الاتصالات المتنقلة

معطيات الاتصالات اللاسلكية

الوحدة الثالثة : معطيات الاتصالات اللاسلكية

الجدارة: القدرة على التدرب على معطيات الاتصالات اللاسلكية.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن :

١. يبسط مفهوم الواجهة اللاسلكية في شبكة أنظمة الاتصالات المتنقلة.
٢. يوضح مفهوم الترميز والتشفير والتعديل في الاتصالات المتنقلة.
٣. يبسط مفهوم الانتشار وما يتبعه من مشاكل وحلول في أنظمة الاتصالات المتنقلة GSM.
٤. يميز بين مختلف أنواع العناصر المركبة للواجهة اللاسلكية.
٥. يميز بين مختلف أنواع التشفير والترميز المستعملة في نظام GSM.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب بإذن الله إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ١٢ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج Power point لعرض المحاضرات على جهاز عرض البيانات.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب ملماً بأساسيات الاتصالات التماثلية والرقمية.

معطيات الاتصالات اللاسلكية

٣- ١ أساسيات الاتصالات اللاسلكية

٣- ١- ١ التردد Frequency

التردد هو عدد مرات تكرار الموجة الكهرومغناطيسية (الراديوية) "Radio Waves" في الثانية الواحدة ويرمز له بالرمز "f" . والوحدة المستخدمة في قياس التردد هي الهرتز "Hertz" ويرمز له بالرمز "Hz". ويرتبط بالتردد مقدار طول الموجة "Wavelength" ويرمز له بالرمز "λ" وكذلك سرعة الضوء "Speed of Light" ويرمز لها بالرمز "c" وهي تساوي 3×10^8 m/s في الفراغ . وترتبط جميع القيم السابقة بالعلاقة التالية:

$$f = c/\lambda \qquad (3.1)$$

يتبين لنا من هذه المعادلة البسيطة أن العلاقة بين تردد وطول الموجة هي علاقة عكسية، أي أنه كلما زاد طول الموجة كلما قل ترددها والعكس صحيح ولهذا تأثير كبير على عملية انتشار الموجة الكهرومغناطيسية. فالموجة ذات الترددات المنخفضة تتميز بطول موجة "λ" كبير وهذا يساعد في انتشار الموجة ووصولها إلى مسافاتٍ بعيدة وذلك لقدرتها على النفاذ وتفادي العوائق الطبيعية وحتى الكبيرة منها نظراً لقدرتها على الالتفاف حول تلك العوائق. أما بالنسبة للموجات ذات الترددات العالية فتتميز بطول موجة قصير جداً وهذا لا يساعدها على الانتشار والوصول إلى المسافات البعيدة نظراً لتأثرها الشديد حتى بالعوائق الصغيرة جداً مثل الغبار وقطرات المطر والعوائق الطبيعية الأخرى والتي تتسبب في ارتدادها وتشتتها وحيودها عن مسارها لهذا تستخدم في الإرسال إلى المسافات القصيرة.

مـثـــال (٣- ١): احسب طول الموجة لإشارة راديوية ترددها 300 MHz .

الحـــــــــــل:

بالتعويض في المعادلة (3.1) بقيم كل من سرعة انتشار الضوء وتردد الإشارة ينتج

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3x10^8\, m/s}{300x10^6\, Hz} = 1m$$

٣- ١- ٢ الطيف الترددي Frequency spectrum

الطيف الترددي "Frequency Spectrum" للموجات الراديوية "Radio Waves" المستخدمة في تراسل المعلومات لاسلكياً يمتد في مجال التردد من 300 Hz إلى 300 GHz . ويوضح الجدول (٢- ١) ملخصاً للطيف الترددي للموجات الراديوية و يشمل الجدول النطاق الترددي وطول الموجة والحزمة الترددية وبعض الاستخدامات في مجال الاتصالات اللاسلكية

الجدول (٣- ١) ملخص للطيف الترددي للموجات الراديوية

النطاق الترددي	طول الموجة	الحزمة الترددية	بعض الاستخدامات
0.3 – 30KHz	1Mm – 10Km	VLF	التلغراف و الملاحة
30 – 300KHz	10Km – 1Km	LF	اتصالات الغواصات و إذاعات الراديو LW
0.3 – 3MHz	1Km – 100m	MF	إذاعات الراديو MW
3 – 30MHz	100m – 10m	HF	إذاعات الراديو SW و FM
30 – 300MHz	10m – 1m	VHF	التلفزيون VHF
0.3 – 3GHz	1m – 10cm	UHF	التلفزيون UHF و الهواتف المحمولة
3 – 30GHz	10cm – 1cm	SHF	أنظمة الميكروويف و الأقمار الصناعية
30 – 300GHz	1cm – 1mm	EHF	للاستعمال المستقبلي

٣- ١- ٣ النطاق الترددي Bandwidth

النطاق الترددي "Frequency Band" هو المجال الترددي المخصص لنظام معين من أنظمة الاتصالات وله حد ترددي أدنى "f_{min} " وحد ترددي أعلى "f_{max} ". ومن المفترض أن يلتزم نظام الاتصالات المحدد عدم تجاوز حدود النطاق المخصص له. ويعرف النطاق الترددي "Bandwidth" بأنه الفرق بين أعلى تردد "f_{max} " وأقل تردد "f_{min} "في النطاق. ويرمز له بالرمز "BW" وحدته "Hertz". ويمكن حسابه كما بالمعادلة التالية

$$BW = f_{max} - f_{min} \qquad (3.2)$$

وفي الإرسال التماثلي يعرف النطاق لقناة ترددية بأنه المجال الترددي الذي لا تقل خلاله القدرة للموجة الراديوية عن حدود مقبولة لا تؤثر في جودة الإشارة المستقبلة. وفي الإرسال الرقمي يعرف النطاق بعدد المعلومات الرقمية الثنائية"Bits" المرسلة في الثانية الواحدة وتكون وحدته في هذه الحالة "Bit/sec". ويبين

الجدول (٣- ٢) أمثلة للنطاقات الترددية لبعض نظم الاتصالات اللاسلكية المحمولة المستخدمة في أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان.

الجدول (٣- ٢) أمثلة للنطاقات الترددية لبعض نظم الاتصالات اللاسلكية المحمولة.

	أوروبا	الولايات المتحدة الأمريكية	اليابان
نظم الهواتف المحمولة Mobile phones	NMT 452-457 MHz 462-467 MHz GSM 890-915 MHz 935-960 MHz 1710-1785 MHz 1805-1880 MHz	AMPS, TDMA, CDMA 824-849 MHz 869-894 MHz GSM, TDMA, CDMA 1850-1910 MHz 1930-1990 MHz	PDC 810-820 MHz 940-956 MHz 1429-1465 MHz 1477-1513 MHz
نظم الهواتف اللاسلكية Cordless telephones	CT1+ 885-887 MHz 930-932 MHz CT2 864-868 MHz DECT 1880-1900 MHz	PACS 1850-1910 MHz 1930-1990 MHz PACS-UB 1919-1930MHz	PHS 1895-1918 MHz JCT 254-380 MHz

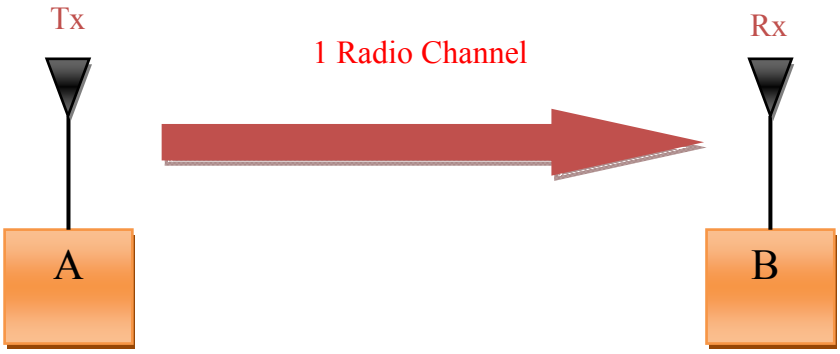
٣ - ١- ٤ القنوات Channels

يمكن تقسيم مجال ترددي معين إلى عدد من القنوات الترددية "Channels" وتستخدم كل قناة كوصلة اتصال يتم عبرها إرسال واستقبال المعلومات بحيث يتم تعيين قيمة ترددية "f" وعرض نطاق ترددي محدد لكل قناة "BW_{ch}" ويراعى تحديد فاصل ترددي كافٍ بين القنوات المتقاربة تفاديا للتداخل. ويمكن تقسيم قنوات الاتصال تبعاً لنظم الإرسال الراديوية إلى ثلاثة أنواع وهي قنوات اتصال بسيطة "Simplex Channels" وقنوات اتصال نصف مزدوجة "Half Duplex Channels" وقنوات الاتصال المزدوجة "Full Duplex Channels".

- **قنوات اتصال بسيطة** Simplex Channels

وهي قنوات يتم فيها الاتصال في اتجاه واحد فقط إما إرسال وإما استقبال أي إن المرسل يقوم بعملية الإرسال طوال الوقت بينما المستقبل يقوم فقط بعملية الاستقبال ولا يستطيع الإرسال كما هو موضح بالشكل (٣- ١) ومن الأمثلة عليها القنوات المستخدمة في الأنظمة التالية:

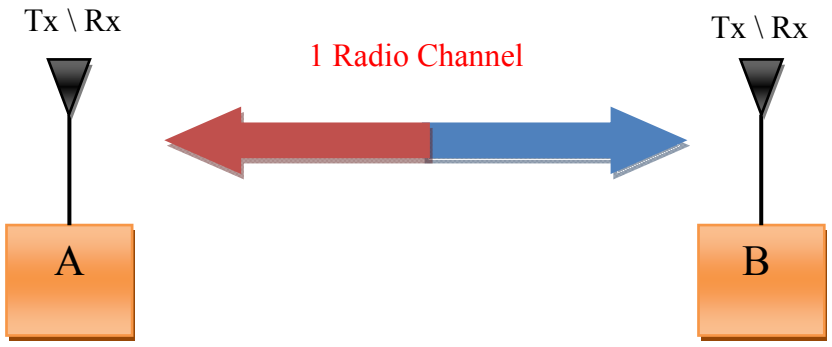
١. نظام البيجر "Pager System" حيث تستقبل الرسائل ولكن لا يتم الرد عليها.
٢. البث الإذاعي والبث التلفزيوني "Radio & TV Broadcasting" حيث أن المحطة الإذاعية والتلفزيونية تعمل على بث المحطات والقنوات الإذاعية والتلفزيونية بينما يقوم المستمعون والمشاهدون على استقبال هذه القنوات دون القيام بأي عملية إرسال.



شكل (٣- ١) يوضح نظام الإرسال بالقنوات البسيطة

- **قنوات اتصال نصف مزدوجة** Half-Duplex Channels

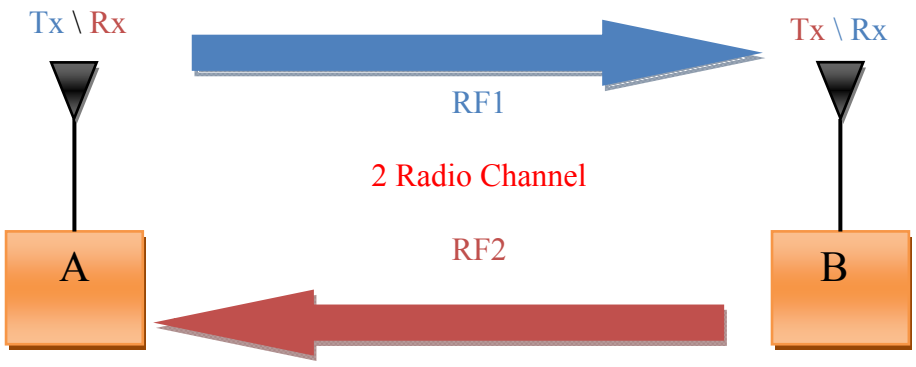
وهي القنوات التي يتم فيها الاتصال في كلا الاتجاهين (إرسال واستقبال) ولكن باستخدام قناة راديوية واحدة لكلا الطرفين حيث أن المشترك لا يستطيع الإرسال والاستقبال في وقتٍ واحد حيث أنه عليه أن يرسل في وقت ومن ثم يتوقف ويستمع في وقتٍ آخر حتى لا يحدث أي تداخل ما بين عمليتي الإرسال والاستقبال. ومن الأمثلة على هذا النوع من القنوات تلك التي تستخدم في نظام الدفع للكلام "Push to Talk" والتخلي للاستماع "Release to Listen" مثل طرفيات البوليس "Police Terminals"، والشكل(٣- ٢) يوضح مثل هذا النظام لهذا النوع من القنوات.



شكل(٣- ٢) يوضح نظام الاتصال بالقنوات النصف مزدوجة

- **قنوات اتصال مزدوجة** Full-Duplex Channels

وهي القنوات التي تتم فيها عملية الاتصال بكلا الاتجاهين (إرسال واستقبال) وبشكل متزامن ما بين المشترك والقاعدة الثابتة أي في نفس الوقت وذلك باستخدام قناتين راديويتين منفصلتين تفصل بينهما مسافة راديوية تضمن عدم حدوث تداخل بينهما ، حيث تستخدم إحدى القناتين للإرسال من المشترك إلى القاعدة الثابتة ، والقناة الأخرى للإرسال من القاعدة الثابتة إلى المشترك وبذلك تكون القناة الأولى فقط إرسال بالنسبة للمشترك والقناة الثانية استقبال والعكس صحيح بالنسبة للمحطة الثابتة ومن أفضل الأمثلة التي توضح مثل هذا النوع من القنوات تلك التي تستخدم في نظام الاتصالات المتنقلة الخلوية والمعروف باسم GSM والشكل (٣- ٣) يبين هذا النظام.



شكل(٣- ٣) يوضح نظام الاتصال بالقنوات المزدوج

٣- ١- ٥ سرعة الإرسال Propagation Velocity

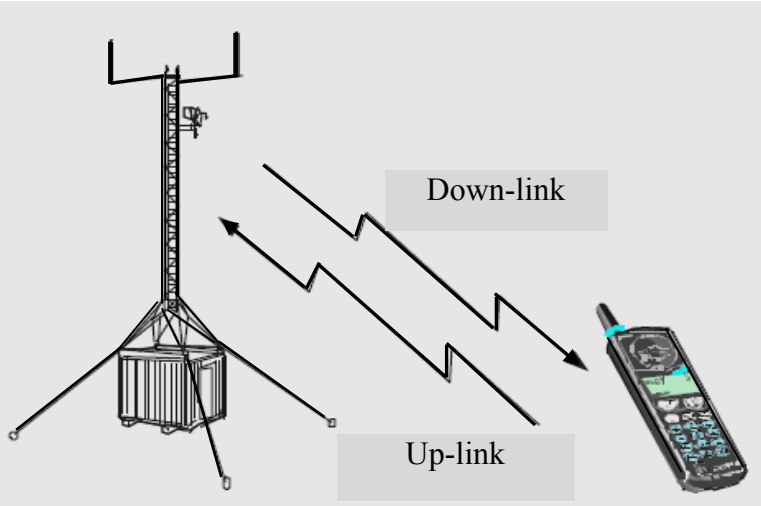
تنتشر الموجات الراديوية في الفراغ بسرعة الضوء وهي $c = 3x10^8$ m/s . وتختلف سرعة الإرسال "v" مع اختلاف الوسط الذي تنتشر فيه الموجات بحسب العلاقة التالية:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (3.3)$$

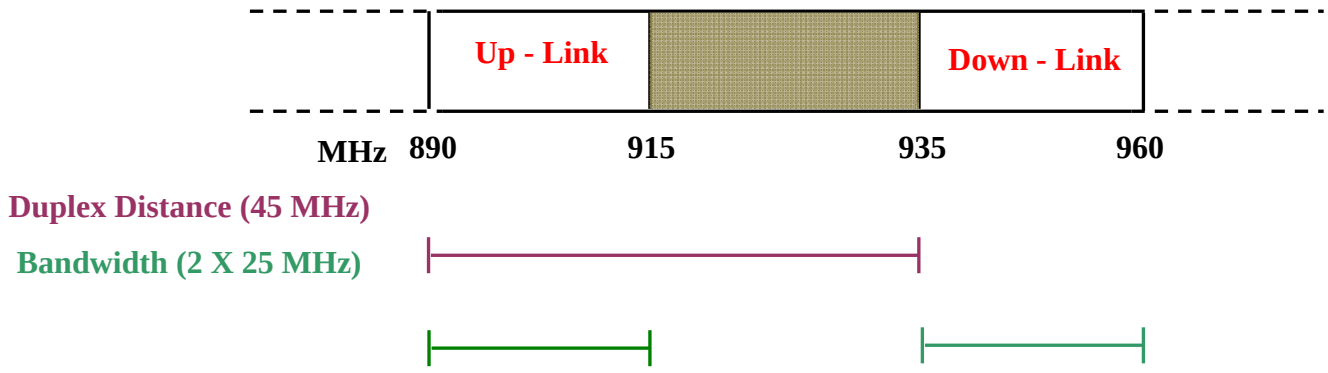
حيث ε_r هي قيمة السماحية النسبية "Relative Permittivity" للوسط الذي تنتشر به الموجة الراديوية. ومن المعتاد اعتبار $\varepsilon_r = 1$ للهواء واعتبار سرعة الإرسال في الهواء مساوية لسرعة الضوء في الفراغ وهي $3x10^8$ m/s.

٣- ١- ٦ المسافة المزدوجة Duplex Distance

من المعروف أنه في الأنظمة التي تستخدم قنوات الاتصال المزدوجة "Full-Duplex Channels" كما في نظام GSM قناتين منفصلتين واحدة للإرسال من المحطة القاعدية إلى المحطة المتنقلة وهذه تمسى بالوصلة الدنيا "Down-link" والقناة الأخرى تستخدم للإرسال من المحطة المتنقلة إلى المحطة القاعدية وتسمى بالوصلة العليا "Up-link" كما هو موضح بالشكل (٣- ٤). وحتى لا يحدث أي نوع من التداخلات ما بين هاتين القناتين لا بد من مسافة ترددية تفصل بينهما، وهذا المسافة الترددية الفاصلة تسمى بالمسافة المزدوجة "Duplex Distance". الشكل (٣- ٥) يوضح المسافة المزدوجة.



شكل (٣- ٤) يوضح الوصلة الدنيا والوصلة العليا

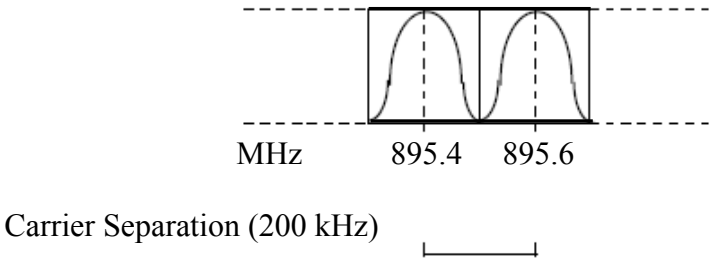


شكل (٣- ٥) يوضح مفهوم المسافة المزدوجة

٣- ١- ٧ العرض الترددي للحامل Carrier Separation (Carrier Bandwidth)

بالإضافة إلى المسافة المزدوجة، يكون هنالك أيضاً في كل شبكة متنقلة مسافة ترددية تفصل بين حاملين متتاليين أو متجاورين تسمى بعرض التردد للحامل "Carrier Bandwidth" وهو يمثل النطاق الترددي للقناة أو النطاق الترددي للحامل ويكون بين قناتين ترسلان باتجاه واحد. وهذا الفاصل ضروري لتفادي مشكلة تراكب المعلومات "Overlap" التي تحدث بين أي قناتين متجاورتين.

يعتمد عرض التردد للحامل على كمية المعلومات المراد إرسالها خلال القناة. فكلما زادت كمية المعلومات المرسلة كلما احتجنا إلى عرض ترددي للحامل أكبر. في نظام GSM يكون هذا العرض بمقدار "200 KHz" كما هو موضح بالشكل (٣- ٦).

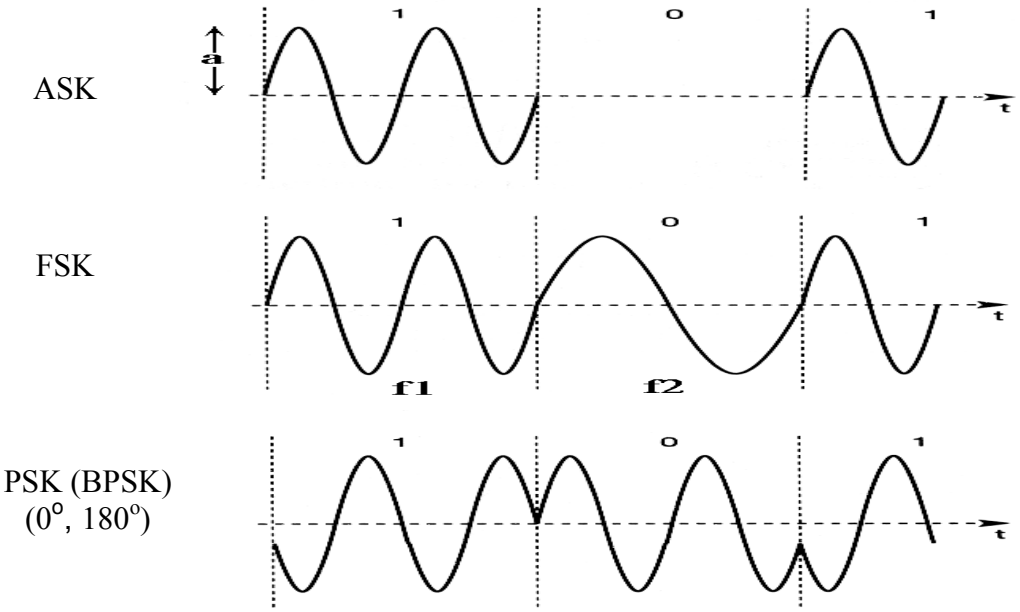


شكل (٣- ٦) يوضح مفهوم العرض الترددي للحامل

٣- ١- ٨ طرق التعديل Modulation Method

في أنظمة الاتصالات المتنقلة كما هو الحال في نظام GSM يتم استخدام الترددات العالية في الإرسال حيث يتم ذلك بتعديل إحدى مكونات الإشارة الحاملة "Carrier Signal" وهي السعة "Amplitude"، أو التردد "Frequency "، أو الطور "Phase" تبعاً لإشارة المعلومات. تستخدم الأنظمة الحديثة تقنيات التعديل الرقمية. يوضح الشكل (٣- ٧) طرق التعديل الرقمية الأساسية الثلاثة:

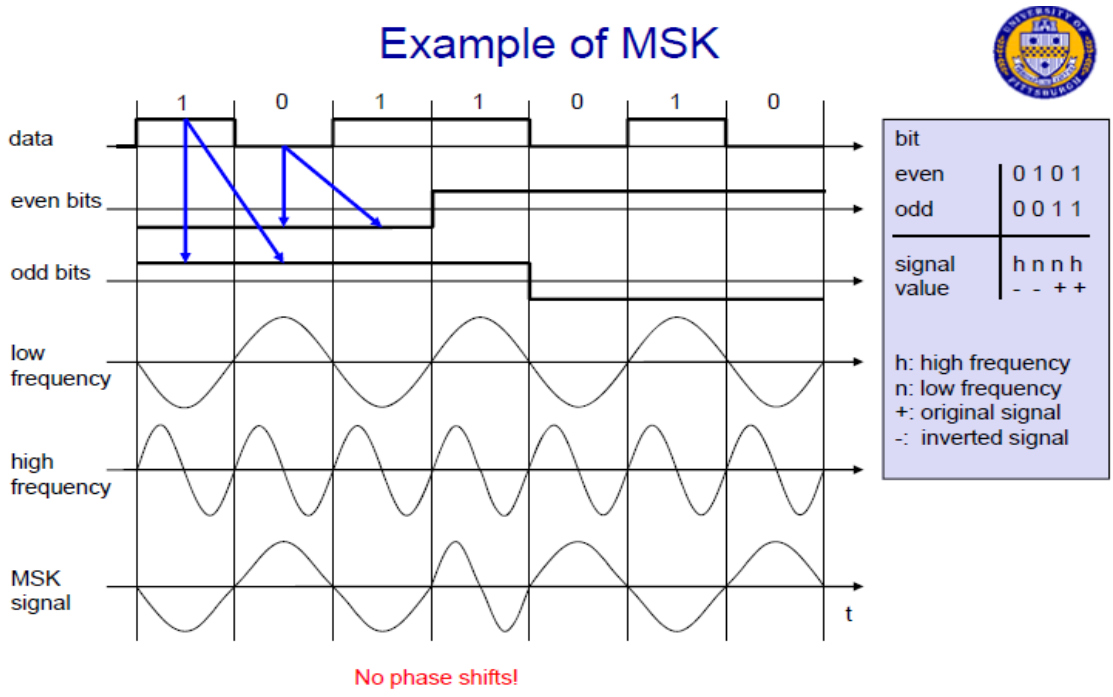
- تعديل الإزاحة السعوي "Amplitude shift keying (ASK)".
- تعديل الإزاحة الترددي "Frequency shift keying (FSK)".
- تعديل الإزاحة الزاوي "Phase shift keying (PSK)".



شكل (٣- ٧) يوضح طرق التعديل الرقمية الأساسية الثلاثة

في نظم الاتصالات اللاسلكية الحديثة يتم استخدام طريقة تعديل تدمج ما بين نوعين من أنواع التعديلات الرقمية الأساسية وهما FSK, PSK وهي طريقة تعديل الإزاحة الدنيا " Minimum Shift Keying (MSK)" وهي تهدف إلى التقليل من التغيير المفاجئ للتردد والشكل (٣- ٨) يوضح طريقة تعديل الإزاحة الدنيا حيث تفصل المعلومات الرقمية إلى معلومات زوجية "Even Bits" ومعلومات فردية "Odd Bits" ويتم مضاعفة الفترة الزمنية لكل معلومة رقمية. وتستخدم ترددين هما: التردد المنخفض f_1 و التردد العالي f_2 وعادة يكون $f_2 = 2\ f_1$. ويتم اختيار إحدى الترددين حسب ما يلي :

- إذا كان كل من المعلومة الزوجية والمعلومة الفردية في حالة 0 يتم استخدام التردد العالي f_2 مع عكس الموجة (التغيير في زاوية الطور بمقدار 180^o).
- إذا كانت المعلومة الزوجية في حالة 1 والمعلومة الفردية في حالة 0 يتم استخدام التردد المنخفض f_1 مع عكس الموجة (التغيير في زاوية الطور بمقدار 180^o).
- إذا كانت المعلومة الزوجية في حالة 0 والمعلومة الفردية في حالة 1 يتم استخدام التردد المنخفض f_1 دون التغيير في زاوية الطور.
- إذا كان كل من المعلومة الزوجية والفردية في حالة1 يتم استخدام التردد العالي f_2 دون التغيير في زاوية الطور.



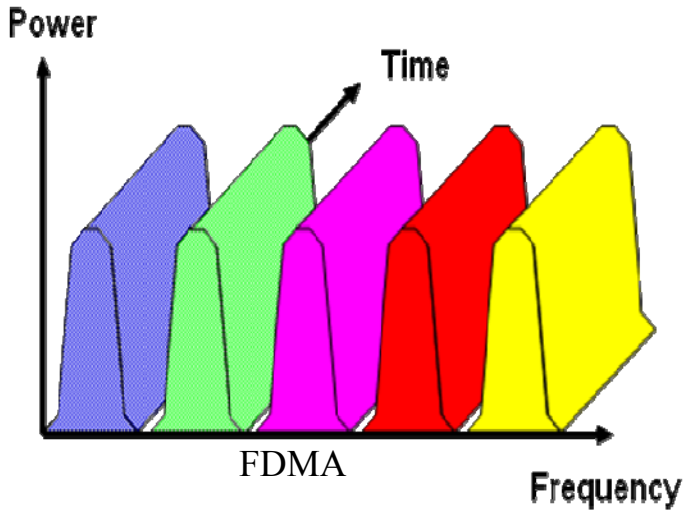
شكل (٣- ٨) طريقة تعديل الإزاحة الدنيا MSK

وبإضافة مرشح إمرار منخفض جاوسي "Gaussian Low-Pass Filter" إلى معدل الإزاحة الدنيا نحصل على ما يسمى بمعدل الإزاحة الدنيا الجاوسي "Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)" وهو المعدل المستخدم في أنظمة الاتصالات اللاسلكية الأوروبية المحمولة مثل نظام GSM للهاتف الخلوي ونظام "DECT" للهواتف اللاسلكية.

٣- ١- ٩ طرق تعدد الوصول المستخدمة Multiple Access Methods

- **تعدد الوصول بالتقسيم الترددي FDMA**

تستخدم أنظمة الاتصالات الرقمية اللاسلكية الحديثة عدة طرق لاستغلال الإمكانيات المتوفرة لتوفير المجال لأكبر عدد من المشتركين. ومن طرق تعدد الوصول المستخدمة تعدد الوصول بالتقسيم الترددي"Frequency Division Multiple Access (FDMA)" حيث يتم تقسيم المجال الترددي إلى قنوات ترددية متعددة ويعطى كل مشترك قناة ترددية معينة يستخدمها طول فترة الاتصال وهذا النوع المستخدم في مجال الاتصالات اللاسلكية التماثلية حيث يكون التعامل في مجال التردد "Frequency Domain".



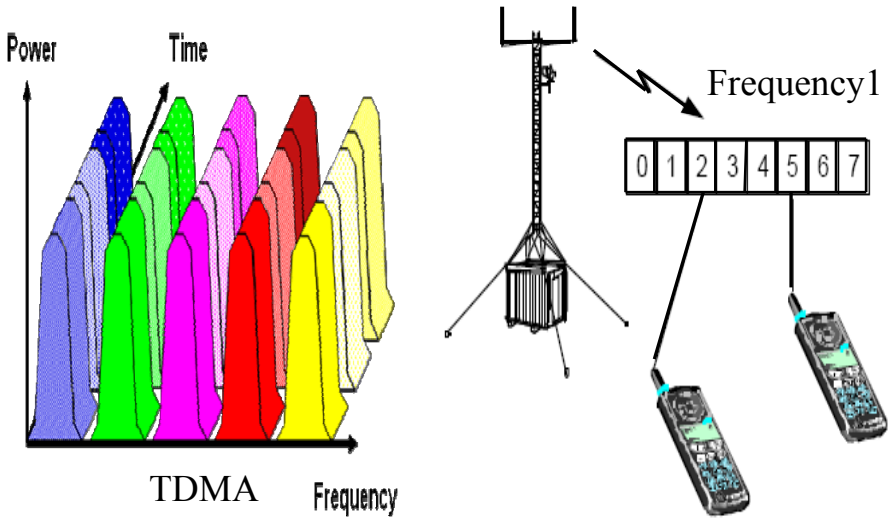
شكل (٣- ٩) يوضح مثالاً للتقسيم الترددي متعدد المسالك

في نظام GSM تم تقسيم النطاق الترددي إلى جزأين الأول هو النطاق من "890 MHz" إلى " 915 MHz" وخصص هذا الجزء للوصلة العليا "Up-Link" من المحطة المتنقلة "MS" إلى المحطة القاعدية للاتصال "BTS" والجزء الثاني وهو النطاق الترددي من "935 MHz" إلى "960 MHz" وخصص للوصلة السفلى "Down-Link" من المحطة القاعدية للاتصال "BTS" إلى المحطة المتنقلة وبفاصل ترددي " 20 MHz" بين الجزأين . كما تم تقسيم كل من النطاقين إلى 124 قناة ترددية توزع على المشتركين بعرض "200 KHz" لكل قناة.

- **تعدد الوصول بالتقسيم الزمني** TDMA

يحدث تعدد الوصول بالتقسيم الزمني "Time Division Multiple Access (TDMA)" في مجال الزمن "Time Domain" والذي يتم فيه تقسيم الزمن إلى خانات زمنية تسمى "Time Slot (TS)" توزع بين معلومات المشتركين ومعلومات التزامن والتحكم مما يتيح المجال لعدد من المشتركين التشارك في قناة ترددية معينة لكل واحد الحيز الزمني الخاص به دون حدوث تداخلات. وهذه الطريقة هي الأهم والأكثر استخداماً في الاتصالات الرقمية نظراً للسرعة الكبيرة للأجهزة الرقمية الحديثة.

بالإضافة إلى استخدام تعدد الوصول بالتقسيم الترددي "FDMA" في نظام GSM يستخدم أيضاً تعدد الوصول بالتقسيم الزمني "TDMA" حيث تم تقسيم الإطار الزمني TDMA frame لكل قناة ترددية إلى 8 خانات زمنية "Time Slot (TS)" حيث يعين لكل مستخدم حيز زمني خاص به. وهذا يعني أن القناة الترددية الواحدة قادرة على حمل ثمانية اتصالات. الشكل (٣- ١٠) يوضح مثالاً على "TDMA".

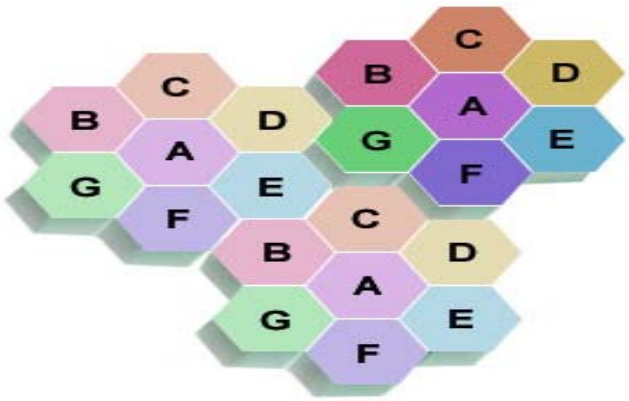


شكل (٣- ١٠) مثال للتقسيم الزمني المتعدد الوصول "TDMA" في نظام GSM

- **تعدد الوصول بالتقسيم المكاني** SDMA

تستخدم أنظمة الهاتف الخلوي الرقمي الحديثة كنظام GSM كلاً من "FDMA" و"TDMA" السابقين بالإضافة إلى تعدد الوصول بالتقسيم المكاني " Space Division Multiple Aaccess

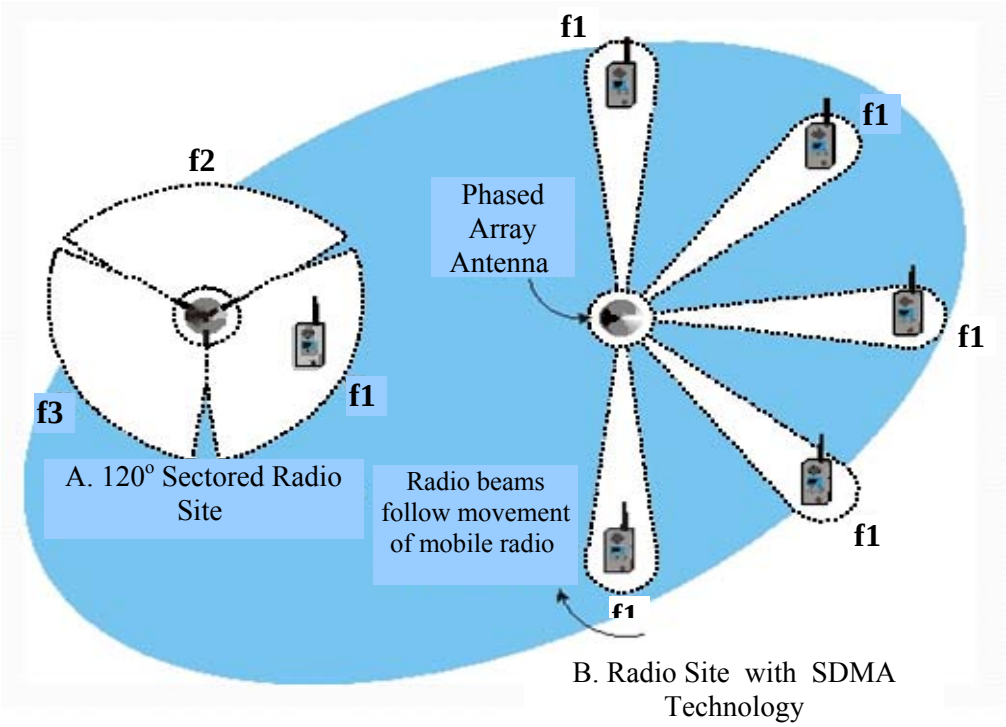
(SDMA)" والذي يتمثل في تقسيم المنطقة الجغرافية التي يقوم مشغل الشبكة الخلوية بخدمتها إلى خلايا "Cells" كل خلية تخدم مساحة محدودة. ويوضح الشكل (٣- ١١) مثالاً لتعدد الوصول بالتقسيم الكاني "SDMA". وتسمح هذه التقنية في زيادة سعة الشبكة اعتماداً على المسافة المكانية الفاصلة بين المشتركين المتنقلين.



شكل (٣- ١١) مثال للتقسيم المكاني المتعدد الوصول "SDMA"

من المعلوم أنه في أنظمة الشبكات الخلوية " GSM" التقليدية تعمل المحطة القاعدية للاتصال "BTS" على الإرسال بجميع الاتجاهات لتغطية مساحة الخلية حتى تستطيع المحطة المتنقلة "MS" المعنية بالاتصال من الرد، وذلك لأن المحطة القاعدية للاتصال لا تملك أية معلومات عن مواقع تواجد المحطات المتنقلة ضمن الخلية. وهذه الطريقة تستلزم تبديد القدرة والارسال في الاتجاهات التي لا يتواجد بها أي محطة متنقلة والذي بدوره قد يتسبب في مشكلة تداخل القنوات المتشابهة في الخلايا الأخرى " Co-channel Interferance". نتيجةً لذلك فقد تم تطوير تقنية تعدد الوصول بالتقسيم المكاني "SDMA" وبناءاً على مواقع تواجد المحطات المتنقلة في الخلية بحيث يتم توجيه شعاع البث الرئيسي " Main Beam" باتجاه المحطة المتنقلة باستخدام ما يسمى بالهوائيات الذكية "Smart/Adaptive Antennas" وأما الفراغات في أشعة البث "Radiation Nulls" باتجاه المحطات المتنقلة غير المعينة بالاتصال. الشكل (٣- ١٢) يوضح مبدأ "SDMA".

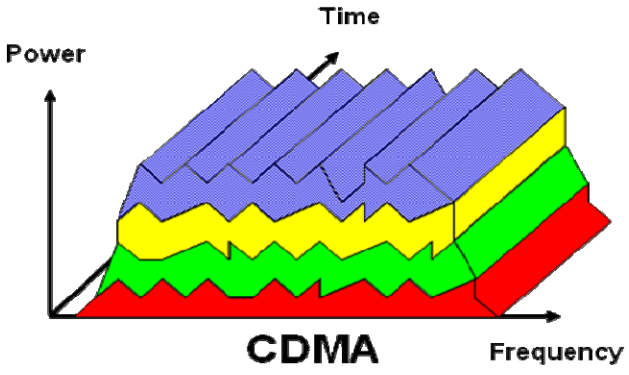
وبهذا التطور على تقنية "SDMA" يمكن استخدام القناة الترددية بأكثر من اتجاه في الخلية الواحدة لأكثر من محطة متنقلة بنفس الوقت مع اختلاف مواقع تواجد هذه المحطات المتنقلة في الخلية وبذلك تتم الاستفادة من تقنية "SDMA" بزيادة سعة الشبكة الخلوية بشكل كبير.



شكل (٣- ١٢) تعدد الوصول بالتقسيم المكاني "SDMA"

- **تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري CDMA**

تستخدم بعض أنظمة الاتصالات اللاسلكية الرقمية الحديثة تقنية تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري "Code Division Multiple Access (CDMA)" والتي تستخدم في أنظمة الجيل الثالث G3 للاتصالات المحمولة و يتم فيه تشفير معلومات المشتركين بشفرات مختلفة لمنع التداخلات عند استخدام عدد من المشتركين نفس النطاق الترددي حيث يتم توفير سعة كبيرة لخدمة عدد كبير من المشتركين و نقل سريع للمعلومات وخصوصية للحفاظ على سرية المعلومات.



شكل (٣- ١٣) مثال للتقسيم التشفيري المتعدد المسالك "CDMA"

٣- ٢ مشاكل الإرسال

٣- ٢- ١ الفقدان المساري Path Loss

تنتشر الموجات الراديوية كما ينتشر الضوء في الفراغ بخطوط مستقيمة وبسرعة $3x10^8$ m/s ولا تعتمد هذه السرعة على التردد . وعند وجود خط مستقيم ومباشر بين المرسل والمستقبل يسمى خط الرؤية "Line Of Sight (LOS)" . وفي حالة عدم وجود عائق فإن قدرة الإشارة المستقبلة P_r تضمحل (تضعف) مع ازدياد المسافة "d" الفاصلة بين المرسل والمستقبل. وتتناسب قدرة الإشارة المستقبلة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بما يعرف هذه العلاقة بقانون التربيع العكسي "Inverse Square Law" التالي:

$$P_r \propto \frac{1}{d^2} \qquad (3\text{-}4)$$

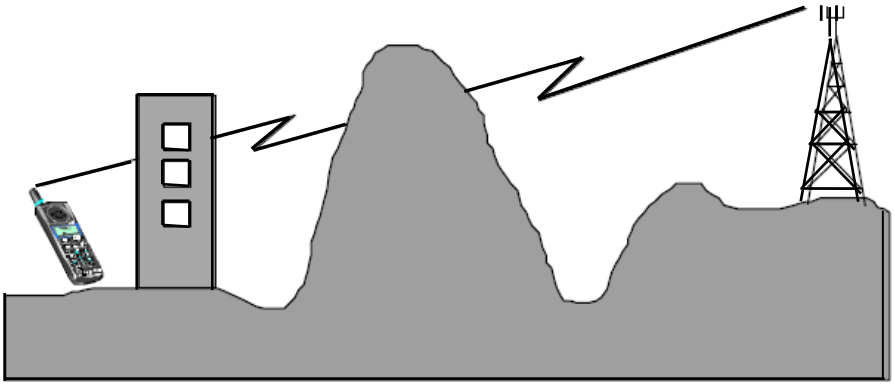
كما أن قدرة الإشارة تتأثر بعوامل أخرى كالطول الموجي للإشارة المرسلة والكسب "Gain" لهوائيات كل من المرسل والمستقبل. وتؤثر كذلك العوامل الجوية كالمطر ونسبة الرطوبة والغبار والدخان والضباب والثلوج في قوة الإشارة تأثيراً سلبياً ويزداد ضعفها مع زيادة التردد. إن مشكلة الفقد المساري نادراً ما تتسبب في فقد الاتصال لأنه وقبل تفاقم المشكلة يتم إنشاء مسار جديد للاتصال من خلال محطة قاعدية جديدة. أما في وجود عوائق بين المرسل والمستقبل تصبح الحالة أكثر تعقيداً، وسوف يتم تفصيله فيما يلي.

٣- ٢- ٢ الحجب والتظليل Blocking and Shadowing

عند اقتراب المحطة المتنقلة "MS" كثيراً من هوائي محطة قاعدية "BTS" تابعة لمشغل آخر (شبكة غير التي تنتمي إليها المحطة المتنقلة) واستخدام ترددات قريبة من التردد المخصص للمحطة المتنقلة فإن إرسال المحطة القاعدية يطغى على استقبال المحطة المتنقلة فيحدث انقطاع للاستقبال وهو ما يسمى بالحجب "Blocking". ويحدث الحجب عادة عندما يكون هوائي المحطة القاعدية على مستوى الأرض أي مقارباً لمستوى ارتفاع المحطة المتنقلة.

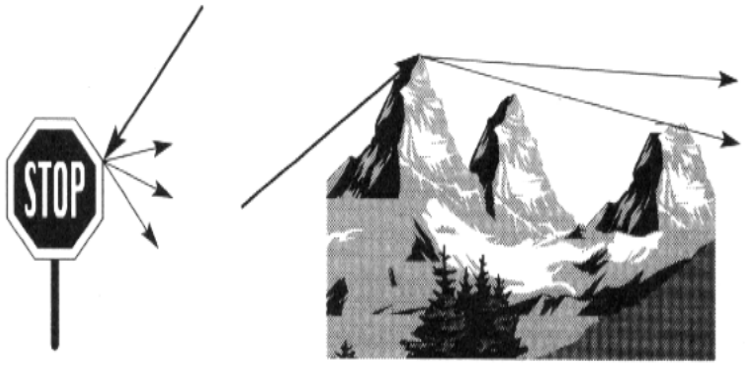
وفي وجود عوائق كبيرة (بأبعاد أكبر من طول الموجة) يحدث نوع من الخبو الشديد "Fading" نتيجة لانعكاس "Reflection" الإشارة اللاسلكية وهو ما يسمى بالتظليل "Shadowing" وهذا النوع من الخبو يعتمد على التردد حيث إن نفاذ الإشارة خلال الأجسام يعتمد على ترددها فكلما زاد تردد الإشارة تقل قوة نفاذها خلال الأجسام حيث تقترب خواص الموجات الراديوية من خواص الضوء. فالإشارات العالية

التردد تتأثر بشكل أكبر بالعوائق حتى الصغير منها. فوجود مبنى أو جدار أو شجرة قد يؤدي إلى انقطاع الاستقبال نهائياً من مصدر الإشارة المباشر عند عدم وجود انعكاسات للإشارة من عوائق أخرى (مسارات أخرى) انظر الشكل (٣- ١٣) وذلك كما يحدث في الإشارات العالية التردد المرسلة من الأقمار الصناعية.



شكل (٣- ١٤) يوضح مشكلة التظليل "Shadowing"

وفي حالة اصطدام الإشارة بعوائق صغيرة الحجم (بأبعاد مقاربة لطول الموجة أو أصغر منها) يحدث تشتت "Scattering" للإشارة حيث تنعكس الإشارة متشتتة في عدة اتجاهات مختلفة وبعدة إشارات أقل قدرة. وتتسبب هذه الظاهرة في حدوث ما يعرف باسم الحيود الموجي "Wave Diffraction" انظر الشكل (٣- ١٤). و يظهر أثره في حدوث أنماط "Patterns" في قوة الإشارة فتختلف قدرة الإشارة المستقبلة حسب موقع المستقبل



شكل (٣- ١٥) التشتت "Scattering" **و الحيود الموجي** "Wave Diffraction"

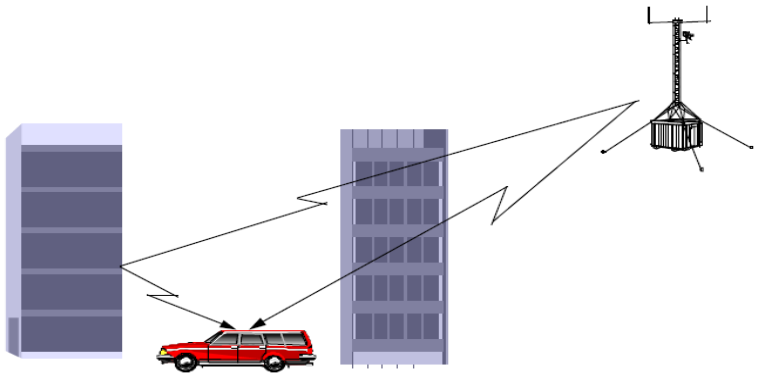
٣- ٢- ٣ تأثر الإشارة بتعدد المسارات Multi-path propagation

حتى في عدم وجود عوائق في المسار المباشر بين المرسل و المستقبل فإن وجود عوائق في المنطقة المحيطة مثل الأبنية والجبال يتسبب في نوع من أصعب مشاكل الإرسال وهو تعدد المسارات " Multi-path Propagation" حيث تنعكس الإشارة نتيجة اصطدامها بالعوائق وبذلك تصل إلى المستقبل من عدة مسارات بمعنى آخر تصل إلى مستقبل المحطة القاعدية "BTS" أو المحطة المتنقلة "MS" أكثر من إشارة تحمل نفس المعلومات. من أهم المشاكل الناجمة من تعدد المسارات خبو ريليه "Rayleigh Fading" والتشتت الزمني " Delay Spread or Time Dispersion".

وبذلك تصل الإشارة من المسار المباشر أولاً ثم تليها الإشارات المنعكسة متوالية حسب المسافات المختلفة التي تقطعها كل إشارة ويسمى هذا التأثير بالتأخير الممتد "Delay Spread" ويقدر بحوالي 3µs داخل المدن. ويتسبب هذا في وصول أكثر من نسخة من نفس الإشارة وتكون هذه النسخ غير متزامنة وتختلف في قدراتها ونتيجة لذلك يحدث تشويه للإشارة بسبب التداخلات للنسخ العديدة المستقبلة في أوقات مختلفة.

- **خبو ريليه** Rayleigh Fading

شكل (٣- ١٥) يوضح مشكلة خبو ريليه "Rayleigh Fading" الناتج عن تعدد المسارات، حيث تحدث هذه المشكلة عندما لا يكون هنالك مسار مباشر بين المرسل والمستقبل مع وجود عوائق قريبة جداً من المستقبل فيتم استقبال الإشارة من عدة مسارات غير مباشرة. تكون الإشارة المستقبلة عبارة عن حاصل جمع عدة إشارات منفردة تختلف كل منها بزاوية الطور وشيء من السعة.

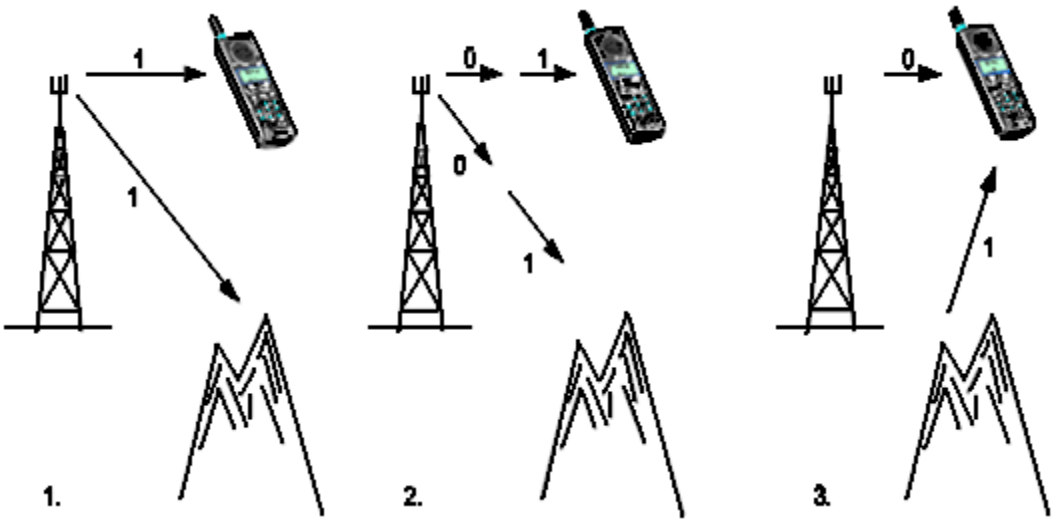


شكل (٣- ١٥) يوضح مشكلة خبو ريليه "Rayleigh Fading" بسبب تعدد المسارات

- **التشتت الزمني** Time Dispersion or Delay Spread

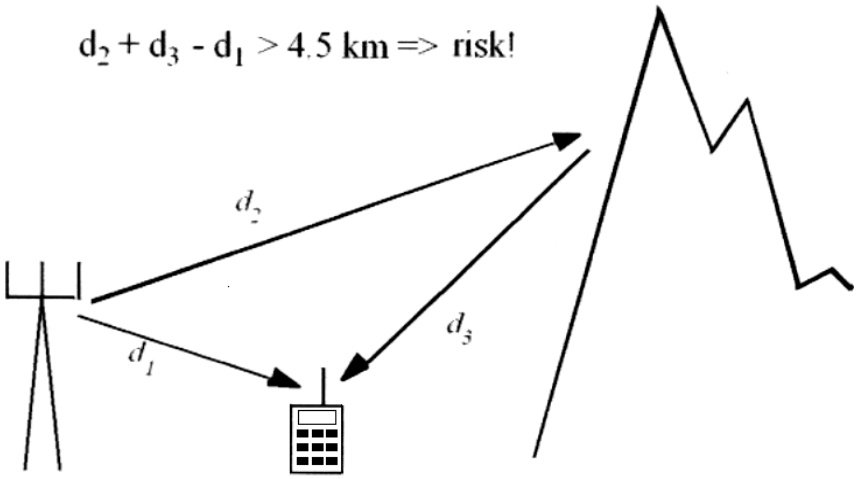
من المعروف أن المعلومات الرقمية يجب أن ترسل وتستقبل بترتيب زمني منتظم خاصة عند استخدام التقسيم الزمني المتعدد الوصول "TDMA". وتتسبب ظاهرة تعدد المسارات في حدوث ما يسمى بالتشتت الزمني "Time Dispersion" والتي يكون تأثيرها على مستوى الخانة الرقمية الواحدة "One Bit" فتصل عدة نسخ من الإشارة الأصلية متتابعة في أوقات مختلفة مما يعقد عملية الاستقبال. وتختلف مشكلة التشتت الزمني عن مشكلة خبو ريليه وذلك أن في التشتت الزمني ترتد الإشارات عن عوائق بعيدة عن المستقبل وكذلك مع وجود مسار مباشر. ولكن إذا كان التأخير محدوداً فمن الممكن معالجة المشكلة بفصل النسخ المتعددة للإشارة وتحسين مستوى الإشارة بالاستفادة من محتويات النسخ المختلفة فيستفيد المستقبل من هذه الظاهرة. وتجدر الإشارة إلى أنه في مناطق العمران من النادر أن يتم استقبال الإشارة مباشرة دون الانعكاسات . وتستخدم عملية التقويم المتكيف "Adaptive Equalization" والتي سيتم شرحها لاحقاً كوسيلة مساعدة لحل هذه المشكلة.

يتسبب التشتت الزمني في ما يسمى بمشكلة تداخل الرموز "Inter-Symbol Interference (ISI)" حيث تتداخل الرموز المتتالية مع بعضها مسببة للمستقبل صعوبة تحديد الرمز الصحيح. كما هو موضح في الشكل (٣- ١٦).



شكل (٣- ١٦) يوضح مشكلة التشتت الزمني.

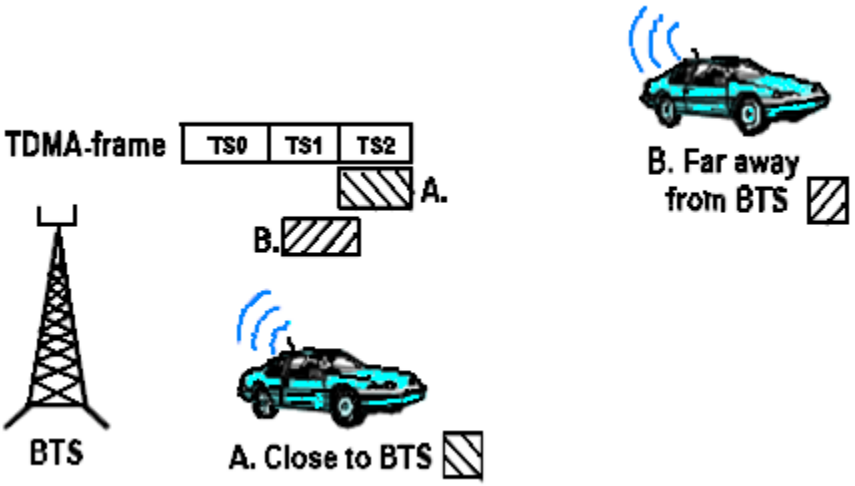
وفي نظام GSM وضعت المعايير بحيث يتحمل التشتت الزمني في حدود 15 µs أي ما يعدل مسافة 4.5Km كما في الشكل (٣- ١٧)، مما يعني أنه يمكن التعامل مع مجموعة من نسخ الإشارة والتي تستقبل خلال فترة زمنية قدرها 15 µs باعتبار أن النسخ المتأخرة أكثر من هذه الفترة الزمنية قد قطعت مسافة أكبر من 4.5Km فتكون قدرتها ضعفت بما فيه الكفاية فيتم تجاهلها.



شكل (٣- ١٧) يوضح اختلاف المسافة بين المسارات المختلفة

٣- ٢- ٤ التوافق الزمني Time alignment

حيث إن أنظمة الاتصالات الرقمية يتم التعامل فيها في المجال الزمني "Time Domain". وحيث أن المحطة القاعدية "BTS" تستقبل الإشارات من عدة محطات متنقلة "MSs" في نفس الوقت فإن المحطات المتنقلة البعيدة نسبياً تصل إشارتها متأخرة عن المحطات المتنقلة القريبة مما يتسبب في عدم التوافق الزمني فتصل معلومات محطة متنقلة في وقت متأخر بجزء من الوقت المخصص للمحطة المتنقلة الثانية مسبباً تداخل معلومات المحطتين. الشكل (٣- ١٨) يوضح آلية حدوث هذه المشكلة. و لعلاج هذه المشكلة فقدتم استخدام ما يسمى بعملية الاستباق الزمني "Timing Advance" والتي سوف يتم شرحها لاحقاً.

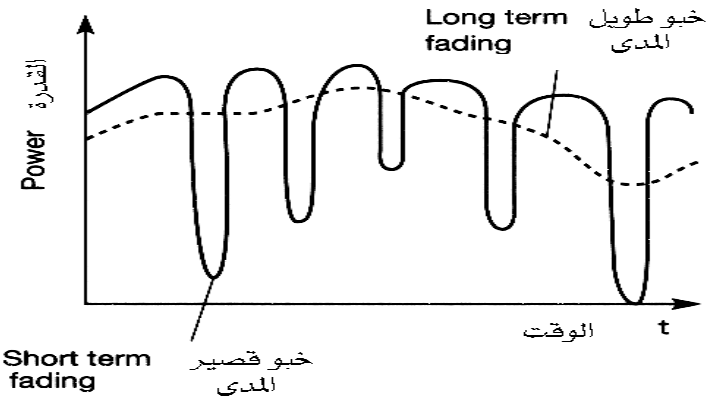


شكل (٣- ١٨) يوضح آلية حدوث مشكلة التوافق الزمني "Time Alignment"

٣- ٢- ٥ فقدان الإشارة المتعدد الأسباب

يتسبب تأثير التأخير الممتد الناتج عن المسارات المتعددة في تداخل النبضات في جهة المستقبل وباعتبار أن كل نبضة تمثل رمزاً "Symbol" وكل رمز أو عدة رموز تمثل معلومة رقمية "Bit". فإن الطاقة المحددة لرمز معين تتوزع على الرموز المجاورة وهذه الظاهرة تسمى بتداخل الرموز "Inter-Symbol Interference (ISI)". ومع الزيادة في سرعة الترميز "Symbol Rate" يزداد تأثير هذه الظاهرة.

ومع وجود تأثير التأخير الممتد وظاهرة تداخل الرموز في الاتصالات اللاسلكية الثابتة فإن تأثيرها يكون أكبر في الاتصالات المتنقلة حيث يكون المستقبل أو المرسل أو كلاهما في حركة وبذلك تتغير خصائص القناة والمسارات التي تتبعها الإشارة مع تغير الوقت. وهذا يتسبب في تغير قدرة الإشارة المستقبلة مع الوقت تغيراً سريعاً ويسمى بالخبو القصير المدى "Short Term Fading". ويوضح الشكل (٣- ١٩) الخبو القصير المدى إضافة إلى الخبو الطويل المدى "Long Term Fading" والمتمثل بمتوسط القدرة لفترة من الوقت والذي يحدث نتيجة التغير في المسافة الفاصلة بين المرسل والمستقبل أو وجود عوائق على مسافات بعيدة نسبياً. وهذا النوع من الخبو يكون فيه معدل انخفاض القدرة للإشارة المستقبلة مع تغير الوقت بطيئاً مقارنة بالخبو القصير المدى.



شكل (٣- ١٩) الخبو القصير المدى والخبو الطويل المدى

إضافة إلى ما ذكر أعلاه هناك عدة عوامل تؤثر وقد تتسبب في فقدان أو خبو أو تشويه الإشارات الراديوية ومن هذه العوامل ما يسمى بظاهرة إزاحة دوبلر "Doppler Shift" وهو ناتج عن حركة المرسل بسرعة مما ينتج عنه تغير أو إزاحة في تردد الإشارة. ويعتمد التغير في التردد على السرعة التي يتحرك بها المرسل والمستقبل حيث تقل قيمة التردد كلما زادت سرعة التباعد بين المرسل والمستقبل.

٣- ٣ حلول مشاكل الإرسال

حيث إن مشاكل الإرسال اللاسلكي ناتجة عن ظواهر طبيعية لا يمكن إزالتها فإن المطلوب هو التكيف والتعامل معها بوضع حلول في أنظمة الاتصالات اللاسلكية تساعد على القضاء أو التقليل قدر الإمكان من الأخطاء الناتجة عن تأثير هذه المشاكل على جودة الاتصال. ولقد تم وضع بعض الحلول التي ساعدت كثيراً في التغلب على الأخطاء ومعظم هذه الحلول تتطلب اتخاذ إجراءات خاصة في جهتي المرسل والمستقبل لضمان اكتشاف الأخطاء وتصحيحها.

ومن هذه الإجراءات ما هو خاص بتوزيع الوقت وإدخال بعض الأساليب لحماية المعلومات وأخذ الاحتياطات الوقتية اللازمة لمنع التداخل والتكيف مع الحالة وتشفير الكلام وتشفير القنوات والتغيير المستمر للترددات المستخدمة وتوزيعها على الخلايا بطريقة تضمن عدم تكرار نفس التردد في الخلايا المتقاربة. ومنها كذلك ما هو خاص بترتيب أوضاع الهوائيات وتوزيعها بطرق تقلل من تأثيرات الخبو والتداخل.

٣- ٣- ١ تشفير القناة Channel Coding

في الإرسال الرقمي يعبر عن جودة إرسال إشارة ما بانخفاض معدل خطأ البيانات " Bit Error Rate (BER)". وهو يعرف نسبة الخانات المرسلة والتي اكتشفت خاطئة والتي يجب أن تكون أقل ما يمكن لأنه من المستحيل تقليلها إلى الصفر لأن مسار الإرسال يتغير بشكل دائم. المثال التالي يوضح لنا مفهوم الخطأ وكيفية حساب نسبته.

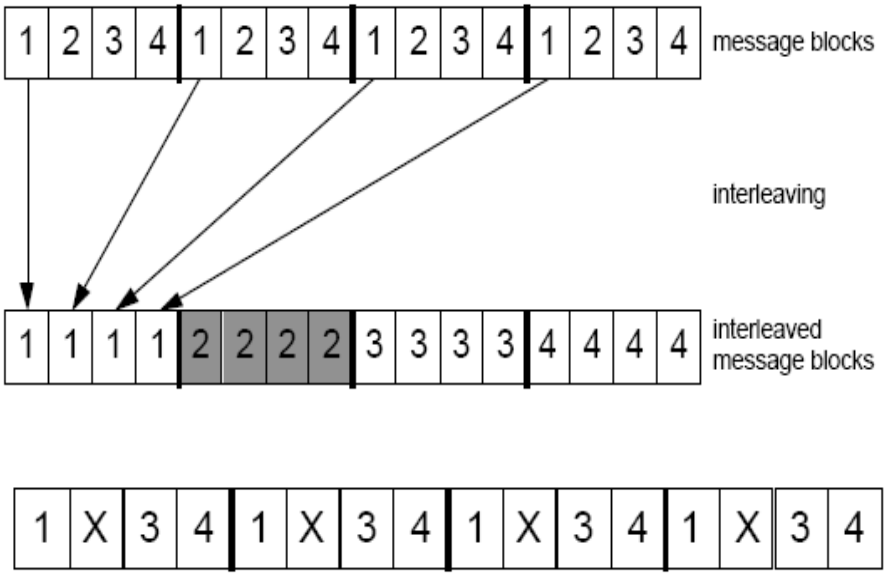
خانات مرسلة (Tx bits)	**1**	**1**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**0**
خانات مستقبلة (Rx bits)	**1**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**
الخطأ (BER)		↑					↑	↑		

BER= 3/10 = 30%

تستخدم طريقة تشفير القناة "Channel Coding" لكشف وتصحيح الأخطاء لسيل من الخانات المستقبلة. وتتم هذه العملية بإضافة خانات إلى الرسالة تساعد في تحديد الأخطاء في الرسالة ومن ثم تصحيحها. يجب الملاحظة أن عملية تشفير القناة قادرة على كشف وتصحيح الأخطاء التي تحدث بشكل فردي أو لسلسة قصيرة من الأخطاء. تعتبر هذه الطريقة حلاً لمشكلة الفقد المساري "Path Loss".

٣- ٣- ٢ التحزيم التداخلي Interleaving

يستخدم ما يسمى بالتحزيم التداخلي " Interleaving" كوسيلة لتسهيل اكتشاف و تصحيح الأخطاء الناتجة عن الضوضاء النبضية التي تحدث خلال عملية الإرسال اللاسلكي حيث تستخدم لفصل الخانات المتتالية للرسالة الواحدة وذلك لتفادي الأخطاء المتتالية أو المتسلسلة للرسالة. وفي عملية التحزيم التداخلي يتم إعادة توزيع المعلومات الرقمية الثنائية "Bits" كما في الشكل (٣- ٢٠). وعند وجود أخطاء محتملة في مجموعة من المعلومات الرقمية المتتالية المستقبلة يتم تخزين ثم إعادة ترتيب المعلومات الرقمية بعملية فك التحزيم حيث توزع الأخطاء لتصبح أخطاء فردية يسهل اكتشافها والتعامل معها.



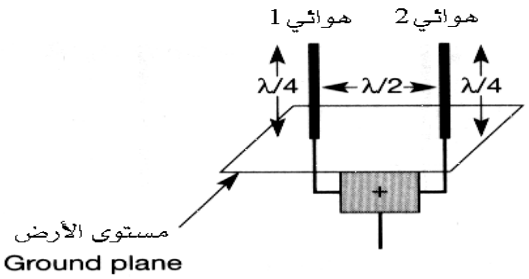
شكل (٣- ٢٠) يوضح مبدأ التحزيم التداخلي

٣- ٣- ٣ تنوع الهوائيات Antenna Diversity

في العموم فإن التنوع يمكن تنفيذه على طرق مختلفة وهي التنوع الزمني "Time Diversity" والتنوع الترددي "Frequency Diversity" والتنوع الاتجاهي "Angle Diversity" والتنوع المكاني " Space Diversity". وتنوع الهوائيات مثال على التنوع المكاني.

تستعمل طرق تنوع الهوائيات في نظم الاتصالات اللاسلكية لتحسين قدرة الإشارة المستقبلة دون الحاجة لرفع قدرة الإرسال أو زيادة نطاق التردد. وتعتمد فكرة التنوع على تركيب أكثر من هوائي وبالتالي استقبال أكثر من عينة للإشارة المستقبلة بطريقة ملائمة ينتج عنها زيادة القدرة وتحسين أداء جهاز الاستقبال.

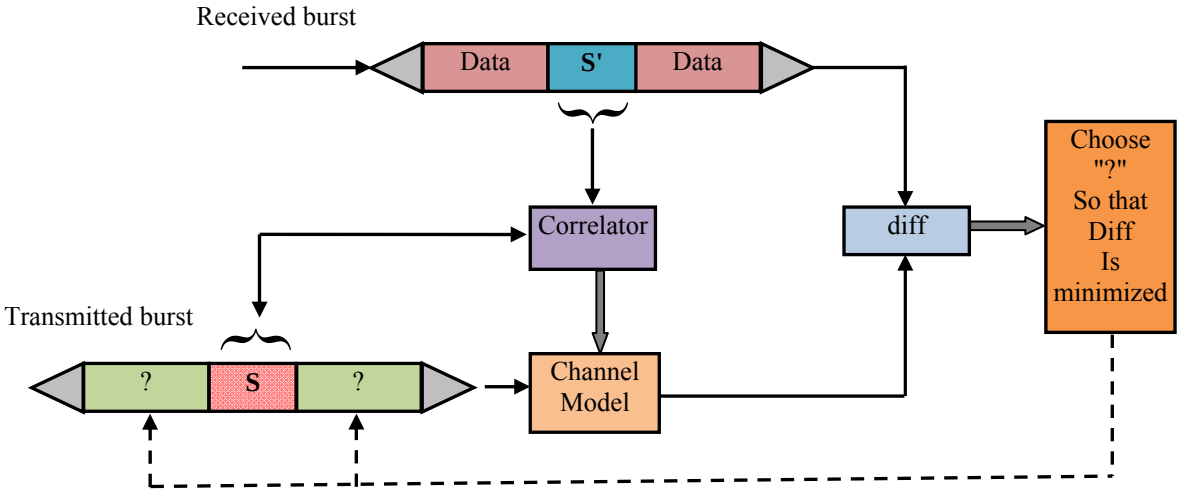
فعند استخدام هوائيان تكون الإشارتان المستقبلتان في الوحدتين مستقلتان في الخبو تقريباً. وحيث إن طول الموجة هو أقل من متر في نطاقات التردد المستخدمة في أنظمة الاتصالات المتنقلة فإنه يمكن استخدام التباعد المكاني في الوحدات المتنقلة لأن المسافة الفاصلة ستكون في حدود 10cm. الشكل (٣- ٢١) يوضح مثالاً على التباعد المكاني للهوائيات. وعندما يستخدم التباعد المكاني في الوحدات الثابتة فإن المسافة الفاصلة تعتمد على ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض ويجب أن لا تقل عن عشر " 1/10" ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض لتتحقق الاستفادة المطلوبة من التباعد المكاني.



شكل (٣- ٢١) مثال على استخدام التباعد المكاني للهوائيات.

٣- ٣- ٤ التقويم المتكيف Adaptive Equalization

يستخدم التقويم المتكيف "Adaptive Equalization" في جهة المستقبل كوسيلة مساعدة للتكيف مع خصائص مسار الانتشار في حالة تعدد المسارات وبالأخص في حالة التشتت الزمني " Time Dispersion". وعملية التقويم المتكيف تعتمد على إرسال مجموعة تسلسلية من الأرقام الثنائية "Bits" ضمن خانة الوقت "Time Slot" أو الرشقة "Burst" وتسمى هذه المجموعة تسلسل التدريب " Training Sequence" وتكون معروفة لدى المرسل و المستقبل. ويستفيد الطرف المستقبل من تسلسل التدريب في التكيف مع ظروف الإرسال وتحديد خصائص مسارات الانتشار والتأقلم معها وذلك باستخدام مرشح عكسي يتم تعديل خواصه حسب نتيجة المقارنة بين تسلسل التدريب المستلم وتسلسل التدريب الصحيح والموجود مسبقاً لدى المستقبل فيتم تحديد الأخطاء وتصحيحها وبناءاً على هذه المقارنة حيث تعدل خواص المرشح العكسي بناء على ذلك. وعند استلام الرشقة التالية تمرر عبر المرشح العكسي لتتم عملية التصحيح. و في نظام GSM يتكون تسلسل التدريب من "26 Bit" ويوضع في وسط الرشقة كما هو موضح في الشكل (٣- ٢٢).

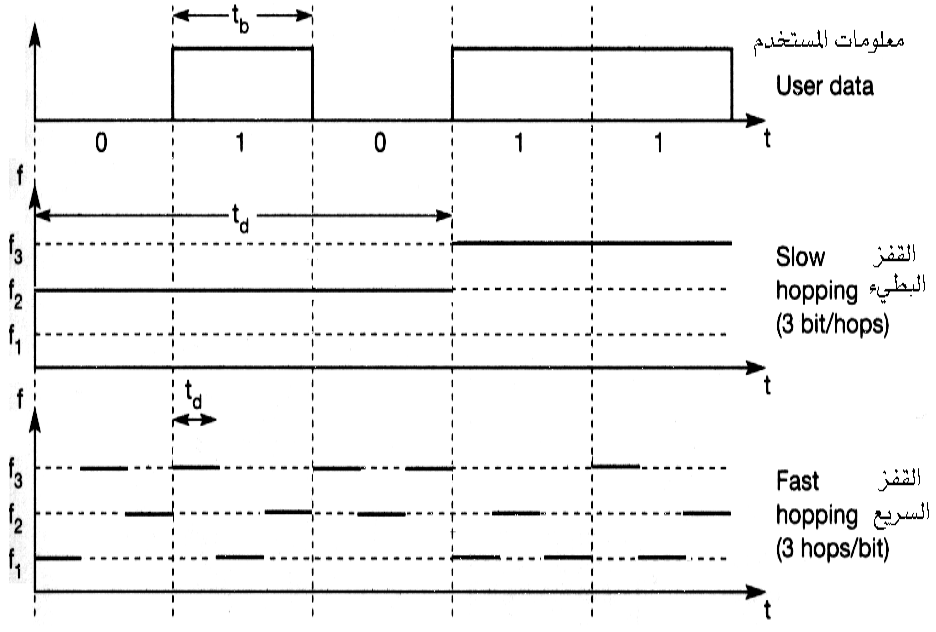


شكل (٣- ٢٢) يوضح عملية مقارنة خانات تسلسل التدريب

٣- ٣- ٥ القفز الترددي Frequency Hopping

القفز الترددي "Frequency Hopping" هو طريقة اختيارية يمكن استخدامها في نظم الاتصالات اللاسلكية للحد من تأثير التداخل بين المستخدمين لنفس القناة الترددية "Co-channel Interference" وكذلك التقليل من الأخطاء الناتجة عن تعدد المسارات وبشكل خاص يقلل من تأثير خبو ريليه حيث أن مكان حدوث الخبو "Fading" للإشارة يختلف من تردد إلى تردد آخر. وللاستفادة من هذه العملية تقوم كل من المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة بالقفز من تردد إلى تردد أثناء الاتصال وبشكل متزامن. أي إن التردد المخصص لمشترك معين يتغير باستمرار وبذلك يتنقل المشترك خلال المكالمة الواحدة بين قنوات ترددية مختلفة يصل عددها إلى 124 قناة بحيث يتم الانتقال من قناة إلى قناة أخرى بمعدل معين وفي فترات زمنية محددة متفق عليها وبتنسيق دائم بين المرسل و المستقبل.

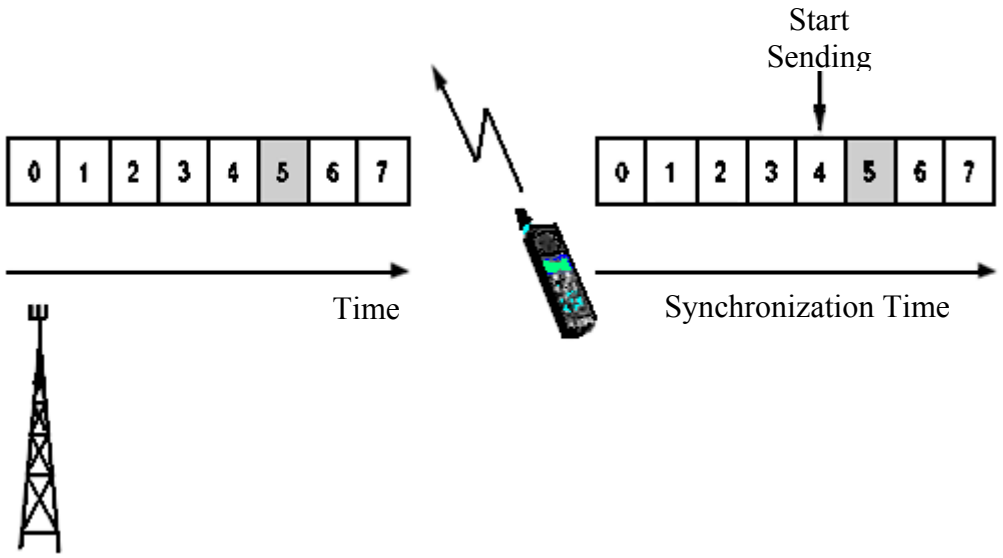
وهناك نوعان من القفز الترددي وهما القفز الترددي البطيء "Slow Frequency Hopping" والقفز الترددي السريع "Fast Frequency Hopping". وفي النوع الأول تتغير القناة الترددية بعد عدة تغيرات للمعلومات الرقمية. أما في النوع الثاني فتتغير القناة عدة مرات خلال معلومة رقمية واحدة والشكل (٣-٢٣) يوضح مثالاً على نوعي القفز الترددي حيث تتغير القناة الترددية بعد ثلاثة تغييرات للمعلومات الترددية في النوع الأول وفي النوع الثاني تتغير القناة الترددية ثلاثة مرات خلال معلومة رقمية واحدة.



شكل (٣- ٢٣) يوضح مثالاً على نوعي القفز الترددي

٣- ٣- ٦ التقديم الزمني Timing Advance

في أنظمة الاتصالات المتنقلة الرقمية تعتبر عملية التزامن في إرسال المعلومات مهمة للغاية وعندما يكون هناك عدد من أجهزة الإرسال المتنقلة "MS" في خلية واحدة تتفاوت أبعادها عن المحطة القاعدية "BTS". وبذلك يعتمد التأخير أو التخلف الزمني على المسافة التي تقطعها الإشارة للوصول للمحطة الثابتة. وتهدف عملية التقديم الزمني "Timing Advance" إلى تنظيم توقيت عملية الاستقبال لجعل الإشارات المستقبلة من أجهزة الإرسال المختلفة لتصل كل منها في الوقت المناسب تفادياً للتداخل. تقوم المحطة بقياس فترة التأخير للإشارة المرسلة من محطة متنقلة معينة فإذا كان هناك تأخير قد يتسبب في تداخل ترسل تعليمات للمحطة المتنقلة بعمل تسريع أو استباق زمني لعملية إرسال الرشقات. لذلك تعتبر طريقة الاستباق أو التقديم الزمني "Timing Advance" حلاً مثالياً لمشكلة عدم التوافق الزمني "Time Alignment". الشكل (٣- ٢٤) يوضح طريقة وهدف الاستباق الزمني.

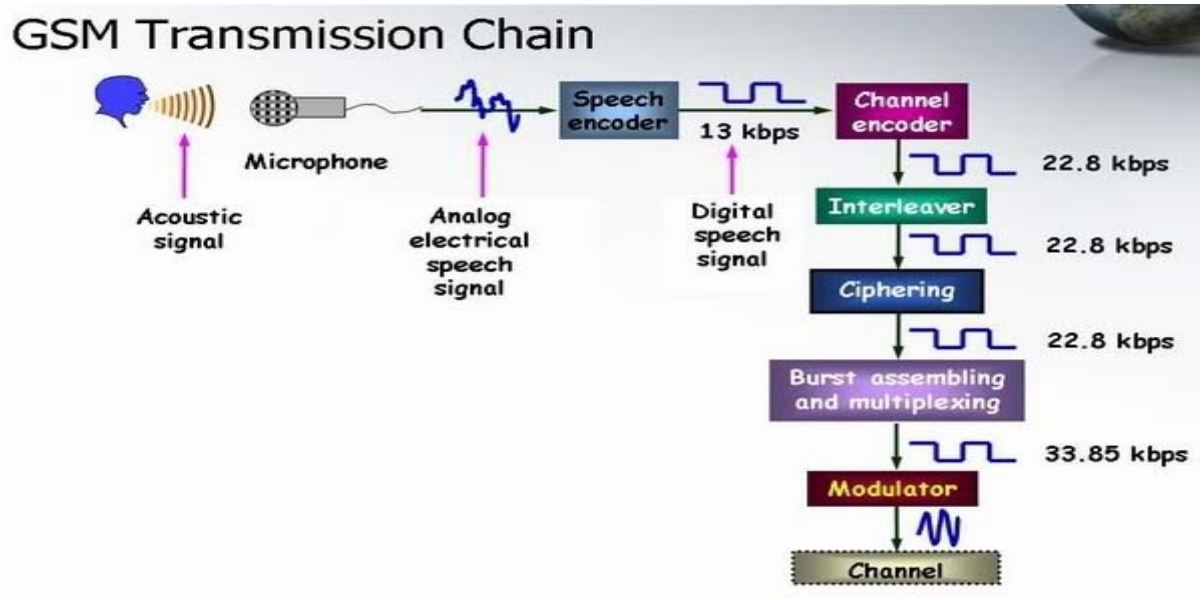


شكل (٣- ٢٤) يوضح طريقة وهدف الاستباق الزمني

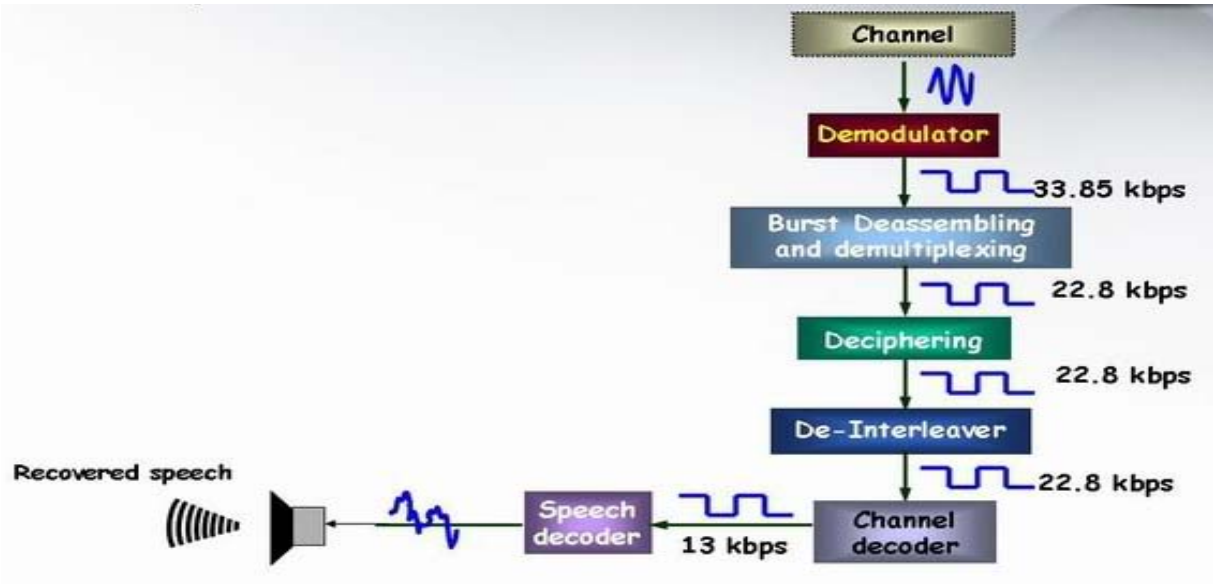
في نظام GSM ترتبط المعلومات الخاصة بعملية الاستباق الزمني بزمن الخانة الواحدة one bit. لهذا قد تؤمر المحطة النقالة بإرسال المعلومات بوقت مبكر بمقدار زمن بضعة خانات. لذلك في نظام GSM يجب أن لا يتجاوز زمن الاستباق المسموح به مقدار زمن 63 bit وهذا بالتالي حدد حجم الخلية بقطر لا يتجاوز 35 Km.

٣- ٤ خطوات الإرسال في نظام GSM

الشكل (٣- ٢٥) يوضح خطوات الإرسال و الاستقبال في نظام GSM. ففي المحطة المتنقلة MS تتم عملية الإرسال كما هو موضح في الشكل (٣- ٢٥أ) بتحويل الكلام إلى معلومات من خلال مشفر الكلام الذي يأخذ عينات من الكلام و يحولها إلى معلومات رقمية. ثم تشفر في مشفر القناة .



شكل (٣- ٢٥أ) خطوات الإرسال في MS

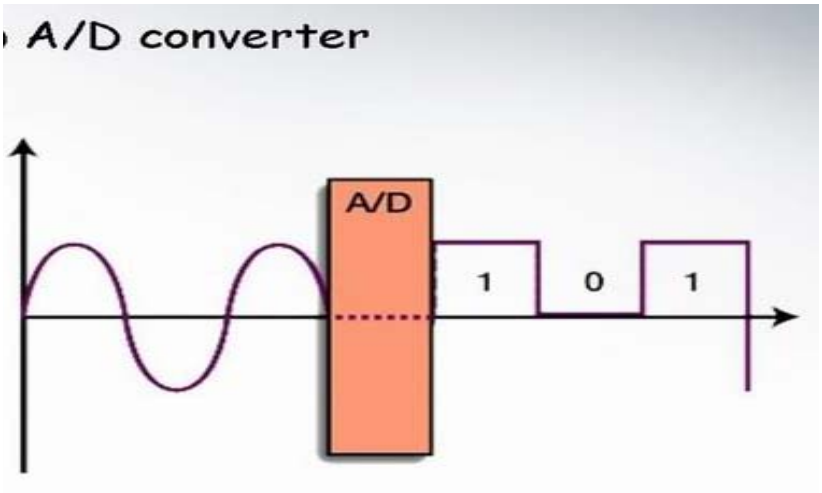


شكل (٣- ٢٥ب) خطوات الاستقبال في MS

ثم تتم عملية التحزيم التداخلي ثم عملية التمويه ثم عملية التعديل الرقمي "GMSK" بعد ذلك تكون الإشارة جاهزة للإرسال حيث تمرر عبر المزوج "Duplexer" الذي يفصل بين الإشارة المرسلة والمستقبلة وترسل عبر الهوائي. وتتم عملية الاستقبال بخطوات معاكسة لعملية الإرسال. وفي المحطة الثابتة "BTS" تتم نفس عمليات الإرسال والاستقبال كما في المحطة المتنقلة إلا أن الدخل في حالة الإرسال والخرج في حالة الاستقبال يكون عبر مركز التحويل للمتنقل والمتصل بالشبكة العامة للهاتف كما هو موضح في الشكل (٣- ٢٥ب).

٣- ٤- ١ التحويل من التماثلي إلى رقمي Analog to Digital (A/D) Conversion

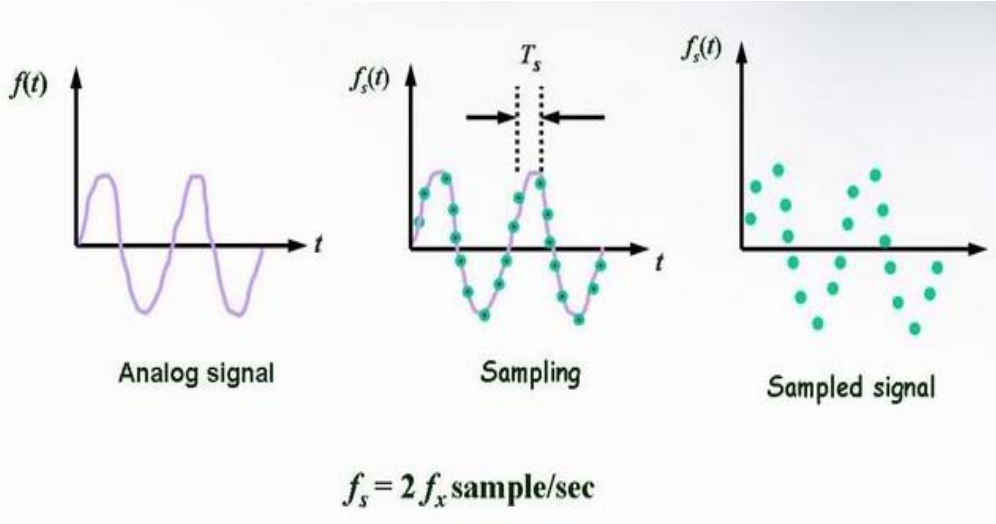
من أهم مهام المحطة المتنقلة تحويل معلومات الكلام التماثلي "Analog Speech Information" إلى إشارة رقمية تتكون من (0's , 1's) كما هو موضح بالشكل (٣- ٢٦) والتي تمثل إشارة الدخل. تتمثل عملية التحويل هذه بتوليد إشارة "Pulse Code Modulation (PCM)"وذلك حسب الخطوات التالية:



شكل (٣- ٢٦) يوضح عملية التحويل من تماثلي إلى رقمي

- **عملية أخذ العينات** Sampling

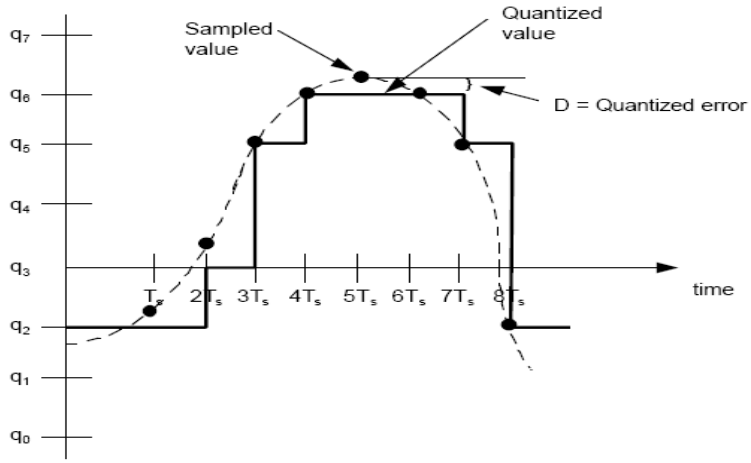
يتم أخذ عينات من الإشارة التماثلية بناءاً على النظام المتبع في أنظمة الاتصالات وذلك بتردد مقداره 8 kHz بحسب نظرية أخذ العينات حيث أن هذا التردد هو حوالي ضعفي تردد الكلام الطبيعي الممتد من 300 Hz إلى 3400 Hz. الشكل (٣- ٢٧) يوضح عملية أخذ العينات.



شكل (٣- ٢٧) يوضح عملية أخذ العينات Sampling

- التكميم Quantization

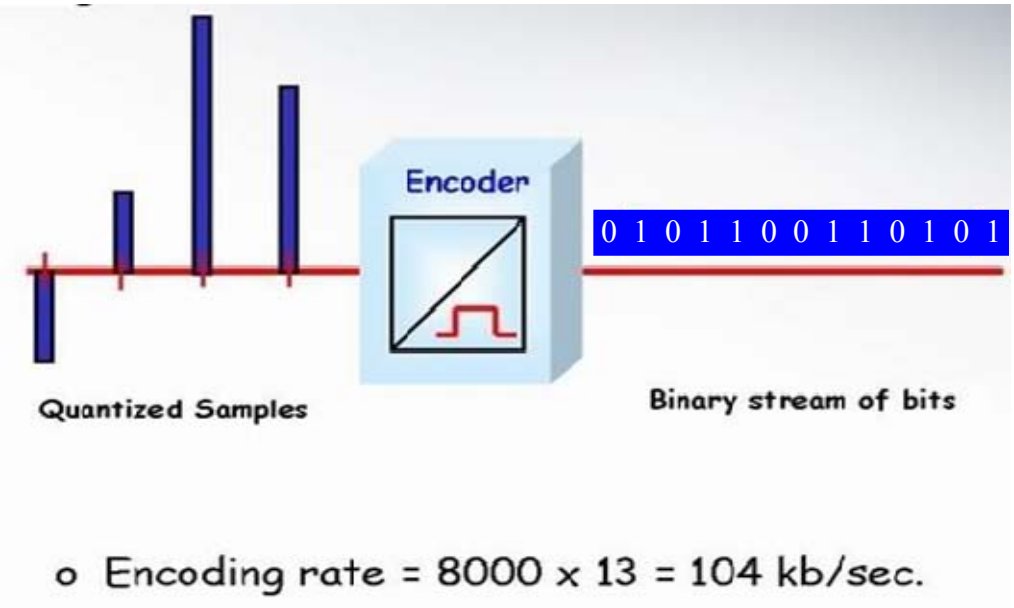
في عملية التكميم يتم أخذ قياس سعة كل عينة من العينات الناتجة من مرحلة أخذ العينات ومن ثم تقرب لأحد قيم مجموعة مستويات التكميم. وهذا يؤدى إلى ما يسمى بخطأ التكميم " Quantization Error" ويمكن تقليل هذا الخطأ بزيادة عدد مستويات التكميم. الشكل (٣- ٢٨) يوضح لنا طريقة التكميم. في الأنظمة الهاتفية التقليدية يتم استخدام عدد 256 مستوى بينما في نظام GSM يستخدم 8192 مستوى، وهذا العدد يكافئ 13 bit / sample.



شكل (٣- ٢٨) يوضح عملية التكميم "Quantization"

- **التشفير** Coding

تتضمن عملية التشفير Coding تحويل مستويات التكميم إلى معلومات رقمية (مجموعة من Bits) حيث يأخذ كل مستوى ويتم تمثيله بشفرة مكونة من 13 Bit (2^{13} = 8192 level). يوضح الشكل (٣- ٢٩) مبدأ التشفير.



شكل (٣- ٢٩) يوضح مبدأ التشفير في نظام GSM

إن الناتج لعملية التحويل من تماثلي إلى رقمي هو معلومات رقمية بمعدل

R_b (one MS) = 104 kbits/s = 13 bit /sample ×8000 sample

وهذا المعدل لمحطة متنقلة واحدة. أما لثمانية محطات متنقلة فإن هذه القيمة تصبح

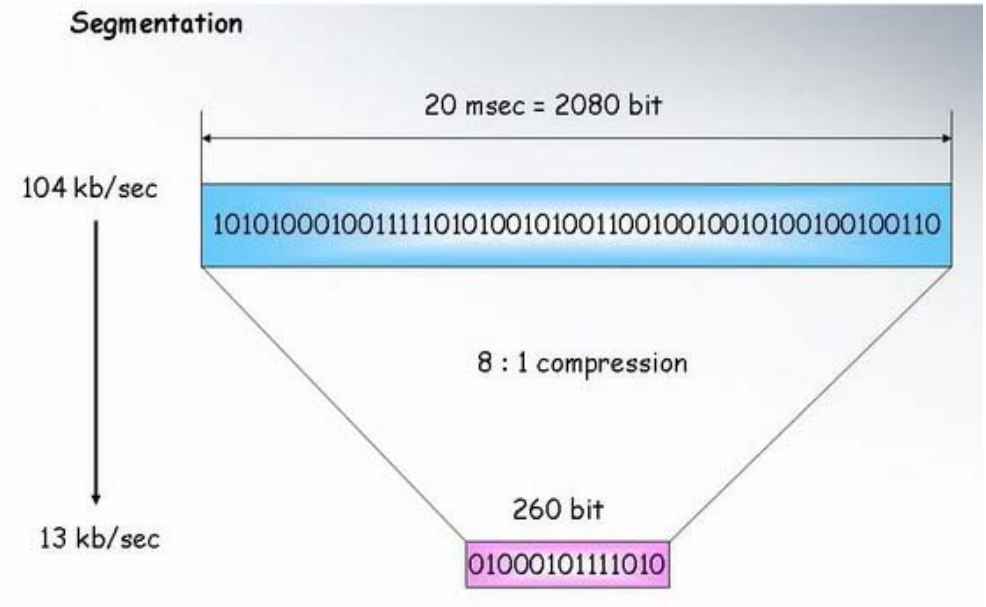
R_b (8 MS) = 104 kbits/s × 8 MS = 832 kbit/s

من المعلوم لنا أن عرض القناة الواحدة في نظام GSM هو 200 kHz لثمانية "MS" لذلك فإن هذا المعدل من المعلومات 832 kbit/s كبير جداً مقارنة بعرض القناة ولهذا السبب يجب تقليل معدل المعلومات بطريقة معينة.

٣- ٤- ٢ أخذ المقاطع وتشفير الكلام Segmentation and Speech Coding

- **أخذ المقاطع** Segmentation

إن المفتاح هنا في عملية التقليل من معدل المعلومات الرقمية في مرحلة التشفير هو بإرسال معلومات عن إشارة الكلام بدلاً من إرسال الإشارة نفسها. وذلك لأن الأحبال الصوتية لدى الإنسان غير قادرة على تغيير التردد الناتج منها بشكل سريع، فهي تغير التردد تقريباً كل 20 ms وبذلك يمكننا أن نقوم بأخذ مقاطع من الإشارة كل 20 ms وتشفيرها بمجموعة من bits و هذه العملية شبيهة جداً بعملية أخذ العينات ولكن بمعدل 50 sample/s بلاً من 8000 sample/s كما بالشكل (٣- ٣٠).



شكل (٣- ٣٠) يوضح أخذ المقاطع وتشفير الكلام

- **تشفير الكلام** Speech Coding

يتم تشفير الكلام في نظام GSM باستخدام 260 bits بدلاً من 13 bits المعمول بها في مرحلة A/D وذلك باستخدام أحدى مشفرات الكلام التي تعمل على تخفيض وضغط خانات الكلام. ينتج هنا معدل بيانات ثنائية:

$$R_b = 50 \text{ sample} \times 260 \text{ bit} = 13 \text{ kbits/s}$$

وهذا المعدل لمحطة واحدة أما بالنسبة لثمانية محطات على قناة واحدة فيكون المعدل:

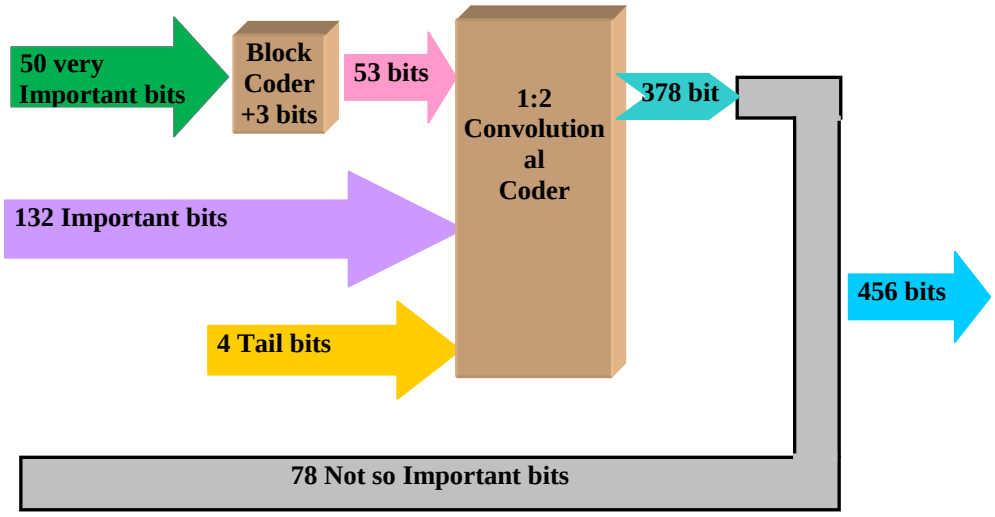
$$R_b = 13 \text{ kbits/s} \times 8 \text{ MS} = 104 \text{ kbits/s}$$

٣- ٤- ٣ تشفير القناة Channel Coding

يتم تشفير القناة "Channel Coding" لضمان الحماية والخصوصية و يوضح الشكل (٣- ٣١) خطوات تشفير القناة المتبعة في نظام GSM . حيث تدخل معلومات الكلام وهي مكونة من معلومات ثنائية عددها 260 bit تمثل عينة الكلام المشفر لفترة 20 ms إلى مشفر القناة حيث تقسم إلى ثلاثة أجزاء أو مجموعات:

١. المجموعة ١: 50 bit هامة جداً (50 Very Important Bits).
٢. المجموعة ٢: 132 bit هامة (132 Important Bits).
٣. المجموعة ٣: 78 bit أقل أهمية (78 Not So Important Bits).

تدخل المجموعة ١ "50 bit" إلى مشفر Block Coder حيث يضاف إليها 3bit للتكافؤ "Parity" (لجعل عدد "1s" فردي أو زوجي) تسمح بكشف الخطأ في الرسالة المستقبلة و ينتج من المشفر 53 bit. تدخل 53 bit مع المجموعة ٢ "132 bit" مع إضافة 4 bit كذيل "Tail" إلى المشفر اللفائفي " Convolutional Coding" لتتم عملية التشفير بمعدل 1/2 و بذلك يكون الناتج 378 bit تضاف مرة أخرى للمجموعة الثالثة المحتوية على 78 bit التي لم تشفر. وبذلك يكون الناتج النهائي 456 bit تمثل عينة كلام مدتها 20 ms.



شكل (٣- ٣١) يوضح خطوات تشفير القناة المتبعة في نظام GSM

وبذلك يصبح معدل إرسال المعلومات للمحطة المتنقلة "MS":

$$R_b = 456 \text{ bits} / 20 \text{ ms} = 22.8 \text{ kbits/s}$$

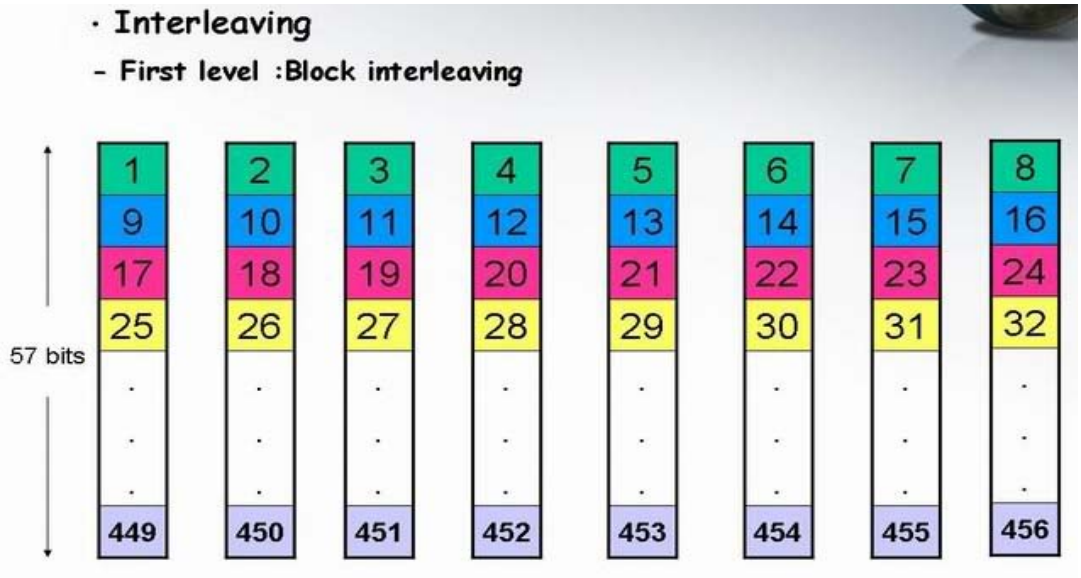
أما بالنسبة لثمانية محطات متنقلة "MSs" يكون:

$$R_b = 22.8 \text{ kbits/s} \times 8 \text{ MS} = 182.4 \text{ kbits/s}$$

٣- ٤- ٤ التحزيم التداخلي في نظام GSM

- **المستوى الأول من التحزيم التداخلي**

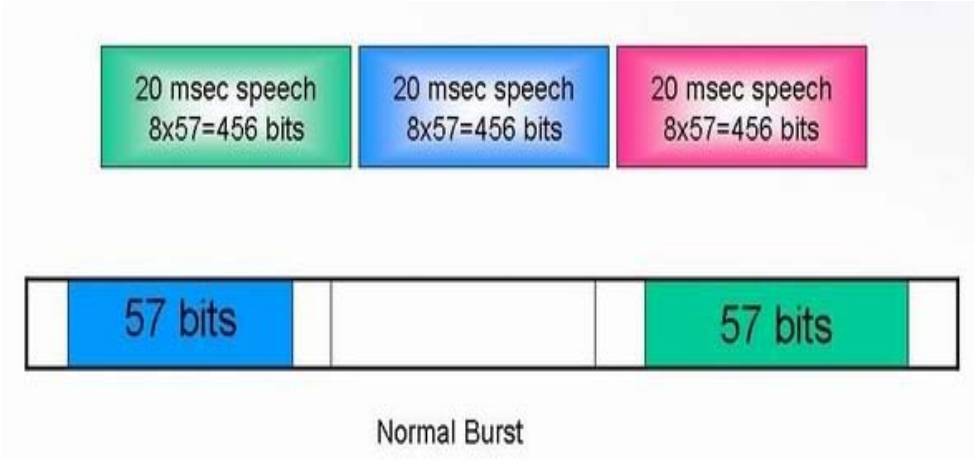
تتم عملية التحزيم التداخلي في نظام GSM لتوزيع الأخطاء والتي قد تحدث خلال عملية الإرسال. ويكون ذلك بتوزيع المعلومات الرقمية الناتجة عن عملية تشفير القناة قبل إرسالها بحيث يمكن إعادة ترتيبها في صورتها الأصلية بعد استقبالها . ففي جهة الإرسال تؤخذ عينة من الكلام المشفر بعرض 20 ms تحتوي على 456 bit من المعلومات الرقمية وتخزن في الذاكرة ثم تسجل في ثمان مجموعاتBlocks 8 كل منها 57 bit ثم ترسل عموديا حيث تكون كل مجموعة (عمود) شريحة زمنية واحدة من المعلومات الرقمية. الشكل (٣- ٣٢) يوضح توزيع المعلومات الرقمية إلى ثمانية مجموعات.



شكل (٣- ٣٢) يوضح المستوى الأول وهو توزيع المعلومات الرقمية إلى ثمانية مجموعات

- **المستوى الثاني من التحزيم التداخلي**

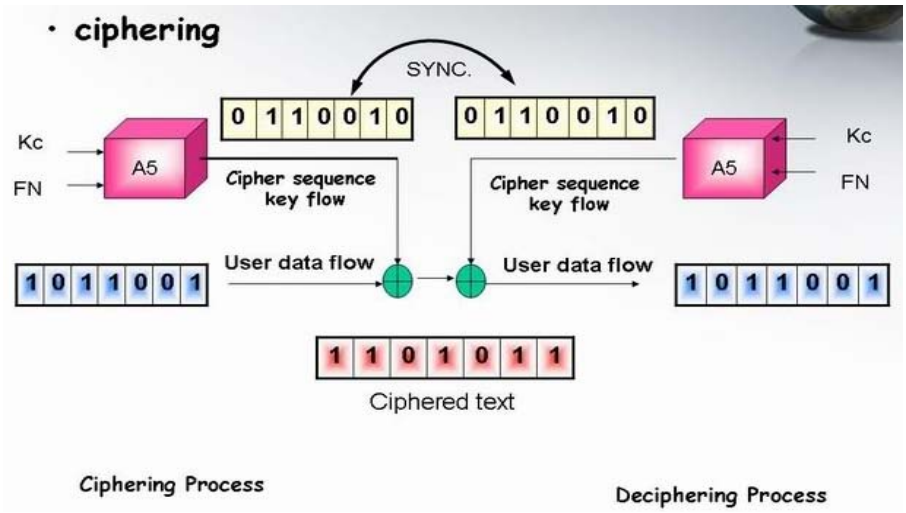
أما في المستوى الثاني ترسل كل شريحة مع شريحة أخرى من عينة كلام 20 ms سابقة في رشقة واحدة. فترسل الأربعة شرائح الأولى (1,2,3,4) من العينة الحالية على التوالي مع الأربعة شرائح الأخيرة (5,6,7,8) من العينة السابقة على التوالي في أربعة رشقات متتالية. فتحتوي الرشقة الواحدة على شريحة من عينة الكلام الحالية وشريحة أخرى من عينة الكلام السابقة. الشكل (٣- ٣٣) يوضح المستوى الثاني من التحزيم التداخلي.



شكل (٣- ٣٣) يوضح المستوى الثاني من التحزيم التداخلي

٣- ٤- ٥ تمويه الإشارة بالتشفير Ciphering / Encryption

يتم تمويه الإشارة بالتشفير "Encryption" في نظام GSM لغرض الحماية الأمنية وذلك بإجراء عملية جمع ثنائي "XOR" بين 114 bit وهو المقطع الذي يمثل المعلومات الرقمية في كل شريحة زمنية مع شفرة شبه عشوائية تشتق من رقم الإطار "Frame Number (FN)" ومفتاح التوثيق " k_c". وتكفل هذه الشفرة حماية جيدة ضد التنصت. وفي جهة الاستقبال تولد نفس الشفرة وتجمع ثنائياً مرة أخرى بالمعلومات الرقمية المشفرة لفك الشفرة واستنتاج 114 bit التي تمثل المعلومات الرقمية الأصلية. ولا تؤثر عملية التشفير أو التمويه في معدل إرسال المعلومات. شكل (٣- ٣٤) يوضح أسلوب التمويه.



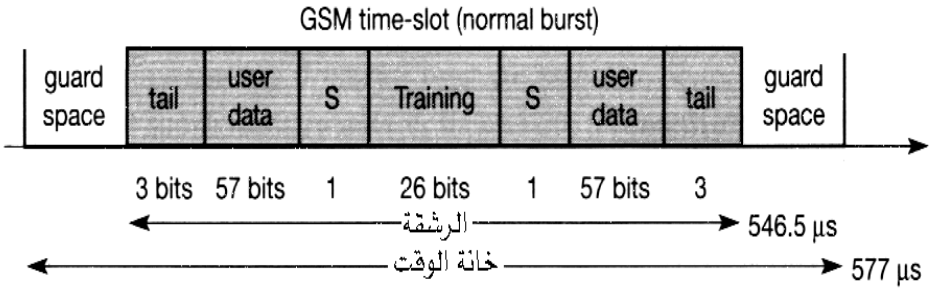
شكل (٣- ٣٤) يوضح مبدأ التمويه وفك التمويه Ciphering / Deciphering

٣- ٤- ٦ تهيئة الرشقة Burst Formatting

في نظام GSM تتكون الرشقة من 148 bit بعرض زمني مقداره 546.5µs انظر الشكل (٣-٣٥) و تتم تهيئتها بمعلومات الكلام كما يلي :

- في بداية الرشقة يوضع الذيل "Tail" ويتكون من 3 bit
- ثم الجزء الأول من معلومات المستخدم "User Data" تحتوي على 57 bit من عينة الكلام الحالية.
- يوضع بعد ذلك علم "Flag" (S) وهو 1 bit.
- ثم مجموعة تسلسل التدريب " Training Sequence" وعددها 26 bit.
- يوضع بعد ذلك علم "Flag" (S) وهو 1 bit.
- ثم الجزء الثاني من معلومات المستخدم "User Data" تحتوي على 57 bit من عينة الكلام السابقة.
- في نهاية الرشقة يوضع الذيل "Tail" و يتكون من 3bit
- تترك فترة زمنية للحماية "Space Guard" بمقدار 15.25µs قبل بداية الرشقة وبعد نهايتها.

و بذلك يكون هناك فراغ زمني بمقدار 30.5µs بين كل رشقتين متتاليتين وتكون كامل الفترة الزمنية لخانة الوقت "Time Slot" هي 577 µs.



شكل (٣- ٣٥) تهيئة الرشقة "Burst" في نظام GSM

٣- ٤- ٧ التعديل والإرسال في نظام GSM

بعد أخذ عينة الكلام وتحويلها إلى معلومات رقمية ثنائية وإجراء تشفير القناة عليها ثم إجراء التحزيم التداخلي وتهيئة الرشقة تدخل الرشقة إلى المعدل الرقمي "Digital Modulator" حيث تحول إلى إشارة تماثلية يمكن إرسالها لاسلكياً ونوع التعديل المستخدم في نظام GSM هو تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي " Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)".

و يحقق هذا النوع من التعديل قدرة منخفضة جدا في القناة المجاورة تقل إلى مستوى 60dB- مما يقلل من التداخل بين القنوات المتقاربة في التردد والمكان. كما وأنه ينقل المعلومات بمعدل إرسال قدره 270.8Kbit/s في نطاق ترددي "Bandwidth" يعادل 200KHz مما يعطي كفاءة طيفية قدرها 1.35bit/sec/Hz .وتخرج الإشارة التماثلية بعد ذلك إلى المزوج "Duplexer" الذي يفصل الإشارة المستقبلة من الإشارة المرسلة ثم إلى الهوائي لإرسالها.

و في جهة الاستقبال تجري العمليات بخطوات عكسية فبعد الاستقبال من الهوائي و المرور عبر وصلة الازدواج تتم عملية إزالة التعديل الرقمي وفك الشفرة وإزالة التحزيم التداخلي وتصحيح أخطاء الإرسال وإزالة التشفير اللفائفي ثم تحويل المعلومات الرقمية إلى إشارة تماثلية ثم إلى كلام مرة أخرى.

تدريبات على الوحدة الثالثة

١. عرف كلاً من :- التردد - الطول الموجي - النطاق الترددي - القناة الترددية
٢. ما العلاقة التي تربط بين التردد و طول الموجة؟
٣. ما هي سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ؟ وهل تتغير مع تغير التردد أو طول الموجة أو وسط الانتشار؟
٤. عرف أنواع التعديل الرقمي مع شرح كل نوع منها بالرسم
٥. اشرح بالرسم طريقة تعديل الإزاحة الدنيا MSK
٦. ما نوع التعديل الرقمي المستخدم في نظام GSM ؟
٧. ما هي أنواع التجميع Multiplexing المستخدمة في أنظمة الاتصالات المتنقلة الحديثة؟
٨. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم الترددي FDMA
٩. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم الزمني TDMA
١٠. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم المكاني SDMA
١١. اشرح بالرسم خطوات الإرسال والاستقبال اللاسلكي لمعلومات رقمية
١٢. ما هي العلاقة بين قدرة الإشارة اللاسلكية المستقبلة و المسافة؟
١٣. اشرح ظاهرة التظليل و أسبابها و تأثيرها على جودة الاتصال اللاسلكي
١٤. اشرح ظاهرة تعدد المسارات و أسبابها و تأثيرها على جودة الاتصال اللاسلكي
١٥. اشرح ظاهرة التشتت الزمني و أسبابها و كيفية التعامل معها
١٦. اذكر أسباب فقدان الإشارة اللاسلكية
١٧. اذكر الحلول المتبعة لمشاكل الإرسال
١٨. اشرح بالرسم طريقة تشفير القناة في نظام GSM
١٩. ما هو المقصود بتنوع الهوائيات و ما تأثيره على جودة الاتصال اللاسلكي
٢٠. تتغير سرعة انتشار الموجات اللاسلكية مع تغير:

أ- طول الموجة ب- التردد ج- وسط الانتشار

٢١.من مشاكل الإرسال في النظم الهاتفية المحمولة:

أ- سرعة الانتشار ب- التردد العالي ج- تعدد المسارات د- السعة الكبيرة

٢٢. ما هو التقويم المتكيف؟ وفيم يستخدم؟

٢٣. ما هو القفز الترددي؟ و فيم يستخدم؟

٢٤. اشرح بالرسم خطوات الإرسال و الاستقبال في نظام GSM

٢٥. كيف تتم عملية تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية في نظام GSM ؟

٢٦. كيف يتم إرسال مقاطع منفصلة في نظام GSM ؟

٢٧. اشرح بالرسم عملية التحزيم التداخلي في نظام GSM

٢٨. ما هو الغرض من تمويه الإشارة بالتشفير encryption وكيف تتم في نظام GSM ؟

٢٩. اشرح بالرسم عملية تهيئة الرشقة في نظام GSM

٣٠. اشرح عملية التعديل و الإرسال في نظام GSM