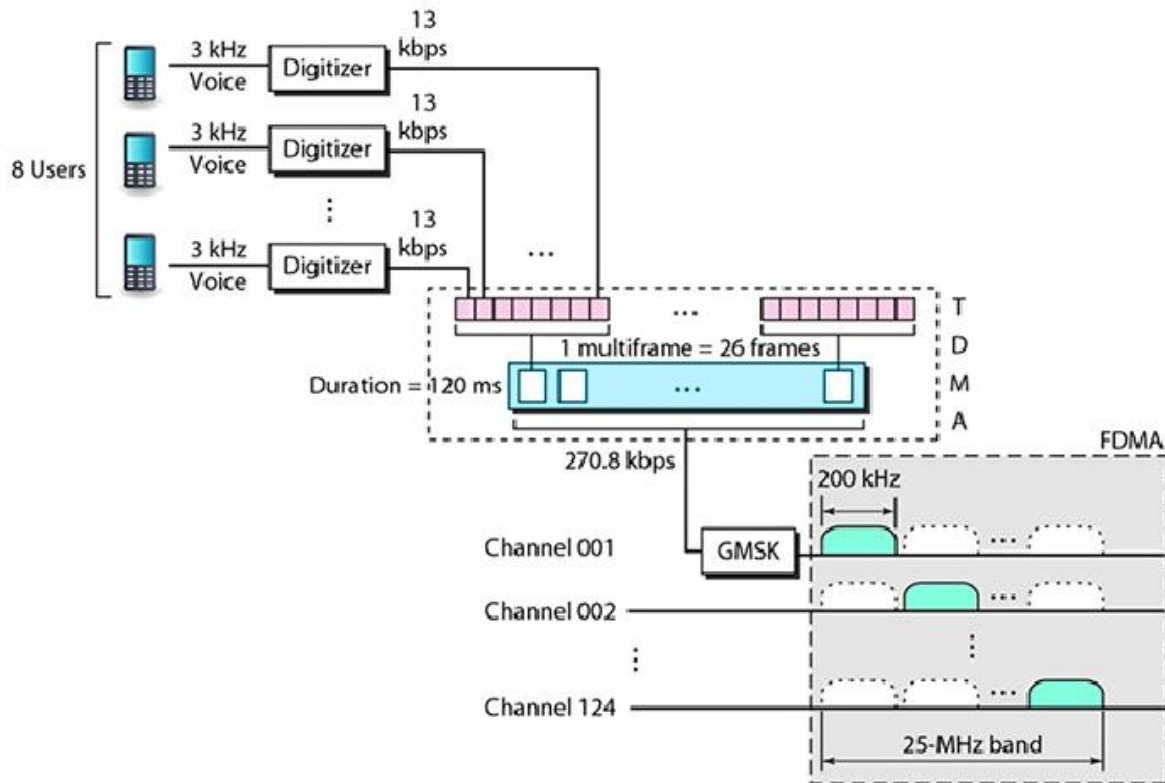
يبلغ عرض حزمة القناة الواحدة 200 KHz، ويتشارك في القناة الواحدة ثمانية مشتركين وفق تقنية TDMA لكل مشترك الحيز الزمني المخصص له للإرسال. يجري تشكيل الرشقة burst الخاصة بالمشارك المعدة للإرسال ضمن الحيز الزمني كما يبين الشكل 7-7. يجري ضغط الإشارة الصوتية باستخدام خوارزمية Linear predictive coder، ثم تُرمز المعطيات الناتجة باستخدام الترميز التلافيفي convolutional error correcting code الذي يؤمن إمكانية كشف وتصحيح الأخطاء، يجري بعد ذلك تشفير المعطيات المرمزة باستخدام مفتاح التشفير الخاص بالمشارك، ثم يجري تشكيل الرشقة وتعديل وفق التعديل Gaussian minimum shift keying (GMSK). تُشكل الرشقة الواحدة، وفق الشكل 7-7، من:

- 114 بت من معطيات المستخدم الناتجة عن عملية التشفير encrypted bits
- تتابع من البتات trail bits تسمح بمزامنة إرسال الوحدات المتحركة المتوضعة على مسافات مختلفة عن المحطة القاعدية
- تتابع من بتات التدريب training sequence تُستخدم لضبط المستقبل وفق الإشارة المستقبلية
- stealing bit تحدد فيما إذا كانت المعطيات المرفقة هي معطيات للمشارك أو تُستخدم حالياً لنقل إشارات تحكمية طارئة
- بتات حماية guard bits وتستخدم لتجنب التراكم مع رشقات أخرى نتيجة تباين زمن وصول الإشارات الناتج عن اختلاف مسارات الانتشار



الشكل 7-7: تشكيل رشقة واحدة

يوضح الشكل 7-8 نظام GSM. تُخصّص كل قناة من أُنفة نقل المعطيات إلى ثمانية مشتركين وفق تقنية TDMA. ويتشكل إطار المعطيات من رشقات متتالية من ثمانية مشتركين وهو يُعتبر المستوى الأدنى من التسلسل الهرمي لتجميع الأطر. يجري تجميع 24 إطار معطيات يتبعهما إطار تحكم ليتشكل منهم الإطار المتعدد multiframe الذي يتكرر ضمن القناة الواحدة.



الشكل 7-8: نظام GSM

خدمات الجيل الثاني:

جرى تصميم نظام GSM خلال طوره الأول بشكل رئيسي للتراسل الصوتي، وخلال طوره الثاني جرى تعريف وإدخال خدمة الفاكس، وتُستخدم قناة نقل المعلومات لنقل المعطيات الصوتية ومعطيات الفاكس. وفي الطور الثالث جرى تزويد نظام GSM بالخدمة الأكثر أهمية وهي: خدمة الرسائل القصيرة SMS. إن إدخال هذه الخدمة اقتضى من مشغلي الأنظمة الخلوية إجراء تعديل على بنية الشبكة عبر إحداث مركز خدمات مهمته تلقي الرسائل القصيرة ومعالجتها وفق مبدأ "التخزين والتحويل" Store and forward، وبالتالي فإن التسليم سيكون مزاحاً زمنياً. لا يتطلب إرسال SMS إنشاء اتصال، كما إنه يعتمد على التسليم الموثوق، أي بحاجة إلى تأكيد الاستلام acknowledgment، وتعتمد على بروتوكول "توجيه الرزم" packet switching protocol. جرى توسعة مفهوم SMS من خلال EMS مع إمكانية إرسال صور بأحجام محددة.

نحو الانتقال إلى الجيل الثالث:

عند البدء بطرح خدمات جديدة وتطوير الأخرى المتاحة سلفاً لدى نظام GSM كان لدى المطورون الخيار بتصميم نظام جديد كلياً لدعم تلك الخدمات، ولكن هكذا اتجاه كان سيعارضه الكثير من مشغلي الأنظمة الخلوية لما فيه من تكلفة باهظة ناجمة عن تغيير البنية التحتية. عوضاً عن ذلك نحى المصممون نحو بناء الخدمات الجديدة بالاعتماد على بنية GSM وإضافة مكونات للشبكة تسمح بتلبية الاحتياجات الجديدة. سمح نظام GSM بتبادل معطيات بسرعة محدودة بـ 9.6 Kbps عبر تخصيص حيز زمني واحد لهذا الغرض وهو المخصص أصلاً للمشارك. كتطوير مباشر لنظام GSM طرح نظام High-speed circuit switched data (HSCSD) إمكانية تخصيص عدة حيزات زمنية لنفس الاتصال وطوال فترة إجراء الاتصال مما يرفع من سرعة نقل المعطيات، ولكن على حساب استهلاك حيزات زمنية كان من الممكن تخصيصها لمستخدمين بحاجة لإنشاء اتصال.

جرى مَعيرة إرسال معطيات بشكل أطر بهدف التمكن من النفاذ إلى "الشبكة العمومية لنقل المعطيات بتوجيه الأطر" "packet switched public data network"، مثل شبكة الإنترنت. يجري إرسال أطر المعطيات بشكل رشقات bursts على خلاف نظام GSM الذي يقوم بحجز حيز طوال فترة الاتصال، وإذا جرى استخدامه بهذه الطريقة لنقل الأطر سيؤدي إلى استهلاك كبير غير مبرر لموارد النظام. وللتغلب على هذه المشكلة جرى تطوير نظام "خدمات الإرسال الراديوي الرزمي" "General Packet Radio Service" (GPRS) باستخدام واجهة التخاطب Um الخاصة بنظام GSM، تبعه تطوير آخر لرفع معدل تبادل المعطيات بشكل كبير وجرى تسميته "نظام ذو تراسل معطيات محسّن لتطوير GSM Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE).