المحاضرة الأولى

الأمواج وانتشارها

١-١-الموجة اللاسلكية

يتم الاتصال اللاسلكي بإشعاع (إرسال) والتقاط الأمواج اللاسلكية (الكهرطيسية)

الموجة الكهرطيسية : عبارة عن مجال كهرطيسي منتشر من منبع الإشعاع ويتألف من مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي متعامدين مع بعضهما ويكون اتجاه انتشار الموجة الكهرطيسية عمودياً على اتجاه كل من المجالين .

وضع العالم الإنكليزي ماكسويل نظريات المجال المغناطيسي، ولكي نتعرف على هذا المجال لا بد لنا من أن نتعرف أولاً وباختصار على المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي .

١-١-١- المجال الكهربائي:

تشكل الشحنة الكهربائية في الفراغ المحيط بها مجالاً كهربائياً، يؤكد وجود المجال الكهربائي قوى كهربائية مؤثرة على شحنات كهربائية أخرى موجودة بجانب هذه الشحنة. يتميز المجال الكهربائي بشدة المجال.شدة المجال قيمة شعاعية يرمز لها بالحرف(E) تقاس في الجملة المكثية بالفولت/متر (v/m).

اصطلح أن يمثل المجال الكهربائي بخطوط قوى حول نقطة ما. الشعاع (E) في هذه النقطة يتجه بشكل مماس لهذه الخطوط في النقطة نفسها .

تتناسب الكثافة الحجمية لقدرة المجال لكهربائي (W_E) (أو بمعنى آخر القدرة في واحدة الحجم) طرداً مع شدة المجال الكهربائي:

$$W_E = \varepsilon_a \quad E^2 / 2 \qquad (١-١)$$

حيث(ε_a) عامل النفاذ الكهربائي للوسط الذي توجد فيه الشحنة الكهربائية.

لكل نقطة في المجال الكهربائي كمون ، وفرق الكمون بين نقطتين من المجال تبعدان عن بعضهما مسافة(L) يساوي جداء هذه المسافة في شدة شعاع المجال الكهربائي.

١-١-٢- المجال المغناطيسي :

من المعلوم أنه في الحيز المحاط بشحنات كهربائية متحركة، مثلاً: حول سلك يسري به تيار ينشأ مجال مغناطيسي.يؤكد وجود هذا المجال القوى المؤثرة على شحنات كهربائية متحركة أو سلك يمر به تيار. يتميز المجال المغناطيسي بشدة المجال أيضاً كما هو الحال في المجال الكهربائي. شدة المجال المغناطيسي أيضاً قيمة شعاعية، يرمز لهذه القيمة بالحرف (H). تقدر الشدة في الجملة المكثية بالأمبير/متر (A/m)، ولخطوط قوى المجال المغناطيسي المتشكلة حول سلك يسري به تيار شكل دوائر متوضعة في مستو عمودي على هذا السلك.

تتناسب الكثافة الحجمية لقدرة المجال المغناطيسي(W_H) أيضاً طرداً مع شدة المجال المغناطيسي :

$$W_H = \mu_a \cdot H^2 / 2 \qquad (١-٢)$$

حيث (μ_a) عامل النفاذ المغناطيسي المطلق للوسط المتشكل فيه المجال المغناطيسي.

١-١-٣- المجال الكهرطيسي:

بعد أن تعرفنا على خواص كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي، نتعرف الآن على ما يسمى بتيار الإزاحة، بيَّن ماكسويل أن تغير المجال الكهربائي بالنسبة للزمن يجب أن يبحث كتيار، سمي هذا التيار (تيار الإزاحة)

مثلاً إذا طبق على مكثف كمون متغير فإن هذا المكثف يشحن ويفرغ. نتيجة لذلك يتغير المجال الكهربائي بين لوحيه، وهنا ينشأ تيار الإزاحة، يجري تيار الناقلية في الأسلاك التي توصل المكثف مع منبع الكمون المتغير ويتحول هذا التيار في المكثف إلى تيار إزاحة .

وضع ماكسويل الموضوعات الأساسية لنظريات المجال الكهرطيسي في معادلات سميت بمعادلات ماكسويل ،ولكننا لن نتطرق لبحث ودراسة هذه النظريات وإنما سنتعرف على نتائجها فقط .

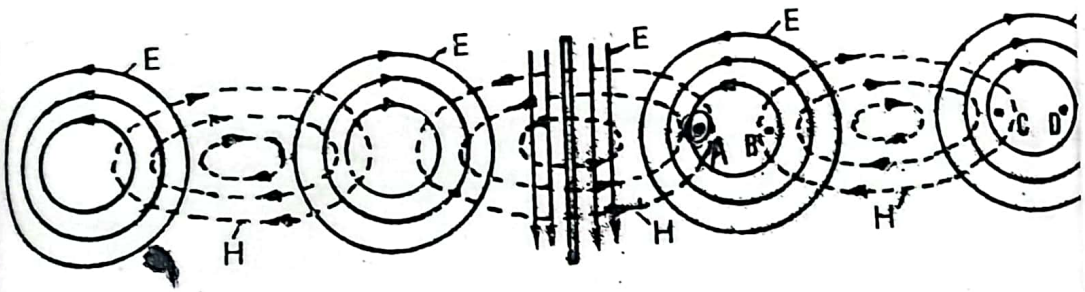
من المعادلة الأولى ينتج: إذا تغير مجال كهربائي بالنسبة للزمن في حيز ما من الفراغ يؤدي هذا التغير إلى ظهور مجال مغناطيسي متغير في هذا الحيز من الفراغ حول خطوط المجال الذي أدى إلى ظهوره. هذا يعني بأن تيار الإزاحة مثل تيار الناقلية يهيج (يولد) المجال المغناطيسي .

من المعادلة الثانية ينتج : تغير المجال المغناطيسي في حيز ما من الفراغ يؤدي إلى ظهور مجال كهربائي متغير في هذا الحيز له خطوط منحنية ومغلقة. يتميز هذا المجال عن المجال الكهربائي الساكن الذي خطوط قواه تتعلق بالشحنات وتكون غير مغلقة، بأنه مجال كهربائي متغير ناتج عن مجال مغناطيسي متغير ويتشكل بدون شحنات وتكون خطوط قواه مغلقة وتتقاطع مع خطوط المجال المغناطيسي .

وهكذا لا يمكن أن يوجد المجالان الكهربائي والمغناطيسي المتغيران منفصلين عن بعضهما ، أي إنهما يوجدان في آن واحد بشكل مجال كهرطيسي واحد، وشعاعاهما(E) و (H) يتعامدان مع بعضهما .ولا يحصر المجال الكهرطيسي في حيز ما من الفراغ ولكن يزاح في جميع الاتجاهات من النقطة التي ينشأ فيها أولاً.

لنفرض الآن أنه لدينا سلك يسري فيه تيار متغير، شكل (١-١) .

يتشكل حول هذا السلك مجال مغناطيسي متغير.يؤدي تغير المجال المغناطيسي في النقطة (A) مثلاً، إلى تشكل مجال كهربائي متغير في النقطة (A) نفسها وفي نقطة مجاورة (B) من الفراغ. يؤدي المجال الكهربائي المتغير في النقطة (B) إلى ظهور مجال مغناطيسي في النقطة (B) نفسها وفي نقطة مجاورة (C) وهكذا تحتل الإزاحة الكهرطيسية الناشئة عن تحرك شحنات كهربائية في سلك مكاناً أكبر من الفراغ كلما ابتعدت عن السلك. وعلى هذا الأساس يشكل الترابط الوثيق بين المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي القوة المحركة لعملية إشعاع وانتشار الأمواج الكهرطيسية (اللاسلكية).



الشكل (١-١) يوضح عملية إشعاع الأمواج اللاسلكية

إذا وضع سلك في مجال كهرطيسي، يسري في هذا السلك تيار متغير حسب قانون دوري. وتملك عملية انتشارالمجال الكهرطيسي صفة موجية (تموجية) لذلك يسمى المجال الكهرطيسي المنتشر بالموجة الكهرطيسية أو الموجة اللاسلكية.

١-١-٤ العلاقة بين سرعة الموجة اللاسلكية وترددها وطولها :

يكون عند انتشار الأمواج الكهرطيسية (اللاسلكية)، وضع صفحة المجال الكهرطيسي غير ثابت وإنما متغير، تسمى سرعة انتشار صفحة الموجة الكهرطيسية (اللاسلكية) بالسرعة الصفحية أو السرعة الزاوية للموجة ويرمز لها بالحرف(V_{ph}) تساوي السرعة الصفحية في الفراغ عدداً ثابتاً، هذا العدد الثابت هو عبارة عن سرعة انتشار الضوء في الفراغ (C).

$$V_{ph} = C = 3 \times 10^{8} \text{ m/Sec} \qquad (١-٣)$$

تسمى المسافة التي تنتشر بها صفحة الموجة في دور واحد (T) من تغير(E) أو (H) بطول الموجة ويرمز لها بالحرف اليوناني (λ) .

$$\lambda = V_{ph} \cdot T \qquad (١-٤)$$

ولكن الدور هو مقلوب التردد، أي إن :

$$T = 1 / f \qquad (١-٥)$$

حيث f - التردد

نعوض في العلاقة (١-٤) فنحصل على ما يلي :

$$\lambda = V_{ph}/f \qquad (١-٦)$$

بالمقارنة مع العلاقة (١-٣) نستطيع أن نكتب :

$$\boxed{\lambda \cdot f = C} \qquad (١-٧)$$

أي إن جداء طول الموجة الكهرطيسية (اللاسلكية) بترددها يساوي سرعة انتشار الضوء في الفراغ.

إذا قيست في هذه العلاقة (C) بالمتر/ثا، فإن /f/ تقاس بالهرتز و(λ) تقاس بالمتر.

١-١-٥ كثافة حزمة استطاعة الموجة اللاسلكية:

المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي الناشئان في الفراغ المحيط بسلك سري به تيار متغير عبارة عن حاملين-للقدرة (الطاقة). لا يمكن أن تنشأ هذه القدرة عن لا شيء وإنما نشأت نتيجة سريان التيار المتغير في السلك. من هذا ينتج بأن عملية إشعاع الأمواج اللاسلكية هي عبارة عن عملية تحويل قدرة التيار المتغير إلى قدرة أمواج كهرطيسية (لاسلكية). يسمى السلك المخصص لإشعاع الأمواج اللاسلكية بهوائي الإرسال. وتسمى الاستطاعة المعطاة من الهوائي إلى الفراغ المحيط بهذا الهوائي الإشعاع ويرمز لها بالحرف (P_{Σ}) .

كلما ابتعدت الأمواج اللاسلكية عن الهوائي تشغل حجماً من الفراغ أكبر فأكبر ومنه ينتج بأنه كلما ابتعدنا عن الهوائي تقل استطاعة حزمة الموجة (S) على واحد متر مربع من السطح الذي تخترقه الموجة اللاسلكية.إذا كان إشعاع الأمواج اللاسلكية في كل الاتجاهات متشابهاً (متساوياً)، فإنه من أجل تعيين قيمة كثافة حزمة استطاعة الموجة على مسافة (r) من المنبع، يجب أن نتصور بأن المشع محاط بكرة نصف قطرها (r)، وبعد ذلك نقسم الاستطاعة على مساحة سطح هذه الكرة الذي يساوي ($4\pi r^2$) على هذا الأساس وفي هذا المثال نكتب:

$$\boxed{S = P_{\Sigma} / 4\pi r^2} \qquad (١-٨)$$

حيث P_{Σ} : استطاعة الإشعاع، تقاس بالواط (w).

r : المسافة عن المشع، تقاس بالمتر (m).

من هنا ينتج أن كثافة حزمة الاستطاعة تقاس بالواط/متر مربع (W/m^2) وترتبط القيم (E) و(S) ببعضهما بالعلاقة التالية :

$$\boxed{S = E.H} \qquad (١-٩)$$

وتوجد أيضاً علاقة تربط بين (E) و (H) هي :

$$E = \rho \cdot H \qquad (١٠-١)$$

حيث (ρ) المعامل الذي يسمى المقاومة الموجية للوسط ويقاس بالأوم .

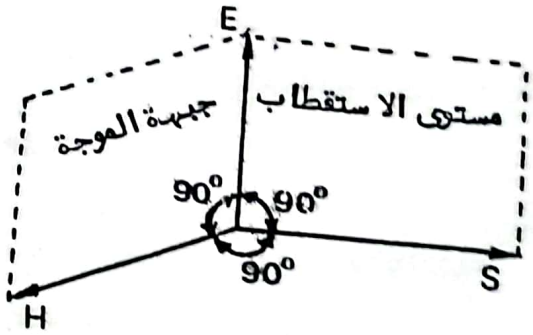
من أجل الفراغ $\rho = 120\,\pi \cong 376$

من العلاقتين (١-٩) و (١-١٠) نستطيع أن نكتب:

$$S = \rho H^2 = E^2 / \rho \qquad (١١-١)$$

إن كثافة حزمة الاستطاعة (S) أيضاً قيمة شعاعية مثل قيمة (E) و(H).

يبين ويوضح اتجاه الشعاع (S) انتشار الموجة اللاسلكية. وكذلك بالنسبة للشعاعين (E) و (H) ليسا فقط متعامدين مع بعضهما وإنما كل منهما متعامد مع الشعاع (S) ويتوضعان في مستو عمودي على اتجاه انتشار الموجة، الشكل (١-٢).



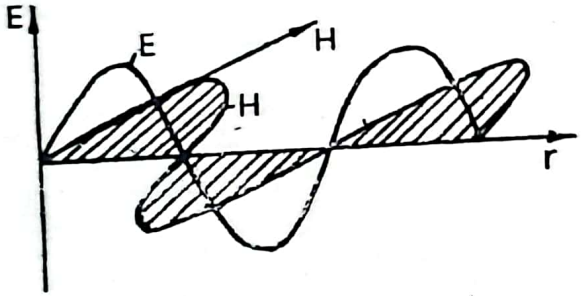
الشكل (١-٢) يوضح التمثيل الشعاعي للأمواج اللاسلكية .

١-١-٦ التمثيل البياني لتغير مجالي الموجة اللاسلكية (E) و (H) :

دل تحليل عملية الإشعاع على أنه في نقطة ما بعيدة البعد الكافي عن المشع (في المنطقة المسماة بالمنطقة الموجية)، يتفق المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي بالصفحة، تبقى الصفحة ثابتة أو بمعنى آخر يبقى المجال ثابت الصفحة. انطلاقاً من هذا يمكن إعطاء التعريف التالي لطول الموجة :

طول الموجة: هو المسافة بين أقرب نقطتين في الفراغ يكون للمجال فيهما الصفحة نفسها.

كما أن تحليل عملية الإشعاع دل على أن (E) و(H)لا يتغيران فقط مع الزمن وإنما يتغيران أيضاً بتغير المسافة. يوضح الشكل (١-٣) التمثيل البياني لتغير (E) و(H) حيث إن الخط البياني للمحصلة المغناطيسية للموجة اللاسلكية مرسوم في مستو عمودي على الشعاع (E) .



الشكل (١-٣) يوضح التوضع المتبادل للمجالين الكهربائي والمغناطيسي

١-١-٧ جبهة الموجة اللاسلكية:

جبهة الموجة اللاسلكية: هي السطح الذي يكون المجال في كل نقاطه ذا صفحات متساوية أو متشابهة. يعتبر المشع نقطياً إذا كانت مقاييس المشع أصغر من طول الموجة بكثير، وتكون جبهة الموجة في هذه الحالة غير مستوية أي تكون محجمة (مجسمة) وذلك لأن الأمواج تقطع مسافات متساوية

في الاتجاهات كافة خلال فترة زمنية واحدة وتكون نقاط المجال ذات الصفحات المتشابهة متوضعة على سطح المجسم على مسافة كبيرة من المشع، يمكن اعتبار منطقة صغيرة من جبهة الموجة مستوية، وفي هذا المستوى يتوضع الشعاعان (E) و(H)، شكل(١-٣) ويسمى الخط العمودي على جبهة الموجة في أية نقطة بالشعاع ــ يشير هذا الخط العمودي أو الشعاع إلى انتشار الموجة من النقطة المطلوبة وينطبق مع اتجاه الشعاع (S).

١-١-٨ استقطاب الموجة اللاسلكية:

الاستقطاب: هو توجيه شعاع المجال الكهربائي للموجة بالنسبة لاتجاه الانتشار ومستوى ما، هذا المستوي حسب القاعدة يؤخذ سطح الأرض.

يحدد الاستقطاب وضع الشعاع (E) في الفراغ . ويسمى المستوى المار خلال اتجاه الشعاع (E) وخلال اتجاه انتشار الموجة (S) بمستوى الاستقطاب.

يتغير اتجاه الشعاع (E) خلال دور تغير شدة المجال الكهربائي، إذا كانت نهاية الشعاع موضوعة على خط مستقيم، يسمى الاستقطاب في هذه الحالة استقطاباً خطياً. للاستقطاب الخطي حالات خاصة هي :

آ ــ الاستقطاب العمودي: هنا الشعاع (E) طوال الوقت متوضع على خط عمودي على سطح الأرض، أي إن الشعاع (E) عمودي على سطح الأرض.

ب ــ الاستقطاب الأفقي: هنا الشعاع (E) طوال الوقت متوضع على خط أفقي مواز لسطح الأرض، أي إن الشعاع (E) مواز لسطح الأرض.

تشع الأمواج ذات الاستقطاب العمودي بمشعات عمودية (موضوعة بشكل عمودي على سطح الأرض) وتشع الأمواج ذات الاستقطاب الأفقي بمشعات أفقية (موضوعة بشكل مواز لسطح الأرض).

في عدد من الحالات خلال عملية انتشار الأمواج اللاسلكية يدور الشعاع

(E) في المستوى العمودي على اتجاه الانتشار محافظاً على قيمته، نتيجة ذلك ترسم نهاية الشعاع (E) دائرة، ويسمى الاستقطاب في هذه الحالة استقطاباً دائرياً. أما إذا رسمت نهاية الشعاع (E) (قطع ناقص)، يسمى الاستقطاب في هذه الحالة (استقطاب قطع ناقص).

١-١-٩ تصنيف الأمواج اللاسلكية :

تصنف الأمواج اللاسلكية بطريقتين :

آ ــ من حيث المجال والتردد.

ب ــ من حيث طريقة الانتشار.

سنرى كل طريقة على حدة.

آ ــ تصنيف الأمواج اللاسلكية من حيث المجال والتردد: حسب تصنيف اللجنة العالمية للاتصالات اللاسلكية، يقسم جزء الأمواج الراديوية إلى تسعة مجالات من (4) حتى (12) يحدد كل مجال من الأسفل بالتردد $(0.3x10^N)_{HZ}$ ومن الأعلى بالتردد $(3x10^N)_{HZ}$ حيث (N) رقم المجال.

وتحمل هذه المجالات الأسماء المدونة في الجدول التالي :

رقم المجال N	طول الموجة λ(m)	اسم الموجة	مقدار التردد f(Hz)	تسمية الترددات
4	10^5 -10^4	أمواج ديكاكيلومترية	$3x10^3$-$3x10^4$	ترددات منخفضة جداً (فوق صوتية)
5	10^4 -10^3	أمواج كيلومترية	$3x10^4$-$3x10^5$	ترددات منخفضة
6	10^2 –10^2	أمواج هيكتومترية	$3x10^5$ –$3x10^6$	ترددات متوسطة
7	10^2 –10^1	أمواج ديكامترية	$3x10^6$ –$3x10^7$	ترددات عالية
8	10^1-10^{-1}	أمواج مترية	$3x10^7$ –$3x10^8$	ترددات عالية جداً
9	10^0 –10^{-1}	أمواج ديسيمترية	$3x10^8$ –$3x10^9$	ترددات عالية جداً
10	10^{-1} –10^{-2}	أمواج سنتيمترية	$3x10^9$–$3x10^{10}$	ترددات فوق العالية
11	10^{-2} –10^{-3}	أمواج ميلليمترية	$3x10^{10}$-$3x10^{11}$	ترددات حد ية
12	10^{-3} –10^{-4}	أمواج ديسيملليمترية	$3x10^{11}$-$3x10^{12}$	ترددات فوق حد ية

جدول تصنيف الأمواج الراديوية حسب المجال والتردد

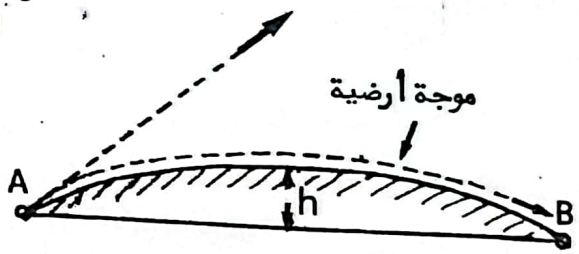
تستخدم حتى الوقت الحاضر التسميات القديمة للمجالات: أمواج زائدة الطول(V L W) وهذه الأمواج هي أمواج المجال الرابع أي التي طولها بين m (10^{4}- 10^{5}).

أمواج طويلة (**LW**) وهي أمواج المجال الخامس، أمواج متوسطة **(MW)** وهي أمواج المجال السادس، أمواج قصيرة (**S W**) وهي أمواج المجال السابع. أمواج قصيرة جداً **(V S W)** وهي أمواج المجالات الثامن والتاسع وأمواج فوق القصيرة جداً والأمواج الميكروية وهي أمواج المجالات العاشر والحادي عشر والثاني عشر .

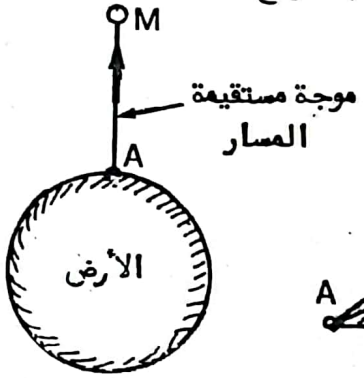
ب- تصنيف الأمواج اللاسلكية من حيث طريقة الانتشار: حسب طريقة الانتشار تصنف الأمواج اللاسلكية إلى ما يلي :

١ــ الأمواج مستقيمة المسار :

تسمى الأمواج اللاسلكية المنتشرة في وسط متجانس أو وسط قريب من التجانس بمسار مستقيم أو مشابه للمستقيم، بالأمواج مستقيمة المسار أو الأمواج حرة الانتشار . الشكل (١-٤)



الشكل (١-٥) يوضح انتشار الأمواج الأرضية



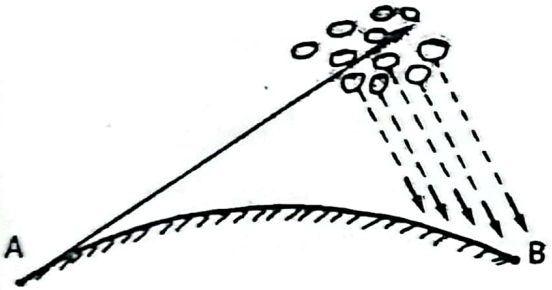
الشكل (١-٤) يوضح انتشار الأمواج مستقيمة المسار

٢ ــ الأمواج الأرضية:

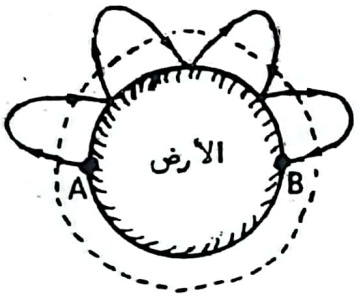
تسمى الأمواج التي تنتشر على مقربة من سطح الأرض والتي تتحنى بشكل جزئي فوق الأرض نتيجة الانعطاف بالأمواج الأرضية. شكل (١- ٥).

٣ ــ الأمواج الفضائية:

تسمى الأمواج التي تنتشر إلى مسافات بعيدة، تقريباً حتى ألف كيلومتر (1000 km) نتيجة التبعثر والتأثير الموجه للموجه التربوسفيري بالأمواج الفضائية.



الشكل (١-٦) يوضح انتشار الأمواج الفضائية التربوسفيرية



الشكل (١-٧) يوضح انتشار الأمواج السماوية (الأيونوسفيرية)

المبينة في الشكل(١-٦). تكون الأمواج التربوسفيرية عادةً أقصر من (10) أمتار.

٤ ــ الأمواج السماوية (الأيونوسفيرية):

تسمى الأمواج التي تنتشر إلى مسافات بعيدة وإلى الوجه الثاني من سطح الكرة الأرضية نتيجة الانعكاس الواحد أو الانعكاسات المتعددة على الأيونوسفير(في مجال الأمواج الأطول من (10 أمتار)، وأيضاً الأمواج

المتبعثرة على الأيونوسفير والمنعكسة على آثار النيازك (في مجال الأمواج المترية) بالأمواج السماوية (الأيونوسفيرية) المبينة بالشكل (١-٧).

سنستخدم في الفصول القادمة تسمية الأمواج الراديوية بدلاً من الأمواج اللاسلكية أو الأمواج الكهرطيسية، ونستخدم أيضاً تسمية الأمواج التربوسفيرية بدلاً من الأمواج الفضائية وتسمية الأمواج الأيونوسفيرية بدلاً من الأمواج السماوية .

١-٢- طبقات الجو وتغيرها حسب الظروف الطبيعية :

يسمى الغلاف الهوائي الذي يحيط بالأرض بطبقات الجو (الأتموسفير). دلت الدراسات على أن سماكة هذا الغلاف تصل أحياناً حتى ألف كيلومتر (1000Km) ودلت أيضاً على أن هذا الغلاف يتكون بشكل أساسي من قسمين هما :

آ ــ التربوسفير .

ب ــ الأيونوسفير.

نظراً لما للأتموسفير من تأثير كبير على انتشار الأمواج الراديوية، فمن الضروري التعرف على قسميه الأساسيين ودراسة تغيراتهما والعوامل المؤثرة فيهما .

١-٢-١ منطقة التربوسفير :

التربوسفير هو الجزء الأسفل من الأتموسفير، يتراوح ارتفاع هذا الجزء من (8-12) كيلو متر في القطبين، ومن (10-12) كيلو متر في المناطق المعتدلة ومن (16-18) كيلو متر في المناطق الإستوائية.

للغازات على امتداد ارتفاع التربوسفير تركيب الغازات نفسه عند سطح الأرض ،ولكنه يتميز بوجود ذرات بخار الماء. ويتعلق وضع ذرات بخار

الماء إلى حد كبير بالظروف والعوامل الجوية، حيث يقل بشكل كبير كلما ارتفعنا عن سطح الأرض.

الخاصة الأساسية للتربوسفير هي انخفاض درجة الحرارة بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض، حيث تقل بمقدار (٦) درجات كلما ارتفعنا كيلو متراً واحداً عن سطح الأرض. يكون الحد الأعلى للتربوسفير عند النقطة التي يتوقف فيها انخفاض درجة الحرارة. وسبب الانخفاض في درجة الحرارة في منطقة التربوسفير كلما ارتفعنا عن سطح الأرض هو أن التربوسفير شفاف بالنسبة للأشعة الشمسية. لذلك فإن هذه الأشعة تخترقه حتى تصل إلى سطح الأرض وتسخنه بدون أن تسخن التربوسفير. يصبح سطح الأرض بمثابة مولد للحرارة بالنسبة للتربوسفير حيث يسخنه ابتداءً من الأسفل وباتجاه الأعلى، كذلك تلعب تيارات الحمل الهوائية دوراً كبيراً في عملية تسخين التربوسفير هذه، حيث ترتفع التيارات الملاصقة لسطح الأرض والساخنة إلى الأعلى وتحل محلها تيارات باردة. وهكذا يسخن التربوسفير من الأسفل إلى الأعلى. وعلى الرغم من سماكة التربوسفير القليلة يوجد فيه ($\frac{4}{5}$) وزن الهواء المحيط بالكرة الأرضية.

ينتج بخار الماء الموجود في التربوسفير عن التبخر على سطح المحيطات والبحار والمنشآت المائية ، لذلك يكون التربوسفير رطباً فوق البحار والمحيطات أكثر منه فوق اليابسة والصحارى.

للتربوسفير معاملات أساسية هي :

مدخل إلى الاتصالات الخليوية و الـ GSM

منذ تطوير النظام NMT450 في عام 1981 تمّ الاستمرار في تطوير الأنظمة المعيارية للاتصالات الخليوية لتفي بالاحتياجات لبلد ما أو مجموعة ما ، الجدول التالي يبين الأنظمة المعيارية و الأسواق التي تستخدم بها .

Year	Standard	Mobile Telephone System	Technology	Primary Markets
1981	NMT 450	Nordic Mobile Telephony	Analogue	Europe, Middle East
1983	AMPS	Advanced Mobile Phone System	Analogue	North and South America
1985	TACS	Total Access Communication System	Analogue	Europe and China
1986	NMT 900	Nordic Mobile Telephony	Analogue	Europe, Middle East
1991	GSM	Global System for Mobile communication	Digital	World-wide
1991	D-AMPS	Digital-AMPS	Digital	North and South America
1992	GSM 1800	Global System for Mobile communication	Digital	Europe
1994	PDC	Personal Digital Cellular	Digital	Japan
1995	PCS 1900	Personal Communication Services	Digital	North America

Ericsson In Mobile :

إن شركة أريكسون هي إحدى الشركات الرائدة في العالم و قد بدأت بتصميم الأنظمة الخليوية منذ عام 1970 و لديها الآن 40% من سوق الأنظمة الخليوية في العالم .

الجدول التالي يبين الأنظمة المعيارية و ما يقابلها من منتجات أريكسون :

Mobile Standard	Ericsson Product
NMT 450	CMS 45
AMPS	CMS 8800
TACS	CMS 8810
NMT 900	CMS 89
GSM	CME 20
D-AMPS	CMS 8800-D
GSM 1800	CME 20
PDC	CMS 30
PCS 1900 (using GSM)	CMS 40
PCS 1900 (using DAMPS)	CMS 8

Table 1-3 Ericsson's cellular systems

الأجزاء المؤلفة للشبكة GSM :

إن الشبكة GSM مؤلفة من نظامين رئيسيين كل منها مؤلف من عدد من الوحدات الوظيفية وهذين النظامين هما :

- Switching System (SS)
- Base Station System (BSS)

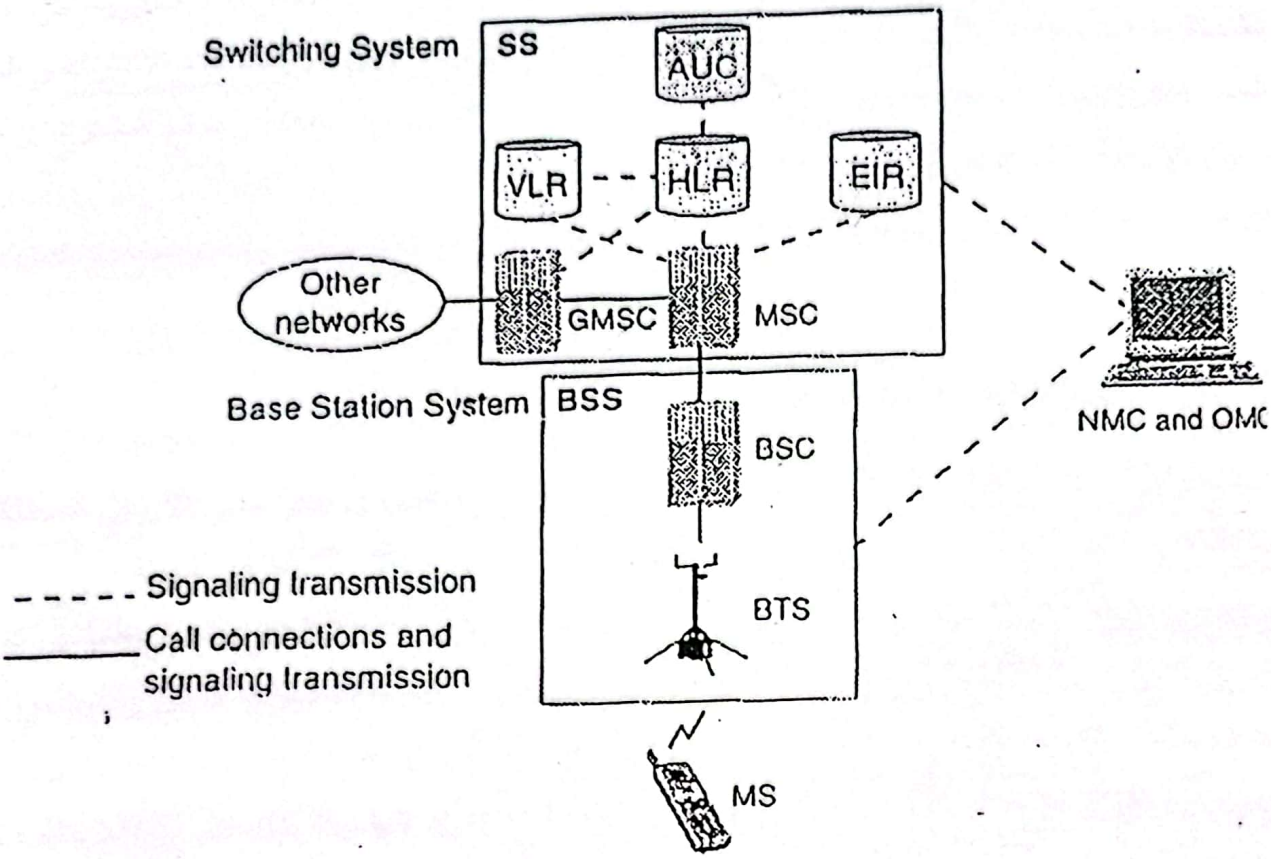


Figure 1-3 System model

و لنبدأ بالتعريف بكل نظام :

- *Switching System (SS)*

MSC : Mobile Services Switching Center

و هو الذي ينجز وظائف التوصيل الهاتفية في الشبكة الخليوية (بمعنى آخر هو المقسم) ، وأنه يتحكم بالمكالمات من وإلى الأنظمة الهاتفية الأخرى كالشبكة PSTN، ISDN ، شبكات المعطيات العامة و الشبكات الخاصة و الشبكات الخليوية الأخرى .

يمكن أن يزود المقسم MSC بوظيفة بوابة عبور (GATE WAY) تسمح له بأخذ معلومات من HLR وذلك لتوجيه المكالمة إلى المشترك الخليوي (MS) وفي هذه الحالة تدعى GMSC مثلاً : مشترك من الشبكة PSTN يرغب بإجراء مكالمة إلى مشترك خلوي عندها فإن المقسم في الشبكة PSTN سوف يصل إلى

الشـبكة الخليوية وذلك بوصل المكالمة أولاً إلى GMSC ، وهذا أيضاً ينطبق على المكالمة من الـ MS إلى آخر وإن أي MSC يمكن أن يعمل كـ GMSC بإضافة SOFT WERE (برامج) إضافي .

HLR : Home Location Register

وهـي قـاعدة معطيـات الشبكة المركزية و التي تخزن وتقوم بإدارة كل الاشتراكات الخليوية التي تنتمي إلى مشـغل محـدد . لذلـك فهي تعمل كمخزن دائم لمعلومات الاشتراك حتى يتم إلغاء ذلك الاشتراك و المعلومات المخـزنة تتضمن : معلومات عن هوية أو تعريف المشترك _ المزايا والخدمات _ موقع المشترك _ معلومات تدقيق الوثوقية والشرعية .

إن الـ HLR يمكن أن يتحقق بنفس المقسم MSC أو كقاعدة معطيات مستقلة وإذا تمّ استخدام كامل سعة الـ HLR فيمكن إضافة HLR أخرى .

VLR : Visitor Location Register

إن قـاعدة المعطيـات VLR تحـتوي معـلومات حول مشتركي الخليوي المتواجدين الآن في المنطقة MSC Service Area (منطقة خدمة MSC) ، لذلك هناك VLR واحدة لكل MSC في الشبكة .

إن الـ VLR تخـزن وبشكل مؤقت معلومات الاشتراك ولذلك فإن الـ MSC تستطيع خدمة كل المشتركين المـتواجدين فـي منطقتها " الزائرين " ، يمكن اعتبار الـ VLR كقاعدة المعطيات HLR ولكنها موزعة حيث أنها تحتفظ بنسخة من معلومات الـ HLR المخزنة و الخاصة بمشترك ما .

عـندما يتجول المشترك داخل منطقة MSC أخرى فإن الـ VLR المتصلة بتلك الـ MSC تطلب معلومات عـن المشـترك من الـ HLR وعندها فإن الـ HLR ترسل نسخة من تلك المعلومات إلى الـ VLR وتقوم بـتحديث معلومات موقع المشترك الجديد. وعندها عندما يرغب المشترك بإجراء مكالمة فإن الـ VLR سوف يكون لديها كل المعلومات المطلوبة لإعداد وإنشاء المكالمة .

AUC : Authentication Center

الغاية الأساسية للـ AUC هي لتوثيق والتأكد من شرعية المشترك الذي يحاول استخدام الشبكة .

إن الـ AUC هي عبارة عن قاعدة معطيات موصولة إلى الـ HLR وتقدم لها بارمترات (محددات) التوثيق ومفاتيح التشفير المستخدمة لضمان السرية على الشبكة.

EIR : Equipment Identity Register

وهـي قـاعدة معطيـات تحتوي معلومات عن هوية وتعريف هاتف المشترك والتي تسمح بمنع المكالمات من الهواتف المسروقة ، غير الشرعية ، المعطوبة.

- *Base Station System*

Bsc: Base Station Controller

إن الـ BSC تقوم بإدارة كل الوظائف الراديوية لشبكة الـ GSM . وهو يقدم وظائف كتخصيص قناة رادوية تـبديل الأقنية للمشترك وهو يتحرك بين الخلايا (Ms HandOver) ، إن الـ MSC يمكن أن تتحكم بعدد من الـ BSC.

BTS : Base Transceiver Station

إن الـ BTS تتحكم بالملائم الراديوي (Radio Interface) إلى المشترك MS ، حيث تتألف الـ BTS من الـتجهيزات الـرادوية كالمرسلات والمستقبلات والهوائيات اللازمة لخدمة كل خلية في الشبكة ، إن الـ BSC يمكن أن تتحكم بعدد من الـ BTS.

OMC: Operation & Maintenance Center

إن الـ OMC هو مركز مراقبة مركزي والذي يتم وصله إلى الـ MSC و الـ BSC عن طريق وصلات X.25 .

إن كـادر العمل في الـ OMC لديه معلومات مستمرة عن حالة الشبكة و يمكن له مراقبة كل المقاسم ، يمكن أن يوجد OMC واحد أو أكثر ضمن الشبكة وذلك اعتمادا على حجم الشبكة .

NMC : Network Management Center

الـتحكم المركـزي بالشـبكة يتم عن طريق الـ NMC . ويكون هناك NMC واحد للشبكة والذي يتحكم بكل مراكز التشغيل OMC.

MS: Mobile Station

وهو تجهيزة أو هاتف المشترك المستخدم للإتصال مع الشبكة، إن مجال التغطية للـ MS يعتمد على استطاعة الخرج للـ MS.

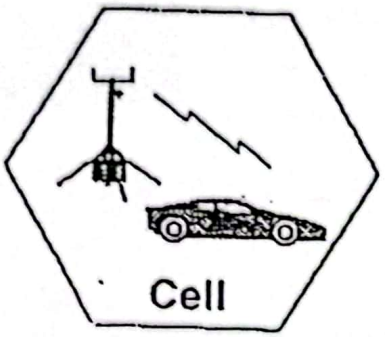
يـتألف الـ MS مـن : جهاز هاتف المشترك ، بطاقة تعريف المشترك SIM ، وإن كل معلومات المشترك تخزن في البطاقة SIM لذلك يمكن نقلها من جهاز لآخر.

البنية الجغرافية للشبكة GSM:

إن كـل شبكة هاتفية تحتاج بنية محددة لتوجيه المكالمات الواردة إلى المقسم المطلوب ومنه إلى المشترك ، وفي الشبكة الخليوية فإن هذه البنية هامة جداً وذلك لأن المشترك متحرك.

الخلية (CELL) :

وهـي الوحـدة الأساسية في النظام الخليوي وتعرف بأنها منطقة التغطية الراديوية المعطاة من قبل هوائي BS واحد ، حيث لكل خلية رقم تعريف عام يدعى (CGI (Cell Global Identity .



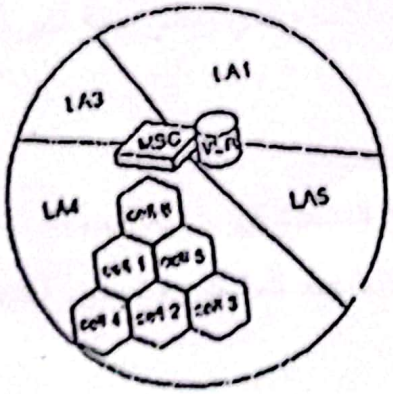
منطقة التوضع LA (Location Area) :

وتعرف إنها مجموعة من الخلايا ، حيث يتم التعرف على مكان توضع المشترك في الشبكةعن طريق الـ LA المتواجد فيها، وأن هوية وتعريف الـ LA التي يتواجد فيها الـ MS تخزن في المسجل VLR.

عـندما يعـبر الـ MS الحدود من خلية تنتمي إلى LA1 إلى خلية أخرى تنتمي LA2 فيجب عليه إرسال معـلومات عـن الموقـع الذي فيه إلى الشبكة (وهذا يحدث عندما يكون المشترك MS في حالة الـ IDEL " شاغر") أما عندما يكون الـ MS في حالة المكالمة فإن موقعه لن يتم تحديثه حتى لو تمّ تغيير الـ LA).

وعـندما يقطـع المشترك MS حدود خلية إلى أخرى ضمن نفس الـLA فإنه لا حاجة لتحديث الموقع وعندما يكون هنالك مكالمة موجهة إلى الـMS يتم إصدار رسالة نداء داخل كل الخلايا المنتمية إلى الـ LA .

منطقة خدمة MSC (MSC Service Area) :

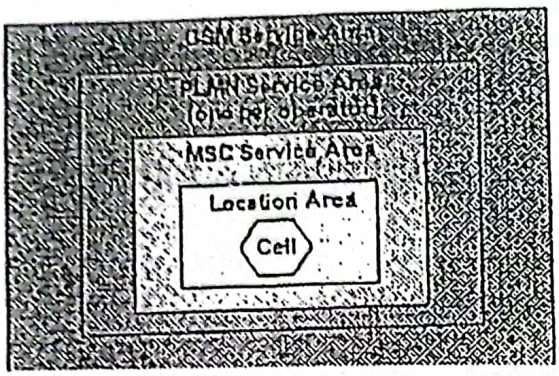


وهذه المنطقة مؤلفة من عدد من الـ LA وتمثل المنطقة الجغرافية من الشبكة و التي يتحكم بها MSC واحد.

وليكون هناك القدرة على توجيه مكالمة إلى الـ MS فإن المنطقة MSC يجب تسجيلها ومراقبتها ويتم ذلك في المسجل HLR .

منطقة خدمة الـ PLMN (Puplic Land Mobile Network) :

إن منطقة الشبكة الخليوية هي المجموع الكلي للخلايا المخدمة من قبل مشغل شبكة واحد وتعرف بأنها المنطقة الـذي يقدم بها المشغل التغطية الراديوية و الوصول إلى شبكته.



فـي أي دولـة يمكن أن يكون هناك أكثر من منطقة خدمـة PLMN حيـث يكـون هناك منطقة خدمة PLMN واحدة لكل مشغل .

منطقة الـ GSM Service Area :

إن الـ GSM هـي المنطقة الجغرافية الكاملة والتي يستطيع فيها المشترك الوصول إلى الشبكة GSM وهذه المنطقة تكبر وتزداد بزيادة العقود التي يقوم المشغلين بتوقيعها مع بعضهم البعض .

إن مفهـوم الـتجوال الدولي (International Roaming) يكون بتجوال المشترك MS من منطقة PLMN إلى أخرى.

GSM Frequency Bands :

يعمل الـ GSM بثلاث مجالات ترددية هي 1900 , 1800 , 900 .

- *GSM 900 :*

إن الـتردد الأصـلي المحدد للـ GSM كان 900 MHZ ، حيث أن معظم شبكات الـ GSM تستخدم هذا المجال ، بعض البلدان تستخدم نسخة أو إصدار موسع من GSM 900 والذي يعطي سعة أكبر للشبكة ، هذا الإصدار يسمى E-GSM .

- *GSM 1800 :*

فـي عام 1990 وبغرض زيادة المنافسة بين المشغلين طلبت المملكة المتحدة البريطانية البدء بإصدار جديد للـ GSM يعمل بالمجال 1800 MHZ وبذلك أصبح هناك إمكانية لزيادة عدد المشغلين وتحسين الخدمات المقدمة للمشتركين .

- *GSM 1900 :*

فـــي عـــام 1995 تم إدخال المفهوم (Personal Communication Services) PCS في الولايات المتحدة والـــتي تستخدم المجال الترددي 1900 MHZ وإن الفرق الأساسي بين الـــ GSM 1900 المستخدم في أمريكا و الـــ GSM 900 هو أن الـــ GSM 1900 تدعم أنظمة الإشارة / ANSI / .

Key Terms :

خلال تطوير الأنظمة الخليوية تمّ استخدام عدة مصطلحات تصف حالات وأوضاع المكالمة التي تخص تجهيزة المشترك MS والتي لها الحالات التالية :

- IDEL " شاغر " : حيث أن الـــ MS في حالة العمل ولكن بدون مكالمة.
- ACTIVE " فعال " : حيث أن الـــ MS في حالة العمل (ON) والمكالمة جارية.
- DETACHED " مفصول " حيث أن الـــ MS في حالة اللاعمل (OFF) .
- فيما يلي توضيح المفاهيم و المصطلحات التي تصف حالات الحركة للـــ GSM .

☐ *في الحالة IDEL لدينا الحالات التالية :*

1. Registration " التسجيل " : وهي العملية التي يقوم فيها الـــ MS بإبلاغ الشبكة بأنه في حالة العمل (ON) .
2. Roaming " التجوال " : وهي عندما يتحرك الـــ MS عبر الشبكة وهو في حالةIDEL "شاغر".
3. International Roaming " التجوال الدولي " وهي عندما يتحرك الـــ MS داخل شبكة ليست هي شبكته الأم حيث أن الـــ MS يستطيع الحركة فقط ضمن الشبكات التي هناك اتفاق للتجوال داخلها .
4. Location Updating " تحديـــث الموقـــع " وهـــي عندما يتحرك الـــ MS عبر الشبكة يجب عليه إعلام الشبكة عندما يدخل إلى منطقة توضع (LA) جديدة.
5. PAGING " الـــنداء " : وهـــي العمـــلية الـــتي تحاول فيها الشبكة الاتصال مع MS معين وهذا يتم بإرسال رسالة نداء تتضمن هوية وتعريف ذلك المشترك (MS) .

☐ *في الحالة ACTIVE لدينا ما يلي :*

- Handover : وهـــي العملية التي يمرر فيها التحكم بالمكالمة من خلية إلى أخرى بينما يكون المشترك MS في حالة الحركة بين الخلايا.

MS Registration And Roaming : عـــندما يقوم المشترك MS بإطفاء جهازه يتم فصله عن الشبكة وعـــندما يقـــوم المشـــترك بتشغيل جهازه يقوم MS بعملية مسح ترددات الـــ GSM بحثاً عن أقنية خاصة تدعى أقنية التحكم وعندما يجد قناة تحكم فإن الـــ MS يقيس قوة الإشارة التي استقبلها على تلك القناة ويقوم بتسجيلها وعندما يقيس الـــ MS كل أقنية التحكم فإنه يقوم بالتوليف على الإشارة الأقوى ، وبعد هذه العملية فوراً فإن الـــ MS يجب أن يسجل نفسه بالشبكة التي تقوم عندها بتحديث حالة المشترك MS إلى IDLE " شـــاغر " وإذا كان موقع المشترك مختلف عن الموقع المخزن الخاص به عندها تتم عملية تحديث الموقع "

Location Update • ، وعـندما يتحرك المشترك MS عبر الشبكة فهو يستمر بعملية مسح أقنية التحكم ليضمن بأنه يستخدم الأقوى فإذا وجد إحدى الأقنية والتي تكون أقوى من التي يستخدمها فعندها يقوم بإعادة الـتوليف عـلى القناة الجديدة فإذا كانت القناة الجديدة تنتمي إلى LA جديدة فإن المشترك MS سوف يقوم بإعلام الشبكة بذلك • بموقعه الجديد •

المفاهيم اللاسلكية Wireless Concepts

Frequency Concepts:

الجدول التالي يلخص المحددات المتعلقة بالتردد وذلك لكل نظام GSM وسوف يتم وصف كل بند في هذا الجدول:

System	P-GSM 900	E-GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Frequencies:				
• Uplink	890-915 MHz	880-915 MHz	1710-1785 MHz	1850-1910 MHz
• Downlink	935-960 MHz	925-960 MHz	1805-1880 MHz	1930-1990 MHz
Wavelength	~ 33 cm	~ 33 cm	~ 17 cm	~ 16 cm
Bandwidth	25 MHz	35 MHz	75 MHz	60 MHz
Duplex Distance	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Carrier Separation	200 kHz	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Radio Channels[1]	125	175	375	300
Transmission Rate	270 kbits/s	270 kbits/s	270 kbits/s	270 kbits/s

Table 3-1 Frequency-related specifications

التردد Frequency :

يتصل المشترك MS مع المحطة الأساسية BTS عن طريق إرسال واستقبال الأمواج الراديوية و التي تتألف من طاقة كهرومغناطيسية ، إن تردد الموجة الراديوية هو العدد الذي تهتز فيه الموجة في الثانية ويقاس بالهرتز HZ حيث /١/ هرتز يشير إلى هزة واحدة بالثانية ، إن الترددات الراديوية تستخدم في عدة تطبيقات في العالم اليوم ، بعض الاستخدامات الشائعة هي :

Television	تقريباً 300 Mhz
Fm Radio	تقريباً 100 Mhz
Police Radios	Country Dependent
Mobile Networks	300 - 2000 Mhz

طول الموجة Wave Length :

هناك عدة نماذج من الأمواج الكهرومغناطيسية هذه الأمواج يمكن تمثيلها بالموجة الجيبية و التي من خصائصها طول الموجة λ والذي يعرف بأنه طول اهتزاز كامل ويقاس بالمتر (M) إن التردد وطول الموجة لهما علاقة بسرعة الانتشار والتي هي بالنسبة للأمواج الراديوية سرعة الضوء ($3*10^8$ M/S) .
إن طول الموجة لتردد ما يمكن أن يحدد عن طريق الصيغة التالية :

Wave Length = Speed/ Frequency

ولذلك من أجل GSM 900 تكون طول الموجة

Wave Length = $3*10^8$ M/S / 900 Mhz

Wave Length= 300.000.000 MS / 900.000.000 =3/9=0.33m

من الصيغة أعلاه يمكن أن نجد بأن التردد العالي يقابله طول موجة أقصر " تناسب عكسي " وكذلك الترددات الدنيا يقابلها أطوال موجة أكبر . أن أطوال الموجة الطويلة تناسب الإرسال على مسافات كبيرة لأنها ترتد و تنعكس على سطح الأرض وفي الغلاف الجوي ، من هذه التطبيقات التلفزيون و الراديو(FM) التي تستخدم ترددات منخفضة إن الترددات العالية بأطوال موجة أقصر تناسب الإرسال على مسافات صغيرة لأنها أكثر حساسية للمشاكل كالعوائق و العقبات في طريق الإرسال لذلك فالترددات العالية مناسبة لمناطق صغيرة من التغطية حيث يكون المستقبل قريب نسبياً من المرسل.
إن الترددات المرسلة من قبل الأنظمة الخلوية تشكل حلاً وسطاً بين مزايا التغطية الكبيرة المقدمة عن طريق الترددات المنخفضة ومزايا قرب المستقبل المقدمة عن طريق استخدام الترددات العالية.

عرض الحزمة Band Width :

وهو المفهوم المستخدم لوصف كمية المجال الترددي المخصصة لتطبيق واحد حيث أن عرض الحزمة المعطى لتطبيق ما يعتمد على مقدار الطيف الترددي المتاح ، وإن مقدار عرض الحزمة المتاح هو أحد العوامل الهامة في تحديد سعة النظام الخلوي أو بمعنى آخر عدد الخلايا التي يمكن معالجتها.

الأقنية Channels :

القناة تعتبر أيضاً أحد العوامل الهامة في تحديد سعة النظام الخليوي و تعرف القناة بأنها التردد أو مجموعة الترددات المخصصة من أجل الإرسال ، إن أقنية الاتصال تكون عادة إحدى الأنواع التالية :

Type	Description	Examples
Simplex	One way only	FM radio, television
Half duplex	Two way, only one at a time	Police radio
Full duplex	Two way, both at the same time	Mobile systems

إن القناة المفردة (Simplex) " كمحطة الراديو الموسيقية FM " تستخدم تردد واحد في اتجاه واحد فقط ، أما القناة المزدوجة كتلك المستخدمة خلال مكالمة الخلوي فهي تستخدم ترددين : تردد إلى جهاز المشترك MS وتردد من جهاز المشترك MS حيث أن الاتجاه من الـMS إلى الشبكة يدعى بـ Uplink " الوصلة الصاعدة " أما الاتجاه من الشبكة إلى الـMS يدعى بـ Downlink " الوصلة النازلة " و الشكل التالي يوضح ذلك :

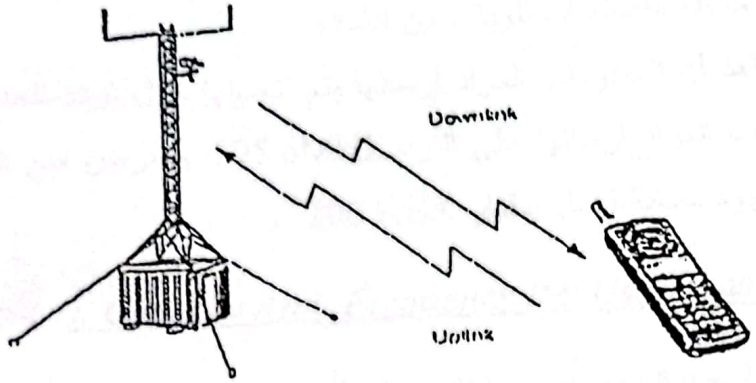


Figure 3-3 Uplink and downlink on a radio channel

: Duplex Distanc

إن استخدام (Full Duplex) الازدواج الكامل " أي استخدام ترددين كل منهما في اتجاه و بنفس الوقت " يتطلب فصل ترددات Down Link & Uplink بحد أدنى من المسافة و هذا ما يدعى بـ Duplex Distance الذي بدونه سوف تتداخل ترددات Downlink & Uplink مع بعضها البعض.

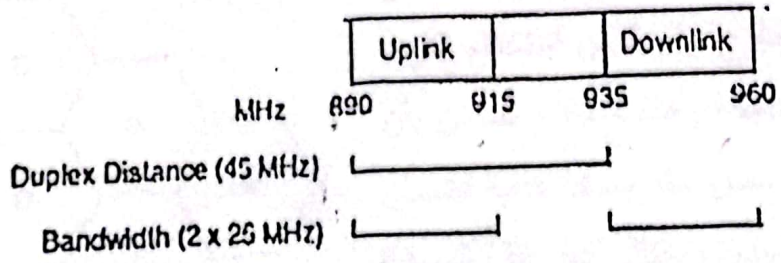
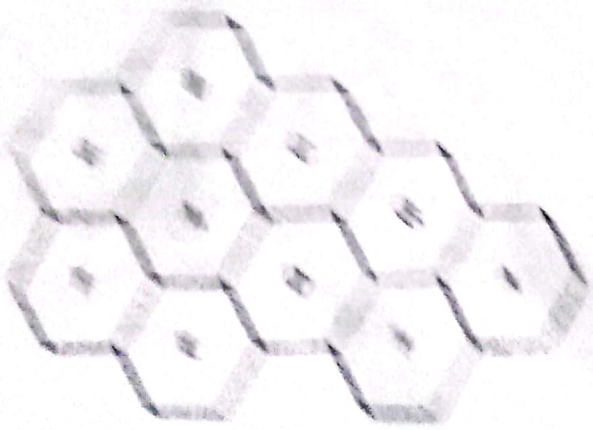


Figure 3-4 Duplex Distance



معدل الإرسال Transmission Rate :

إن معدل الإرسال هو كمية المعلومات المرسلة في قناة راديوية خلال فترة من الزمن ويعبر عنه بعدد البتات بالثانية BITS/S ، في الـ GSM فإن معدل البت الصافي عبر الهواء 270 KBIT /S .

طرق التعديل Modulation Methods :

في الـ GSM900 فإن التردد المستخدم لإرسال المعلومات عبر الهواء هو حوالي 900 MHZ وبما أن ذلك التردد ليس هو بالتردد الذي يتم توليد المعلومات عنده لذلك تستخدم تقنيات التعديل لترجمة المعلومات داخل مجال التردد المستخدم ، إن ترجمة التردد يتم بتعديل المطال ، التردد ،أو الصفحة وذلك لما يسمى بالموجة الحاملة وذلك وفق شكل الموجة لإشارة الدخل (إشارة الكلام مثلاً).

إن أي مخطط تعديل يؤدي إلى زيادة في عرض حزمة الحامل ، وفي الـGSM فإن عرض حزمة الحامل هو 200KHZ .

كقاعدة عامة وباستخدام تقنيات تعديل بسيطة فإنه يتم إرسال 1 BIT/S داخل 1 HZ .

وباستخدام هذه الطريقة فإنه يتم إرسال 200 KBIT/S فقط ضمن 200 KHZ على كل حال هناك تقنيات تعديل متطورة قادرة على إرسال أكثر من 1 BITS/S ضمن 1 HZ، إن تقنية التعديل المستخدمة في الـ GSM هي (GMSK : Gussian Minimum Shift Keying) والتي تسمح بإرسال 270 KBIT/S ضمن أو خلال قناة 200 KHZ وهي تقدم تسامح أكبر من التداخل وهذا بدوره يسمح بإعادة استخدام أضيق للترددات الذي يؤدي إلى ربح في السعة عموماً .

Access Method : Time Division Multiple Access (TDMA) :

إن معظم الأنظمة الخلوية الرقمية تستخدم التقنية TDMA وذلك لإرسال واستقبال إشارات الكلام ، باستخدام الـ TDMA يتم استخدام حامل واحد لحمل عدد من المكالمات كل مكالمة تستخدم هذا الحامل لفترة زمنية محددة تدعى حيزات زمنية TimeSlot، إن كل MS خلال المكالمة يخصص له TimeSlot على التردد الصاعد Uplink و Time Slot آخر على التردد النازل Down Link ، إن المعلومات المرسلة خلال TimeSlot واحد تدعى BURST ، وفي الـ GSM فإن كل إطار TDMA يتألف من 8 TimeSlot وهذا يعني أن كل حامل راديوي الـ GSM يمكن حمل ثمانية مكالمات .

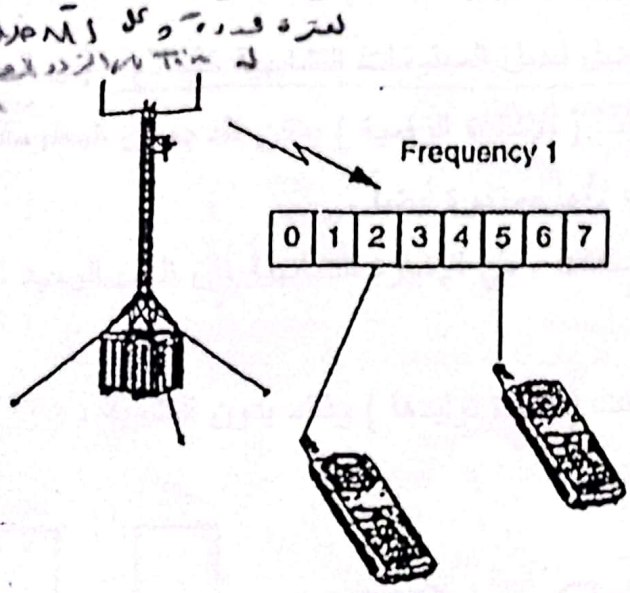


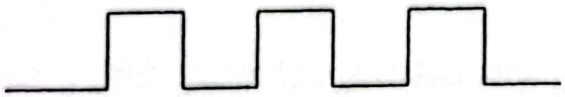
Figure 3-7 TDMA

❖ *ملاحظة* : في الشكل 7-3 فقط الاتجاه Downlink يتم تمثيله ولكن هناك أيضاً إطار TDMA آخر في الاتجاه الصاعد Uplink.

الإرسال التشابهي و الرقمي Analog And Digital Transmission :

- *Analog Information*: إن المعلومات التشابهية مستمرة ولا تتوقف عند قيم مميزة أو منفصلة وكمثال على المعلومات التشابهية الزمن و هو مستمر ولا يتوقف عند نقاط محددة.
- *Analog Signal*: إن الإشارة التشابهية هي موجة مستمرة و التي تتغير وفق خصائص المعلومات التي تمثلها.

- *Digital Information*: المعلومات الرقمية هي مجموعة من القيم المنفصلة أو المميزة.
- *Digital Signals* : وهي مجموعة من النبضات المميزة .



مزايا استخدام الإشارة الرقمية :

إن الكلام البشري هو شكل من المعلومات التشابهية ، إنه مستمر ويتغير بالتردد (درجات أعلى و أدنى) و المطال (همس أو صراخ) .

من البداية يبدو أن الإشارات التشابهية هي الوسط المفضل لحمل المعلومات التشابهية كالكلام ، إن المعلومات التشابهية مستمرة وإذا تمّ تمثيلها بعينات منفصلة من المعلومات (الإشارة الرقمية) يمكن فقد بعض المعلومات ، أما الإشارة التشابهية فلن تؤدي إلى فقدان أي قيمة من المعلومات لأنها مستمرة أيضاً .

إن جميع الإشارات (التشابهية و الرقمية) تتشوه عبر المسافات ، في الإشارة التشابهية فإن الحل الوحيد لذلك هو تضخيم الإشارة والذي يؤدي إلى تضخيم التشويه أيضاً .

في الإشارة الرقمية فإن الإشارة يمكن استعادتها كاملة كما كانت (إعادة توليدها) وذلك بدون التشويه .

إن المشـــكلة باستخدام الإشارات الرقمية لنقل وإرسال المعلومات التشابهية هي إمكانية فقدان بعض المعلومات نتيجة تطـبيق تقـنية أخذ العينات ، على كل حال عند أخذ المزيد من العينات فإن القيم الرقمية الناتجة سوف تعطي تمثيل حقيقي للمعلومات التشابهية.

عمومـاً : إذا تـمّ أخـذ العينات الكافية فإن الإشارات الرقمية تقدم جودة أفضل لإرسال المعلومات التشابهية وذلك بالمقارنة مع الإشارات التشابهية .

Transmission Problems: مشاكل الإرسال

يمكن أن يحدث العديد من المشاكل خلال إرسال الإشارة الراديوية و سوف يتم وصف أكثر المشاكل الشائعة.

① فقدان المسار Path Loss :

يـتم فقـدان المسار عندما تصبح الإشارة المستقبلة أضعف فأضعف نتيجة زيادة المسافة بين الـ MS و المحطة BTS ، إن مشـكلة فقـدان المسار نادراً ما تؤدي إلى إسقاط المكالمة لأنه وقبل أن تصبح المشكلة كبيرة سوف يتم تأسيس مسار إرسال آخر عن طريق BTS الأخرى.

② الظلال Shadowing :

إن ظاهـرة الظل تحدث عندما يكون هناك معيقات فيزيائية تتضمن التلال و المباني بين الـ MS والـ BTS وإن هـذه المعيقـات تحدث تأثير ظلي والذي يؤدي إلى إنقاص قوة الإشارة المستقبلة وعندما يتحرك الـ MS فإن قوة الإشارة تتقلب وتتغير اعتماداً على المعيقات بين الـ MS والـ BTS .

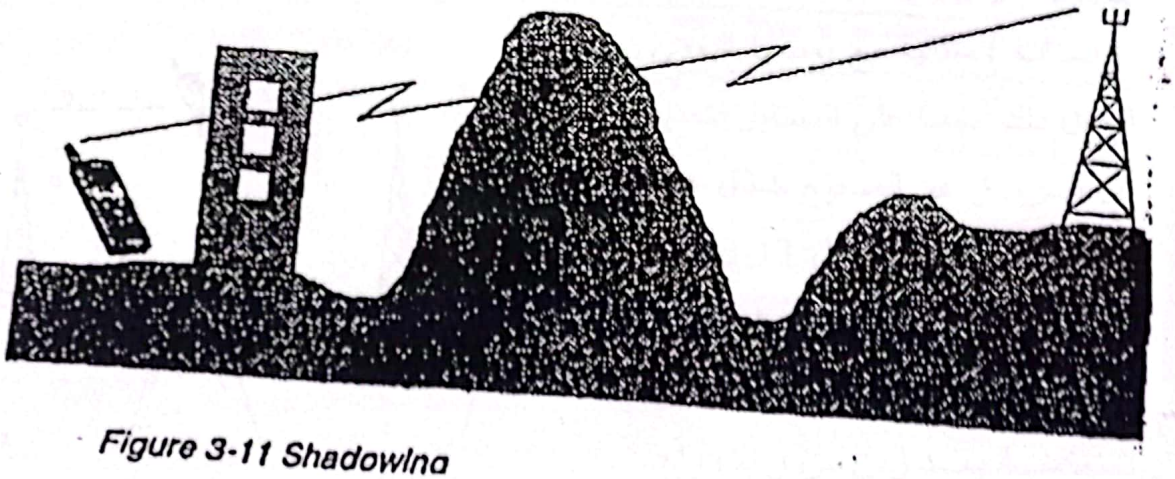


Figure 3-11 Shadowing

③ الذبول (الخفوت) متعدد المسارات Mulipath Fading :

يحـدث هـذا الذبـول أو الخفوت في الإرسال عندما يكون هناك أكثر من مسار واحد إلى الـ MS أو الـ BTS وهكـذا يتم وصول أكثر من إشارة إلى المستقبل ويمكن أن يكون هذا بسبب المباني و الجبال القريبة أوالبعيدة عن [illegible] Rayleigh Fading و Time Dispersion هي نماذج من الخفوت المتعدد المسارات.

(4) : Rayleigh Fading

وهذا يحدث عندما تأخذ الإشارة أكثر من مسار بين الـ MS و الـ BTS حيث أن الإشارة لا تستقبل بشكل مسار خطي مباشر من هوائي الإرسال وإنما تنعكس عن الأبنية " مثلاً " ويتم استقبالها من عدة مسارات مختلفة غير مباشرة وتحدث عادة هذه الظاهرة عندما تكون العوائق قريبة إلى هوائي المستقبل إن الإشارة المستقبلة هي مجموع عدة إشارات متطابقة / متماثلة / تختلف فقط في الصفحة (Phase) أو الطور (وأحياناً في المطال) إن انخفاض أو انحدار الخفوت لإشارة و الزمن المنقضي بين انحدارين يعتمد على سرعة الـ MS و التردد المرسل ، و بشكل تقريبي فإن المسافة بين انحدارين بسبب Rayleigh Fading هو حوالي نصف طول موجة وهكذا فمن أجل GSM 900 فإن هذه المسافة هي حوالي 17 CM .

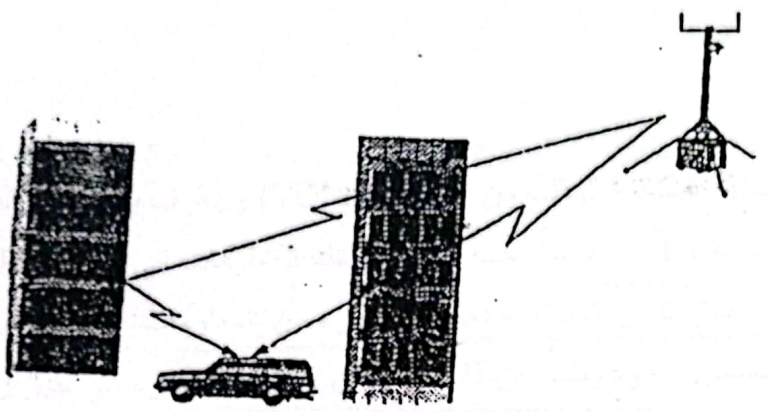


Figure 3-12 Rayleigh fading

(5) : Time Dispersion تشتيت الزمن

إن تشتيت أو تبديد الزمن هي مشكلة أخرى تخص المسارات المتعددة إلى هوائي المستقبل للـ MS أو الـ BTS وهي إن تأتي الإشارة المنعكسة من بناء أو أي غرض بعيد عن هوائي المستقبل.

إن تبديد الزمن يسبب تداخل " بتات " "داخلي " (Inter Symbol Interference ISI) حيث تتداخل رموز (بتات) متتالية مع بعضها البعض لتجعل ذلك صعباً على المستقبل لتحديد أي الرموز هو الصحيح كمثال على ذلك يظهر في الشكل 13-3 حيث التسلسل 1 ، 0 يتم إرساله من قبل الـ BTS ، فإذا وصلت الإشارة الملعكسة بعد زمن مرور بت واحد وذلك بعد الإشارة المباشرة عندها فإن المستقبل يكتشف البت " 1 " من الإشارة المنعكسة بنفس الوقت الذي يكتشف فيه البت " 0 " من الإشارة المباشرة وعندها فإن البت " 1 " يتداخل مع الرمز والبت " 0 " وإن الـ MS لا يعرف أي واحد منهما هو الصحيح .

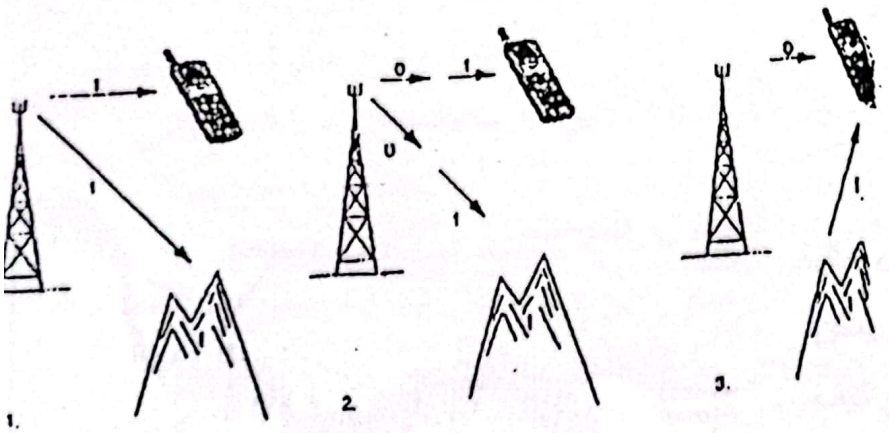


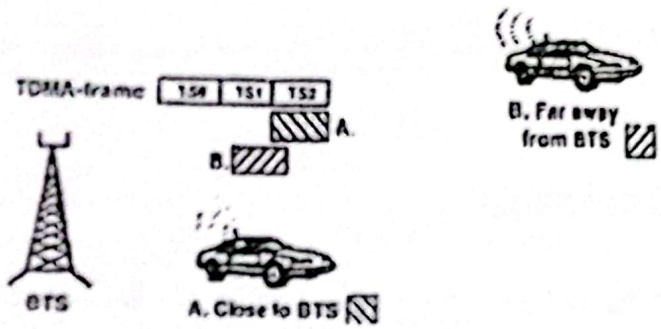
Figure 3-13 Time dispersion

❖ ملاحظـــة : إن زمن إرسال بت هو 3.7 µs وإن الأمواج الراديوية تسير بسرعة $3*10^8$ M/S لذلك فإن كل بت يقطع مسافة 1KM خلال الزمن المحدد له 3.7 µs .

وهكـــذا فإذا كان المسار المباشر 1 KM والمسار غير المباشر 3 KM فإن البت الأول المرسل سوف يتداخل مع البت الثالث المرسل .

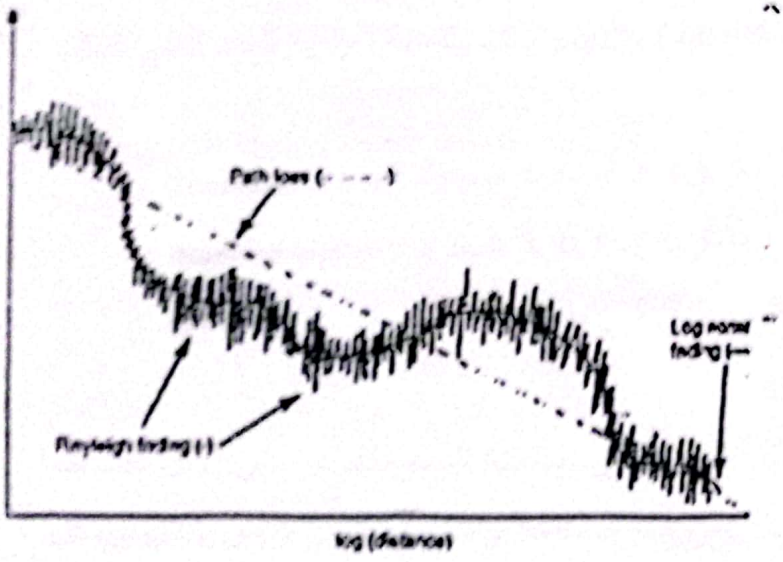
(6) انحياز الزمن Time Alignment :

إن كـــل MS يخصـــص له Time Slot خلال المكالمة (وذلك من الإطار TDMA) و يعرف بانه كمية الزمن التي يرسل خلالها الـــ MS المعلومات إلى المحطة BTS ، أيضاً يجب أن تصل تلك المعلومات إلى الـــ BTS بنفس الحيز الزمني Time Slot ، إن مشكلة انحياز الزمن تحدث عندما يصل جزء من المعلومات التي أرسلها الـــ MS فـــي غير الـــ Time Slot المخصص له وعوضاً عن ذلك يمكن أن يصل هذا الجزء في حيز زمني تـــالي وعـــندها يمكن أن يتداخل مع المعلومات المرسلة من قبل MS آخر يستخدم ذلك الحيز الزمني ، إن انحياز الـــزمن يحـــدث نتيجة المسافة الكبيرة بين الـــMS والـــ BTS حيث أن الإشارة لا تستطيع السفر عبر تلك المسافة الكبيرة خلال نفس الزمن المعطى.



مـــثلاً : حالـــة MS قـــريب مـــن الـــ BTS وقد تمّ تخصيصـــه بالحيز الزمني (Time Slot 3) TS3 خلال المكالمة يتحرك الـــ MS بعيداً عن الـــ BTS مســـبباً بـــتأخر وصـــول المعـــلومات المرسلة إليه من قبل الـــ BTS وهكذا، وأيضاً فإن جواب الـــ MS يصل مـــتأخراً إلى الـــ BTS ، فإذا لم يحدث شيئاً فإن التأخير يصبح طويلاً و الإرسال من الـــ MS في TS3 يتداخل مع المعلومات التي يستقبلها الـــ BTS في TS4 .

(7) Combined Signal Loss :



كل من المشاكل التي تمّ وصفها سابقاً تحدث بشـــكل مستقل عن بعضها البعض ، على كل حال في معظم المكالمات فإن بعض هذه المشاكل يمكن إن تحـــدث بنفس الوقت ، الشكل جانباً يوضح كيف تـــبدو قـــوة الإشارة عن هوائي استقبال الـــ MS عـــندما يـــتحرك بعيـــدا عن المحطة BTS ، إن مشـــاكل فقـــدان الممار، الظل ، Rayleigh Fading موجودة من أجل مسار الإرسال.

إن قوة الإشارة كقيمة عادية عامة (Global Mean Value) تنقص مع المسافة (فقدان المسار) وأخيراً تسبب في فقدان الاتصال ، وحول هذا المعنى العام هناك تغيرات بطيئة نتيجة الظلال وتغيرات سريعة نتيجة الـ Rayleigh Fading

وعند أي نقطة من هوائي المرسل فإن الإشارة المستقبلة يمكن أن تبدو كما في الإشارة في الشكل 3-16 .

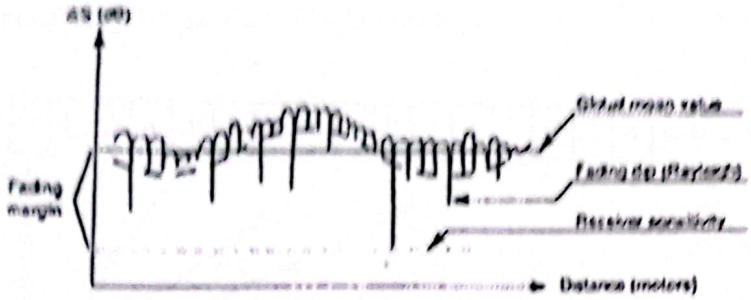


Figure 3-16 Rx signal strength

إن قيمة قوة الإشارة الدنيا المطلوبة من أجل المخرج المحدد تدعى مستوى حساسية المستقبل Receiver Sensitivity Level

و لاكتشاف المعلومات المرسلة من هوائي الإرسال TX يجب أن يتم استقبال XWatts "واط" فإذا سقطت الإشارة تحت القيمة X فإن المعلومات سوف يتم فقدانها وربما يتم إسقاط المكالمة، ولضمان عدم فقدان المعلومات فإن القيمة العادية Global Mean Value يجب أن تكون بمقدار عدة ديسبل /DB/ فوق مستوى حساسية المستقبل .

Solution To Transmission Problems : الحلول لمشاكل الإرسال

هذا القسم يصف بعض الحلول للمشاكل المشروحة سابقاً ، مع إن بعض هذه الحلول لا تعالج هذه المشاكل بشكل كامل لكنها تقوم بالجزء الهام في صيانة جودة المكالمة قدر الإمكان .

① *Chunnel Coding :* تشفير القناة

في الإرسال الرقمي فإن جودة الإشارة المرسلة يعبر عنها غالباً بمقدار البتات المستقبلة غير الصحيحة وهذا ما يدعى بـ BER (Bit Error Rate) (معدل خطأ البت) والذي يعرّف بالنسبة المئوية للعدد الكلي للبتات المستقبلة بشكل غير صحيح وهذه النسبة يجب أن تكون صغيرة قدر الإمكان وإنه من غير الممكن إنقاص هذه النسبة إلى الصفر وذلك لأن ممر ومسار الإرسال يتغير وهذا يعني أنه

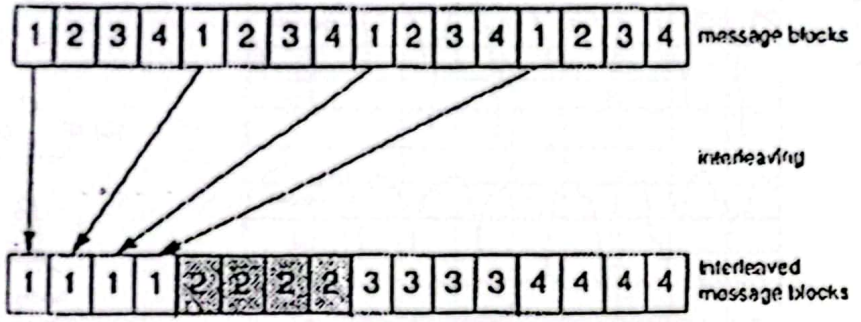
Transmitted bits	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0		
Received bits	1 0 0 1 0 0 1 0 1 0		
Errors	↑	↑ ↑	3/10 = 30% BER

يجب أن يكون هناك سماحية لمقدار الخطأ وبنفس الوقت القدرة على استعادة المعلومات أو على الأقل اكتشاف الأخطاء وبالتالي عدم اعتبار بتات المعلومات الخاطئة على أنها صحيحة وهذا هام بشكل خاص خلال إرسال المعطيات (بعكس الكلام الذي يسمح به بمعدل BER أعلى).

إن عملية تشفير القناة تستخدم لاكتشاف وتصحيح الأخطاء في تدفق البتات المستقبلة، إنها تضيف بتات إلى الرسالة وهذه البتات تسمح للذي يقوم بفك تشفير القناة بتحديد إذا ما كانت الرسالة تحتوي بتات خاطئة وتسمح ما أمكن بتصحيح بتلك البتات .

② Interleaving "التفريق" :

في الواقع إن أخطاء البتات تحدث غالباً بشكل متعاقب كما تحدث بسبب انحدارات الخفوت الكبيرة التي تؤثر على بتات متعاقبة عديدة ، إن عملية تشفير القناة ذات فعالية كبيرة في اكتشاف وتصحيح الأخطاء المفردة ومتتاليات الأخطاء القصيرة وهي غير مناسبة لمعالجة المتتاليات الطويلة LongerSeguences لأخطاء البت ولهذا السبب تستخدم العملية



(Interleaving) لتفريق وفصل البتات المتعاقبة لرسالة وبذلك فأنها ترسل في طريقة غير تسلسلية أو متعاقبة ، مثلاً إن بلوك رسالة يمكن أن يتألف من أربع بتات (1234) فإذا تمّ إرسال أربع بلوكات للرسائل فإن فقدان أحدها في الإرسال بدون عملية Interleaving سوف يؤدي إلى خطا بمقدار 25% BER عموماً ولكن 100% BER لبلوك الرسالة المفقود وإنه من غير الممكن إصلاح ذلك من هذا الوضع أما إذا تمّ استخدام Interleaving كما هوموضح بالشكل فإن بتات كل بلوك يمكن إرسالها في طريقة غير متعاقبة فإذا تمّ فقدان بلوك ما في عملية الإرسال أيضاً يكون هناك 25% BER عموماً .

وعلى كل حال تكون الـ 25% منتشرة على بلوكات الرسائل جميعها بنسبة 25% BER لكل منها وفي هذه الحالة يكون هناك قدرة أكبر على إدارة ذلك وإمكانية كبيرة لتصحيح الأخطاء عن طريق تشفير القناة .

1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4

③ تنوع الهوائيات Antenna Diversity :

إن تنوع واختلاف الهوائي يزيد من قوة الإشارة المستقبلة بالاستفادة من الخصائص الطبيعية للأمواج الراديوية ، هناك طريقتين للتنوع هما : Space Diversity و Polarization Diversity .

- ***Space Diversity :***

يمكن زيادة قوة الإشارة المستقبلة عند الـــBTS وذلـك بوضـع هوائيـن للاستقبال عوضاً عن هوائي واحد فإذا كان هذيـن الهوائيـن مفصولين فيزيائياً فإن إمكانيـة أو احـتمال تأثر كليهما بانحدار الخفـوت بنفس الوقت احتمال ضعيف أو قليل .

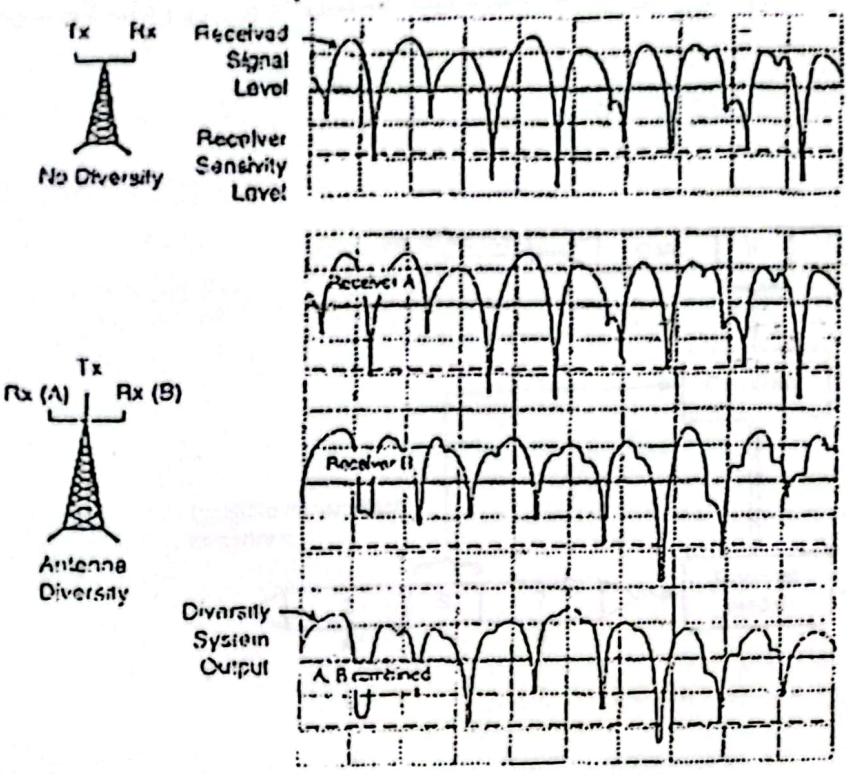


Figure 3-19 Space diversity

عـند التردد 900 Mhz فإنه من الممكن ربح حوالي 3 DB مع مسافة من خمسة إلى ستة أمتار بين الهوائيات وعند التردد 1800 MHZ فـإن المسـافة يمكن أن تكـون أقصـر بسبب قصر طول الموجة الخاصة به .

إن Space Deversity يقدم ربح للهوائي على نحو ضئيل وذلك بالمقارنة مع Polarization Diversity ولكنه يتطلب مسافة أكبر .

- **Polarization Diversity :**

وفيهـا يتم استخدام هوائي واحد بتطبية مزدوجة وهذا الهوائي ذو حجم عادي ولكنه يحتوي قطبيتين مختلفتين " أفقية و عمودية "ويتم إنقاص المسافة المطلوبة من أجل الهوائي .

Adaptive equalization

⑨ *: Adaptive Equalization*

وهو الحل المصمم لمعالجة مشكلة تبديد الزمن وهي تعمل كالتالي :

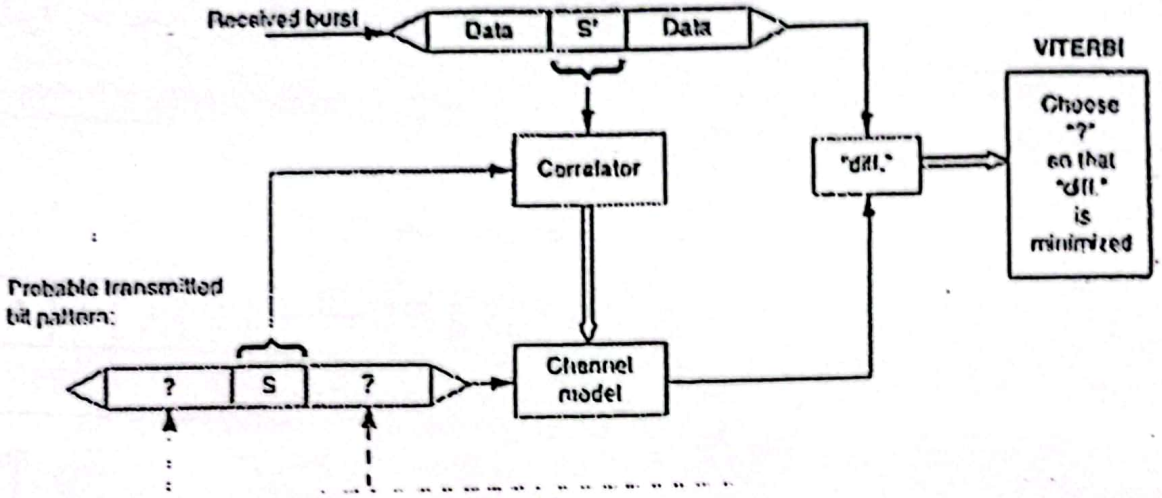
١. يـتم وضـع مجموعة من نماذج البت المعرفة مسبقاً تدعى " Training Sequences " تسلسل تجريبي " وهذه النماذج معروفة من قبل الـ BTS و الـ MS (معرفة في المصنع) ، إن الـ BTS يطلب من الـ MS أن يضع أحد هذه النماذج في رسالة إلى الـ BTS .

٢. يقـوم الـــ MS بتضـمين هذا التسلسل التجريبي (يظهر في الشكل كـ S) في إرساله إلى الـ BTS وعلى كل حال وبسبب المشاكل عبر الممر الراديوي فإن بعض البتات يمكن أن تتشوه .

٣. تستقبل الـ BTS الإرسال من الـ MS وتتفحص التسلسل التجريبي المحتواة فيه وتقوم الـ BTS بمقارنة هذا التسلسل الذي طلبت من الـ MS استخدامه ، فإذا كان هناك اختلاف بينهما فإنها تفترض بأن المشاكل

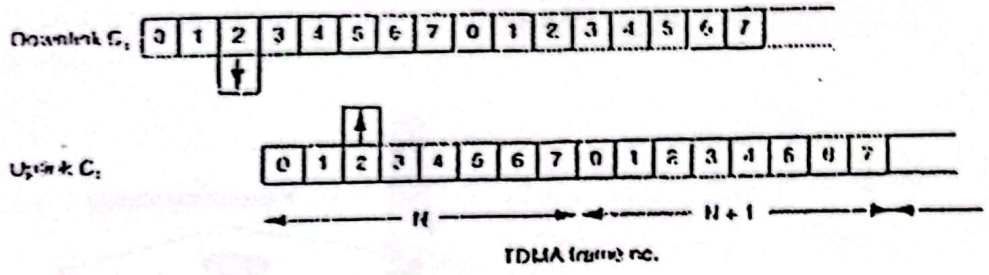
في المسار الراديوي التي أثرت في هذه البتات يجب أن يكون لها نفس الأثر في البتات الأخرى " غير البتات في التسلسل التجريبي " .

٤. تقوم الـ BTS بالبدء بالعملية التي تستخدم فيها معرفتها لما حدث لهذا التسلسل التجريبي وذلك لتصحيح البتات الأخرى للإرسال .

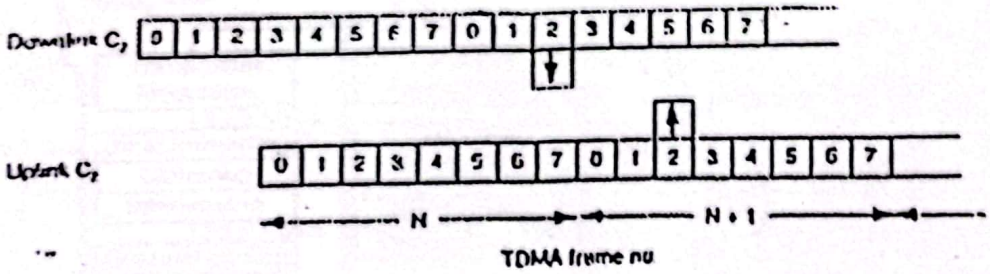


⑤ : *Frequency Hopping*

كما نوهنا سابقاً فإن Rayliegh Fading يعتمد على التردد وهذا يعني بأن انحدارات الخفوت تحدث عند مواقع مختلفة ومن أجل ترددات مختلفة .



للاستفادة من هذه الحقيقة فإنه من الممكن للـ BTS والـ MS القفز من تردد إلى آخر خلال المكالمة

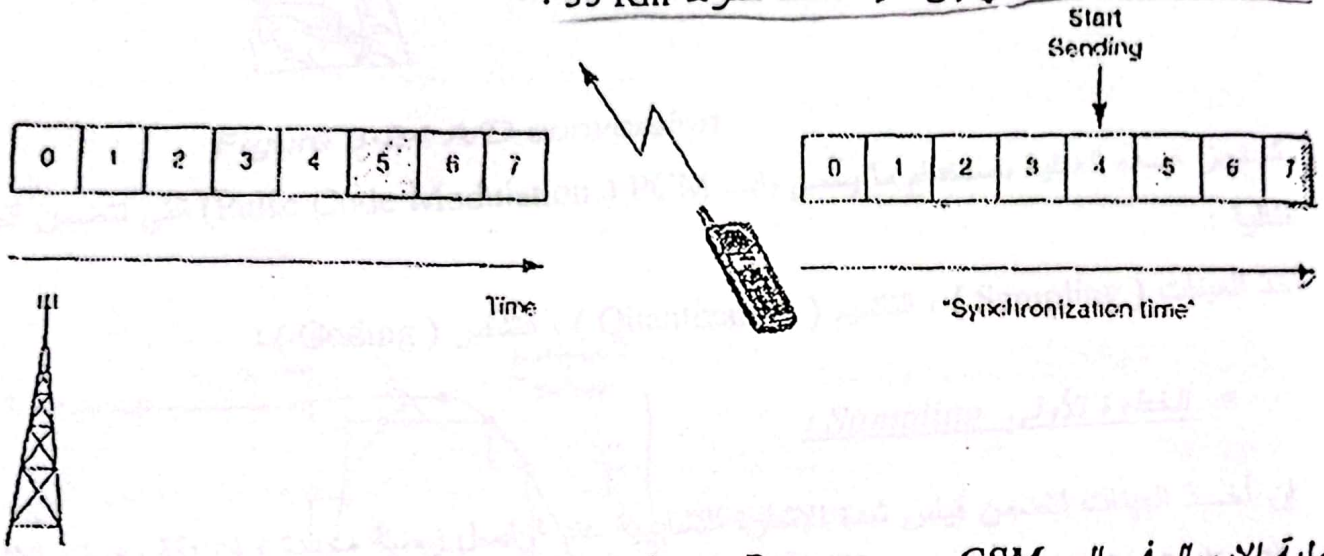


و القفز الترددي للـ BTS والـ MS يتم المزامنة بينها، في الـ GSM هناك 64 نموذج من القفز الترددي أحد هذه النماذج هو Simple Cyclic Or Sequenctial Pattern أما الباقي /63/ فتدعى لماذج عشوائية زائفة و التي يستطيع المشغل أن يختار منها .

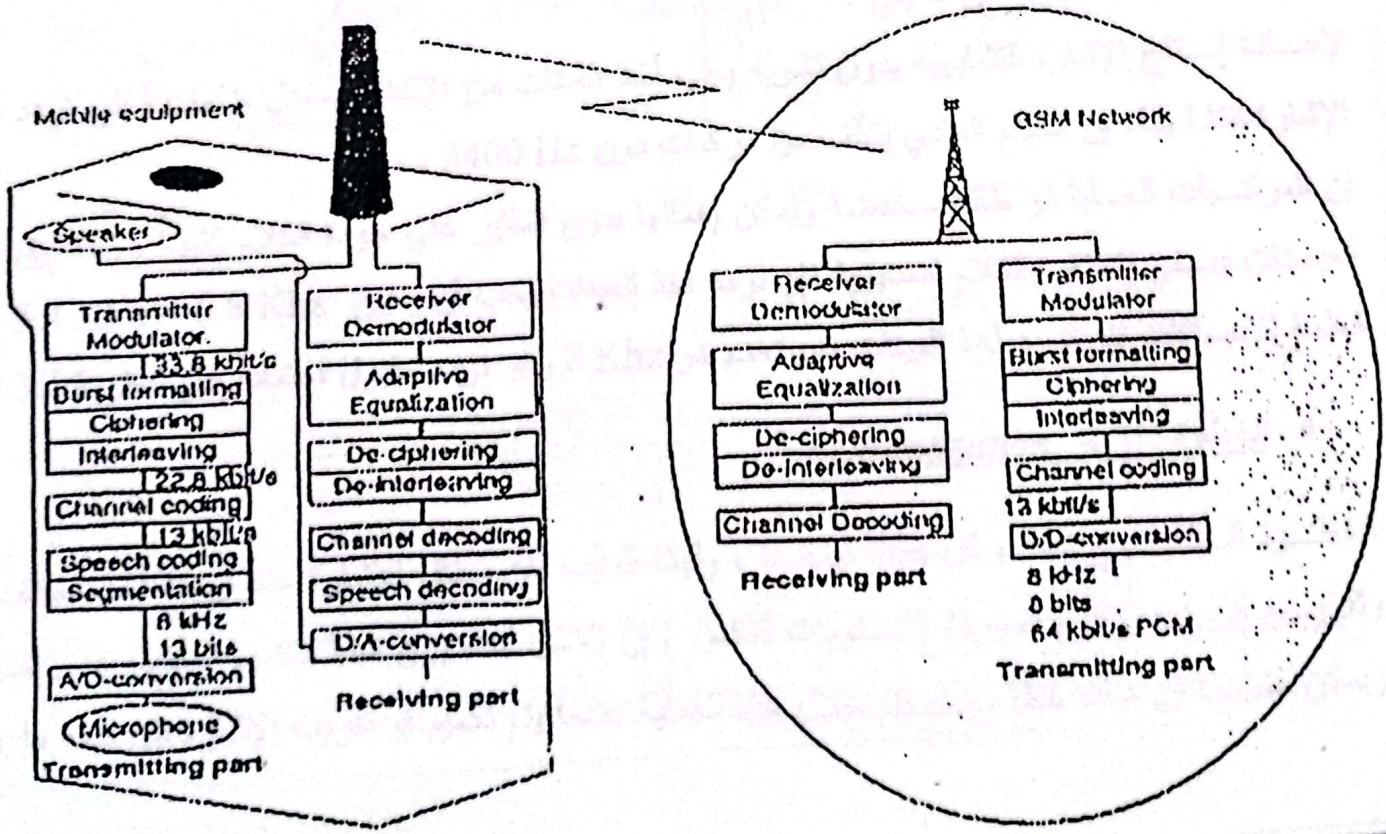
خلال إطار TDMA رقم N يستخدم C1 وخلال إطار TDMA رقم N+1 فإن C2 يستخدم ، حيث تستخدم المكالمة نفس الحيز الزمني (Time Slot) ولكن تغير الترددات وفق نموذج محدد .

(6) : *Timing Advance*

وهو الحل المصمم لمعالجة مشكلة إزاحة الزمن Time Alignment وآلية العمل تكون بأمر الـ MS المزاح لإرسال معلوماته (Burst) بشكل يسبق الزمن الذي يستخدمه عادةً ، في الـ GSM فإن معلومات تقديم الزمن تتعلق بأزمنة البت وهكذا يمكن إرسال أمر إلى الـ MS ليقدم (زمنياً) إرساله وذلك بعدد محدد من أزمنة البت و الحد الأعظمي في الـ GSM هو 63 bittimes وهذا أحد المحددات (البارامترات) التي تحد حجم خلية الـ GSM بشكل أعظمي إلى خلية نصف قطرها 35 Km .



عملية الإرسال في الـ GSM : *GSM Transmisson Process*



- ***Stage 1 :***

المرحلة الأولى هي التحويل من تشابهي إلى رقمي :

إن إحـدى الوظـائف الأساسـية للـ GSM هي تحويل معلومات الكلام التشابهية إلى الشكل رقمي وذلك من أجل الإرسال باستخدام الإشارة الرقمية ، إن عملية التحويل من تشابهي إلى رقمي تعطي مجموعة من البتات (واحدات وأصفار)والتي تمثل إشارة الكلام .

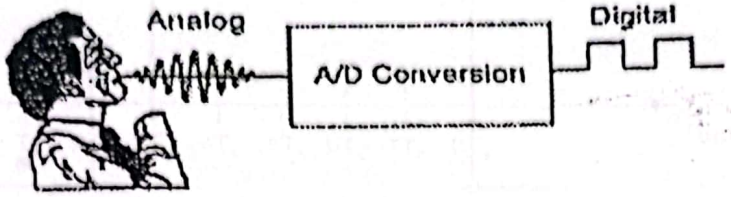


Figure 3-24 A/D conversion

تـنجز هـذه العملية باستخدام ما يسمى بالـ PCM (Pulse Code Modulation) التي تتضمن المراحل الثلاث التالية :

أخذ العينات (Sampling) ، التكميم (Quantization) ، التشفير (Coding) .

- ***الخطوة الأولى Sampling :***

إن أخـذ العينات تتضمن قياس شدة الإشارة التشابهية عند فواصل زمنية محددة ، إن دقة وصف الإشارة التشابهية بالشـكل الـرقمي يعتمد على كيفية أخذ العينات من الإشارة التشابهية ومن بينها ما يدعى بتردد أخذ العينات ، إن نظرية أخذ العينات تنص على ما يلي :

لإعـادة إنـتاج الإشارة التشابهية بدون تشويه يجب أخذ العينات من الإشارة بمعدل ضعف أعلى تردد موجود في الإشارة التشابهية، إن الكلام العادي يتألف من مركبات دون 3400 Hz .

إن المركـبات العـليا ذو طاقة منخفضة ويمكن إهمالها بدون التأثير على جودة الكلام كثيراً ، وبتطبيق نظرية أخذ العيـنات عـلى إشـارة الكلام التشابهية فإن تردد أخذ العينات يجب أن يكون 2 * 3.4 Khz = 6.8 Khz ، في أنظمة الاتصالات فإن تردد أخذ العينات المستخدم هو 8 Khz وهو تردد مقبول اعتماداً على نظرية أخذ العينات

- ***الخطوة الثانية Quantization :***

الخطـوة الـتالية هي إعطاء كل عينة قيمة ما ، ولهذا السبب فإن مطال الإشارة عند أزمنة أخذ العينات يتم قياسه وتقريـبه إلى إحدى القيم المعرفة (مستويات التكميم) إن الشكل أدناه يبين مبدأ التكميم المطبق على إشارة تشابهية ويمكن مشاهدة أن هناك خطأ مهمل يتم خلال هذه العملية عندما يتم تكميم أو تقريب الإشارة إلى قيمة ما ، إن

درجـــة الدقـــة تعـــتمد على عدد مستويات التكميم المستخدمة ضمن الاستخدامات الهاتفية العادية يتم استخدام 256 مستوى بينما في الـ GSM يتم استخدام 8,192 مستوى .

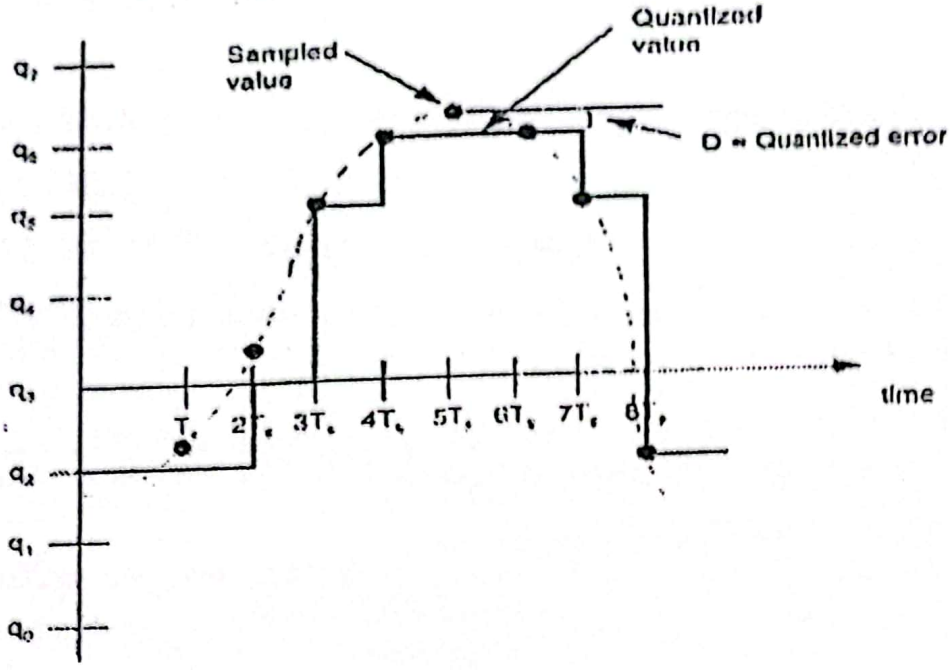


Figure 3-26 Quantization

- ***الخطوة الثالثة Coding :***

وتتضـــمن عمـــلية التشفير تحويل قيم التكميم الى النظام الثنائي حيث يتم تمثيل كل قيمة بكود ثنائي مؤلف من 13 Bits ($2^{13} = 8192$) ، مثلاً القيمة 2157 لها نموذج البتات التالي " 0100001101101 " .

Bit	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Total
Set to	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	
Value	0	2048	0	0	0	0	64	32	0	8	4	0	1	2157

Table 3-2 Coding of quantised value 2157

- ***ملخص عملية التحويل من تشابهي إلى رقمي :***

إن الـــناتج مـــن عملية التحويل من تشابهي إلى رقمي (A / D) هو 8000 عينة بالثانية وكل عينة بـــ 13 Bits وهـــذا يعطـــي معدل النقل 104 Kbit/S وعند اعتبار أن ثمانية مشتركين يستخدمون قناة راديو واحدة فإن معدل النقل سوف يكون:

$$832\ Kbits/S = 8 * 104\ Kbit/S$$.

تذكـــر بـــأن القانون العام يقول بأن *1 Bit لكل 1 Hertz* ، وعليه فإن معدل النقل هذا 832 Kbits/S سوف يتســـع فـــي 200 Khhz المـــتاح من أجل ثمانية مشتركين لذلك يجب إنقاص معدل النقل بطريقة ما وهذا ما يمكن الحصول عليه عن طريق التقطيع Segmentation و تشفير الكلام Speech Coding .

التقطيع (Stage 2) و تشفير الكلام (Stage 3) :

إن المفتاح في إنقاص معدل البت هو في إرسال معلومات عن الكلام عوضاً عن الكلام نفسه وهذا يمكن شرحه فيما يلي :

يرغب الشخص A بسماع قطعة موسيقية محددة وهو يعلم بأن الشخص B يملك تلك القطعة ، عندها يطلب A من B استخدام جهاز التسجيل خاصته لبعض الوقت ، ولسوء الحظ فإن آلة التسجيل معطلة ولا يمكن استخدامها و عوضاً عن ذلك يرسل الشخص B المحددات (البارامترات) التي توضح كيفية بناء تلك القطعة الموسيقية (صفحات من الموسيقا) بالإضافة مع المعلومات عن سرعة عزفها و تشغيلها (التردد) ، ويقوم A بإعادة إنتاج هذه القطعة الموسيقية .

في الـ GSM فإن عملية تشفير الكلام تحلل عينات الكلام وتعطي البارمترات التي تحدد مما يتألف ذلك الكلام النغمة (Tone) ، طول النغمة ، الدرجة (Pitch) ..... الخ

وهذا ما يتم إرساله خلال الشبكة إلى MS آخر والذي يقوم بتوليد الكلام اعتمادا على تلك المحددات .

إن عملية التقطيع وتشفير الكلام يتم شرحها بتفصيل أكبر فيما يلي :

إن عملية الكلام البشري تبدأ في الأوتار (الحبال) الصوتية أو آلة الكلام حيث يتم إنتاج النغمة بينما يعمل الفم واللسان و الأسنان .. كمرشحات " فلاتر " تغير من طبيعة تلك النغمة ، إن الهدف من تشفير الكلام في الـ GSM هو إرسال معلومات عن النغمة الأصلية نفسها فقط ومعلومات عن الفلاتر أو المرشحات .

التقطيع :

بالاعتماد والأخذ بأن آلة الكلام بطيئة نسبياً بالتكيف للتغيرات ، وإن محددات المرشحات التي تمثل آلة الكلام هي ثابتة تقريباً خلال 20 ms . لهذا السبب فإنه عند تشفير الكلام في الـ GSM يتم تشفير بلوك من 20 ms داخل مجموعة واحدة من البتات وهو شبيه بأخذ عينات من الكلام بمعدل 50 مرة بالثانية بدلاً من 8000 عينة المستخدمة بمبدأ التحويل A/D .

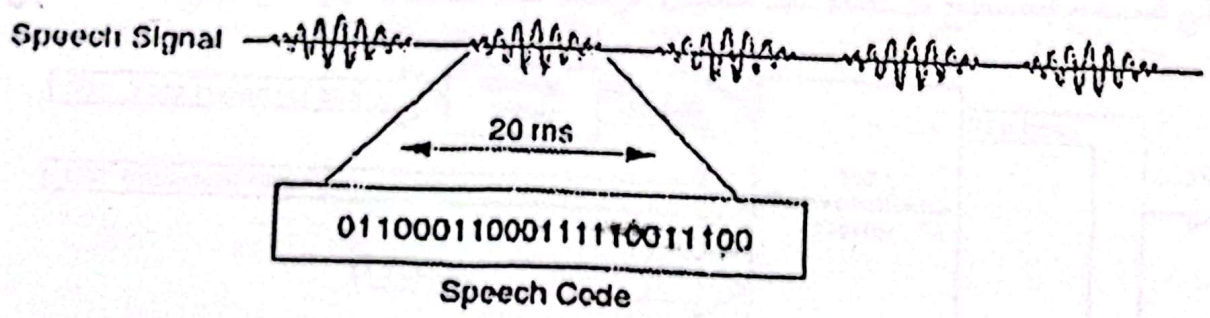


Figure 3-27 Segmentation and speech coding

Speech Coding :

عوضاً عن استخدام 13Bits لكل عينة كما في التحويل A/D فإن تشفير الكلام في الـGSM يستخدم 260 Bits وهـذا يحسـب كمـا يلي : 13 Kbit/S = 260 * 50 وهذا يقدم جودة كلام مقبولة من أجل الاتصال الخلوي بالمقارنة مع هواتف الـ PSTN .

- ملخص عن عملية التقطيع وتشفير الكلام :

إن مشـفر الكلام في الـ GSM ينتج معدل بت 13 Kbits/S لكل مشترك وباعتبار أن ثمانية مشتركين يستخدموا قـناة راديوية واحدة فإن معدل البت يصبح 8*13 Kbit/S = 104 Kbit/S بينما كانت القيمة 832 Kbit/S من التحويل A/D .

على كل حال إن تشفير الكلام لا يأخذ بعين الاعتبار المشاكل التي تظهر على ممر ومسار الإرسال ، إن الخطوات و المراحل في عملية الإرسال Channel Coding وInterleaving سوف تساعد في التغلب على تلك المشاكل .

Stage 4 :

تشفير القناة Channel Coding : دورة

إن عملية تشفير القناة في الـ GSM تستخدم البتات 260 Bit من مرحلة تشفير الكلام كمدخل وتعطي 456 encoded bits ، إن البتات الـ 260 تقسم وفق أهميتها النسبية إلى :

Block 1 : Bit 50 بتات هامة جداً

Block 2 : Bit 132 بتات هامة .

Block 3 : Bit 78 بتات ليست هامة بما يكفي .

إن الـ Block 1 يتم إرساله عبر مشفر بلوك (Block Coder) والذي يضيف ثلاث بتات إنجابية (Parity) ليعطي 53 Bit وهذه البتات الثلاث هي التي يتم استخدامها لاكتشاف الأخطاء في الرسالة المستقبلة .

إن البتات 53 Bit ، 132 Bit من البلوك الثاني و 4 Tail Bits " بتات حاشية أو ذيل " (المجموع 189) ترسل إلى مشفر التفافي (Convolutional Coder) والذي يعطي 378 Bits، إن البتات التي أضافها هذا المشفر الالـتفافي تسـمح بتصحيح الأخطاء عند استقبال الرسالة ،أما البتات المتبقية من البلوك الثالث فهي غير محمية .

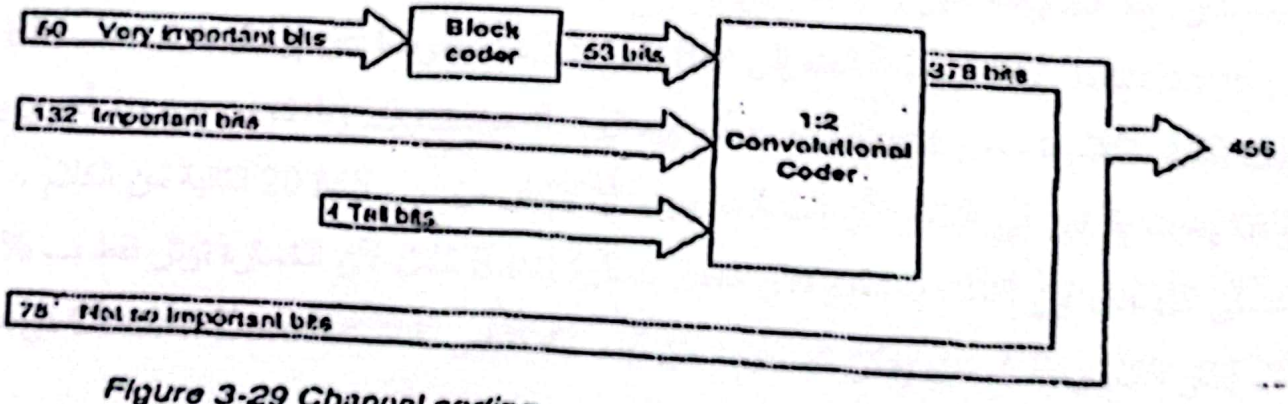
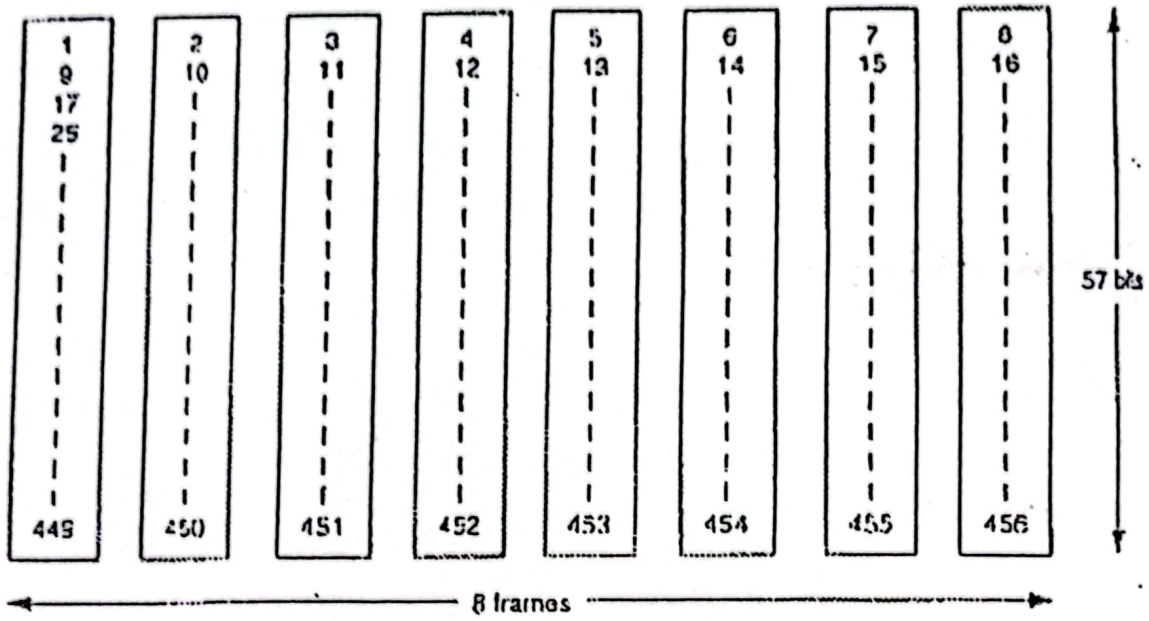


Figure 3-29 Channel coding

Stage 5 : "Interleaving"

First Level Of Interleaving :

إن تشفير القناة يعطي 456 Bits لكل 20 ms من الكلام ، هذه البتات يتم وضعها في أكثر من بلوك (Interleaved) ، في ثمانية بلوكات كل منها بـ 57 Bits كما يظهر في الشكل أدناه .



وكما يمكن مشاهدته في الشكل التالي ، في أي (Burst) هناك مكان لبلوكين (البتات المتبقية سيتم شرحها لاحقاً) وهكذا فإذا تم فقدان (Burst) واحد فهذا يعني 25% BER وذلك لكامل 20 ms (25 % = 218)

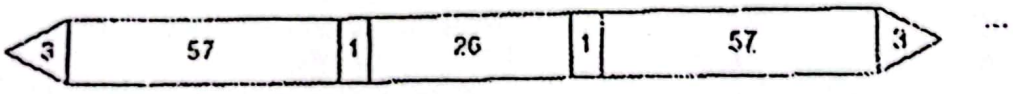


Figure 3-31 Normal burst

Second Level Of Interleaving :

إذا تـم استخدام مستوى واحد من التفريق " Interleaving" فإن فقدان Burst واحد سوف يؤدي إلى خسارة كلية بمقـدار 25 % وهذا كثير و لا يستطيع فاك تشفير القناة تصحيحه لذلك يمكن استخدام مستوى ثاني من التفريق " Interleaving" لإنقاص خطأ البت إلى Ber 5% 12.5 ، فعوضاً عن إرسال بلوكين بـ 57 Bits من نفس الـ 20 ms لـلكلام ضـمن Burst واحـد يتم إرسال بلوك من 20 ms وبلوك من 20 ms أخرى يتم إرسالهما معاً ، وهذا يسبب بتأخير في النظام لأن الـ MS يجب أن ينتظر من أجل 20 MS التالية من الكلام .

عـلى كل حال فإن النظام يستطيع الآن تحمل خسارة Burst كامل لأن الخسارة تؤثر فقط بـ 12.5 % للبتات من كل إطار كلام وهذا المعدل يمكن تصحيحه من قبل فك تشفير القناة Channel Decoder في طرف الاستقبال .

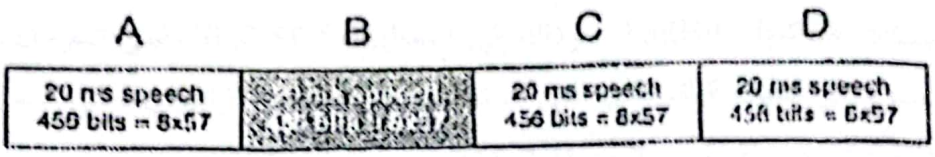


Figure 3-32 Speech frame

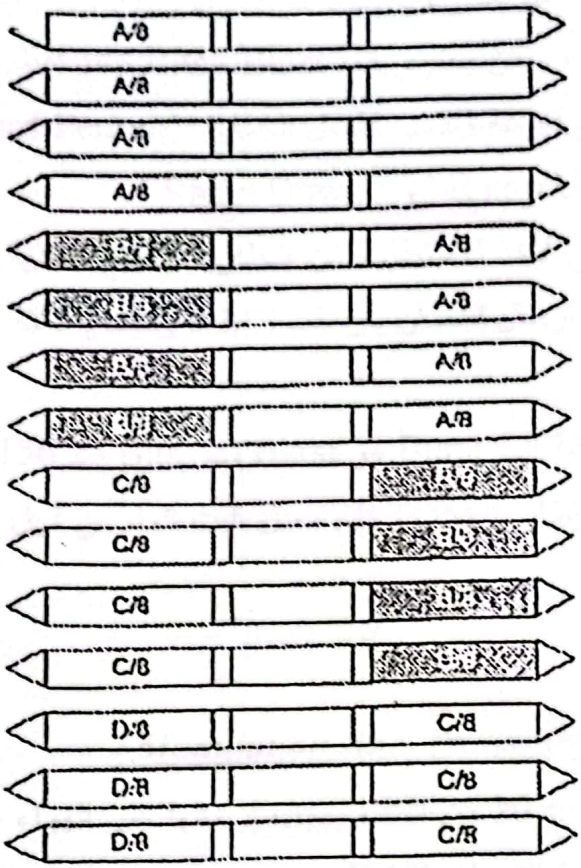


Figure 3-33 Second level of interleaving

Stage 6 :

Ciphering / Encryption التشفير :

إن الغاية من التشفير هو تشفير الـ Burst لذلك يصبح من غير الممكن تفسيرها من قبل أي جهاز غير المستقبل المطـلوب ، إن خوارزمية التشفير في الـ GSM تدعى A5 ، إنها لا تضيف بتات إلى الـ Burst وهذا يعني إن دخل وخرج عملية التشفير هي نفسها أي 456 Bits لكل 20 ms .

Stage 7 :

صياغة الـ Burst "Burst Formatting" : دورة

كما تمّ شرحه سابقاً فإن كل إرسال من MS/BTS يجب أن يتضمن بعض المعلومات الإضافية كالتسلسل التجريبي (Training Sequence) ، إن عملية صياغة الـ Burst هي لإضافة تلك البتات ، بالإضافة إلى بعض البتات

كبـــتات الحاشية TailBit ، وذلك إلى المعطيات / الكلام الأساسي المرسل وهذا يزيد من معدل البت عموماً ولكنه ضـــروري لمعالجة المشاكل التي قد تظهر على المسار الراديوي ، في الـــ GSM فإن المدخل إلى هذه العملية هو 456 Bits المستقبلة من المرحلة السابقة (Ciphering) .

إن عمـــلية صـــياغة الـــ Burst تضيف 136 Bits لكل بلوك 20 ms ليصبح المجموع 592 ، على كل حال ، إن كل حيز زمني Time Slot في إطار TDMA هو بطول 0.577 ms وهذا يقدم زمن كافي لإرسال 156.25 (كل بت يأخذ 3.7 µS) ، ولكن يحتوي الـــ Burst 148 Bits/ فقط ، وبالتالي فالمساحة المتبقية "8.25 Bit Times" فهي فارغة وتدعى فاصل الحماية " GpGuard Period " وهذا الزمن يستخدم ليسمح للـــ MS /BTS بما يدعى " Ramp Up " و " Ramp Down " .

إن الـــ Ramp Up تعني لأخذ الاستطاعة من البطارية / منبع التغذية وذلك من اجل الإرسال ، أما الـــ Ramp Down يتم تنفيذه بعد كل إرسال لضمان بأن الـــ MS لا يستخدم طاقة البطارية خلال حيز زمني مخصص لـــ MS آخر .

إن خـــرج عمـــلية صـــياغة الـــ Burst هو Burst بـــ 156.25 Bits أو 625 Bits لكل 20 ms ، وباعتبار أن هـــناك 8 مشـــتركين لكل إطار TDMA فإن معدل البت العام من أجل الـــ GSM يمكن حسابه فيكون 270.9 Kbit/S .

Stage 8 :

التعديل و الإرسال Modulation And Transmisson :

إن الـــ 676 Bit لكل 20 ms من الكلام يجب إرسالها عبر الهواء باستخدام تردد حامل ، وكما تمّ شرحه سابقاً فإن الـــ GSM تستخدم تقنية التعديل GMSk .

إن البتات يتم تعديلها على تردد الحامل (912.2 Mhz) مثلاً و يتم إرسالها .