أنظمة الاتصالات المتنقلة وتطبيقاتها في السكك الحديدية (GSM-R)

ملخص

إن نظام GSM-R هو معيار الاتصالات اللاسلكية الدولية الخاص بالسكك الحديدية وتطبيقاتها، إضافة إلى المواصفات التي وضعتها الشبكة الأوروبية المعززة لاتصالات الخطوط الحديدية (EIRENE) وهو النظام المناسب من أجل اتصالات الخطوط الحديدية مع ضمان عبور الحدود، حيث يستخدم لتأمين الاتصال بين القطار ومراكز التحكم في المحطات. يعتمد هذا النظام على مواصفات GSM، EIRENE، MORANE التي تضمن الأداء الجيد عند السرعات التي قد تصل إلى ٥٠٠ كم/ساعة دون فقدان الاتصال.
الاستخدام الرئيسي لنظام GSM-R هو نقل البيانات بين القطارات ومراكز تنظيم السكك الحديدية مما يتيح سرعات أعلى للقطار، وحجومات نقل كبيرة، مع مستوى عال من السلامة، كما أنه يستفيد من وفورات الحجم الخاصة بتكنولوجيا GSM، والذي يهدف إلى أن يكون بديلاً رقمياً فعالاً من حيث التكلفة لشبكات اللاسلكي الحالية.

كلمات مفتاحية: MS، BSS، ERTMS، GSM-R،Handover

١ – مقدمة:

إن النظام العام للاتصالات المتنقلة GSM (Global System for Mobile Communication) هو الجيل الثاني من نظم الاتصالات الرقمية الخليوية الذي بدأ التخطيط له سنة ١٩٨٢ وذلك مع تطور التقنية الرقمية والطلب المتزايد عليها، ويمتاز هذا الجيل بسعة أعلى بعدة مرات من النظام التشابهي

Analog System ، كما أنه يقدم ميزات خدمية أكثر ونوعية عالية الجودة، وتكلفة منخفضة، وقد بدأت أوروبا العمل بهذا النظام سنة ١٩٩١ بعرض ترددي جديد وهو ٩٠٠ MHz لخدمة الهاتف الخليوي.

٢-لمحة تاريخية عن الاتصالات الخليوية:

استُخدم الوصل المتعدد بالتقسيم الترددي التشابهي (FDMA) مع أنظمة الجيل الأول 1G. واستُخدم الوصل المتعدد بالتقسيم الزمني الرقمي (TDMA) بدارة التبديل مع أنظمة الجيل الثاني 2G. واستُخدم الوصل المتعدد بالتقسيم الترميزي الكودي (CDMA) بدارة التبديل الرزمية مع أنظمة الجيل الثالث 3G. واستُخدمت بعض تقنيات الوصل المتقدمة كالهوائيات الذكية وتقنية الوصل المتعدد بالتقسيم الترددي المتناظر (OFDMA) مع شبكات بروتوكولات الإنترنت (IP) التي تشكل الجيل الرابع 4G، و بما أن كل تقنية كانت تمثل تطوراً في وقتها، فإننا سنستخدم المجال الزمني لتصنيف هذه الأجيال، لذلك تدعى الأنظمة التشابهية بـ1G، وأنظمة الصوت والمعطيات الرقمية بـ2G، والأنظمة الرقمية عريضة الحزمة بـ3G، والأنظمة ذات معدلات البت عالية السرعة بـ 4G.

٢-١ نظام الجيل الأول (AMPS):

شكلت مختبرات بيل في عام ١٩٦٤ قسم الاتصالات المتنقلة، وكانت الشبكات اللاسلكية القديمة تركز بشكلٍ أساسي على الاتصالات الصوتية. أُطلق في البداية على الأنظمة التشابهية اسم النظام الهاتفي المتحرك عالي السعة، واستخدم هذا النظام التعديل الترددي FM من أجل قنوات الصوت.

٢-٢ نظام الجيل الثاني 2G:

بدأت أوروبا بتطوير نظام GSM في عام ١٩٨٣، هذا الاسم كان يُطلق في البداية على مجموعة الاتصالات المتحركة الخاصة (Group of Special Mobile)، ثم تغير فأصبح يُطلق على النظام

العالمي للاتصالات المتحركة (Global System for Mobile). إن نظام GSM هو نظام TDMA رقمي، تم تطويره في ألمانيا عام ١٩٩١ ويعتبر أول نظام خليوي رقمي في العالم.

٢-٣ أنظمة الجيل الثالث 3G:

أُقترح الجيل الثالث في عام ١٩٩٧ بواسطة Ericsson وكان يدعى عندها نظام CDMA وسميت النسخة الأولى من الجيل الثالث FOMA (حرية الوصل الخليوي للوسائط المتعددة)، والتي تم تطويرها في اليابان.

٢-٤ أنظمة الجيل الرابع 4G:

إن الأنظمة المستقبلية ستعتمد على متطلبات المستخدمين ويمكن تحقيق العديد من التطبيقات الغالية التي تحتاج إلى معدلات بت عالية السرعة، وحددت ITU في تموز ٢٠٠٣ متطلبات الجيل الرابع كما يلي:

١. يجب أن يكون معدل نقل البت في الحالة الثابتة 1 Gbps.

٢. يجب أن يكون معدل نقل البت في حالة الحركة 100 Mbps.

٣- أهداف الـ GSM:

من أهم أهداف هذا النظام:

- المقياس الموحد Common Standard .
- التجول الدولي International roaming .
- تقنيات التشفير الرقمي Digital encryption techniques.
- استخدام أجهزة بتكلفة منخفضة Low cost equipment .
- الاستهلاك الكهربائي المنخفض Low power consumption .
- إرسال رقمي متعدد الوصول بتقسيم الزمن TDMA digital transmission.

٤- مواصفات الـ GSM:

١. نطاق الإرسال من محطة الإرسال الثابتة: 935 MHz – 960 MHz Downlink

٢. نطاق الإرسال من محطة الإرسال المتنقلة: 890 MHz – 915 MHz Uplink

٣. أقصى قدرة إرسال : 3-20 W.

٤. عدد القنوات من النوع الدوبلكس: 125 CH.

٥. عرض النطاق الترددي للقناة: 200 KHz .

٦. طريقة النقل: تعدد الوصول بالتقسيم الزمني TDMA .

٧. عدد المشتركين في الإطار الواحد: ثمانية .

٨. طرق الحماية من الخطأ : تتم من خلال الترك البينيInterleaving ، تشفير القناة Channel Coding والقفز الترددي Frequency Hopping .

٥- بنية نظام GSM :

يتكون النظام GSM من عدة أنظمة فرعية مثل:

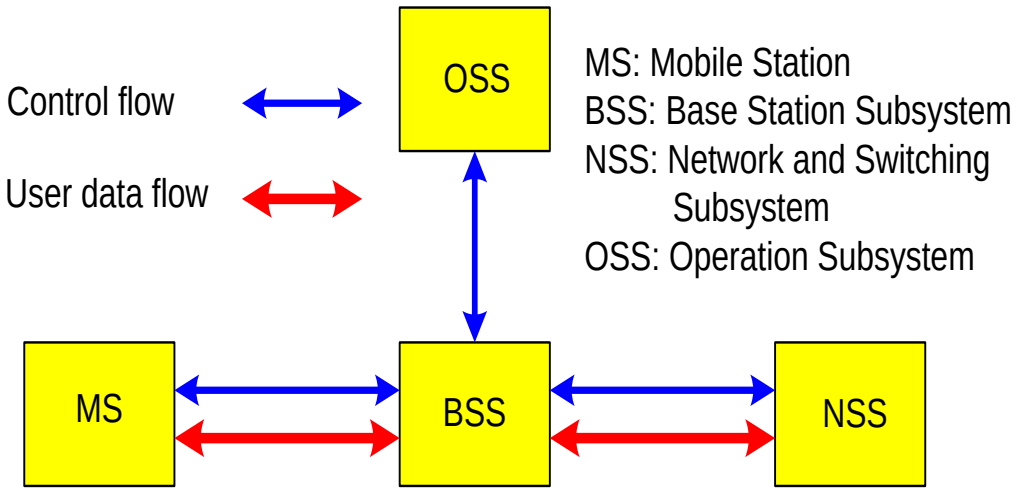
١. المحطة المتحركة (MS).

٢. محطة القاعدة الفرعية (BSS).

٣. نظام الشبكة والتبديل الفرعي (NSS).

٤. نظام التشغيل الفرعي (OSS).

ويبين الشكل (١) البنية الخارجية للنظام GSM



الشكل (١) البنية الخارجية للنظام GSM

٥-١ المحطة المتحركة (MS):

يمكن أن تكون المحطة المتحركة جزءاً مستقلاً من التجهيزات التي تؤدي خدمة معينة مثل الهاتف الجوال، أو تكون تجهيزاً داعماً لإقامة الاتصال مع الطرفيات الخارجية، مثل نقطة خدمة للكمبيوتر الشخصي أو الفاكس. تتضمن المحطة المتحركة تجهيزات الهاتف (ME) ووحدة هوية المشترك (SIM). يمكن أن تخدم تجهيزات الهاتف (ME) أكثر من شخص وبالتالي هي مكون غير شخصي، أما وحدة هوية المشترك (SIM) التي تخزن جميع المعلومات الخاصة بالمشترك فهي مكون شخصي بامتياز. عندما يتم إدخال SIM الخاصة بمشترك معين ضمن تجهيزات الهاتف ME تتشكل المحطة المتحركة الخاصة بهذا المشترك، وعندها يمكن إقامة الاتصال مع هذا المشترك بواسطة محطته المتحركة. لا علاقة للتجهيز ME بالرقم المطلوب وإنما هي طريقة وصل للشريحة SIM، أي أن المشترك يمكن أن يستخدم أي هاتف ME بمجرد أن يُدخل شريحته SIM فيه.

٥-٢ محطة القاعدة الفرعية (BSS):

تتصل BSS مع كل من MS و NSS لاسلكياً، وتتكون من محطة إرسال واستقبال (BTS) تتوضع بجانب الهوائي ومن متحكم بمحطة القاعدة (BSC) الذي يتحكم بعدة محطات BTS. تتكون محطة BTS من مرسل لاسلكي وتجهيزات استقبال مشابهة للتجهيز ME في المحطة المتحركة (MS). تقوم وحدة

ملائمة معدل ترميز الإرسال (TRAU) بترميز وفك ترميز الكلام وملائمة معدل إرسال ونقل المعطيات، وتعتبر وحدة داعمة لمحطة BTS ويمكن أن تتوضع بعيدة عنها، وغالباً تكون موجودة في MSC، وفي هذه الحالة يسمح معدل النقل المنخفض لقنوات ترميز الكلام بنقل مضغوط بين BTS وTRAUالموجودة في MSC.

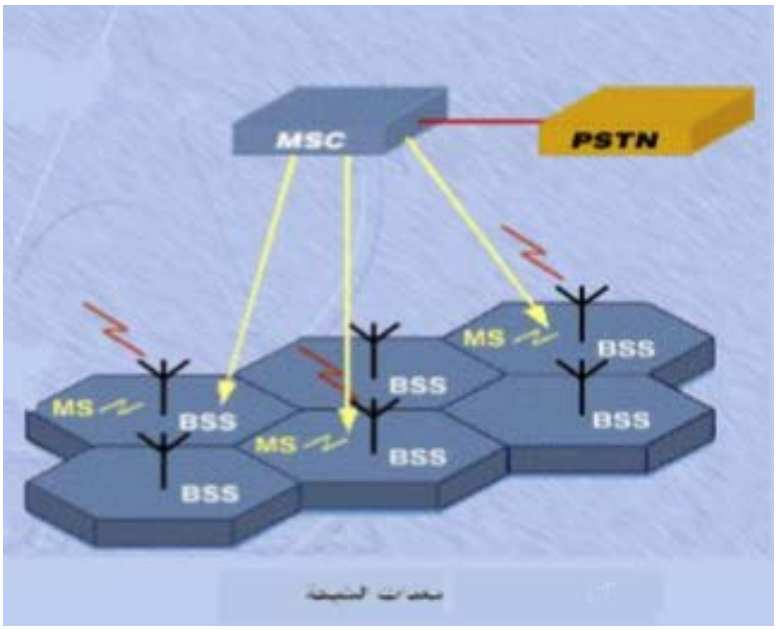
٥-٣ نظام الشبكة والتبديل الفرعي (NSS):

يتضمن نظام الشبكة والتبديل الفرعي (NSS) وظائف التبديل الأساسية في GSM، حيث يقوم NSS بالوصل بين مستخدمي GSM ومستخدمي أنظمة الاتصال الأخرى.

تتكون إدارة NSS من:

٥-٣-١. مركز تبديل الخدمة الهاتفية المتحركة (MSC):

يقوم بإدارة وتنسيق جميع المكالمات من وإلى مستخدمي GSM، ويتحكم بعدة BSSs. يبين الشكل (٢) البيئة الخارجية لـ MSC.



الشكل (2) البيئة الخارجية لـ MSC

٥-٣-٢. مسجل موضع المشترك الأساسي HLR:

يتكون من كمبيوتر مركزي يحتوي على المعلومات الأساسية للمشتركين، والمعلومات التي تتعلق بالموقع الحالي للمشتركين، ولكن ليس الموقع الفعلي للمشترك، ويعتبر مركز التوثيق AUC جزءاً فرعياً لـ HLR، ويقوم مركز التوثيق بإدارة معطيات السرية (مفاتيح التعمية وبارامترات التوثيق) الخاصة بالمشتركين، أما القسم الآخر لـ HLR فهو مسجل هوية الجهاز EIR، الذي يسجل معطيات الجهاز المتحرك ME.

٥-٣-٣. مسجل موضع الزائر VLR:

يرتبط مع MSC أو أكثر، ويسجل المعطيات الآنية للمشتركين الذين يرتبطون حالياً بخدمات MSC، ويمتلك بيانات أكثر تفصيلاً من HLR. مثلاً يمتلك VLR معلومات عن مواقع المشتركين الحاليين أكثر من معلومات المواقع في HLR.

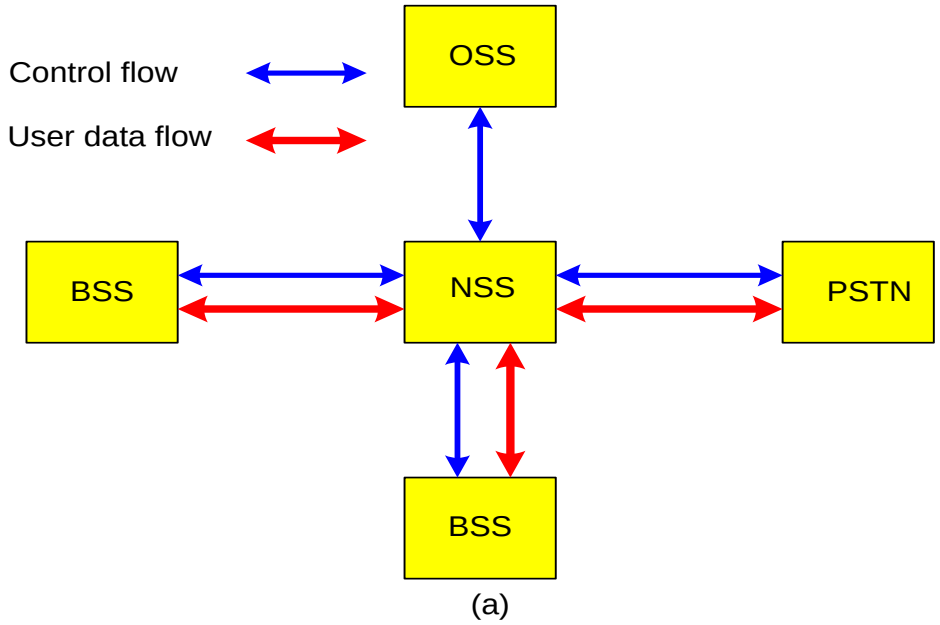
٥-٣-٤. بوابة عبور MSC (GMSC):

للاستجابة إلى طلبات المكالمات يجب أن يصل الطلب أولاً إلى GMSC التي تجد HLR المناسب (الصحيح) من خلال مراجعة دليل الأرقام لمشتركي GSM. تقوم GMSC بالربط مع الشبكات الخارجية.

٥-٣-٥. AUC: Authentication Center (مركز التوثيق)

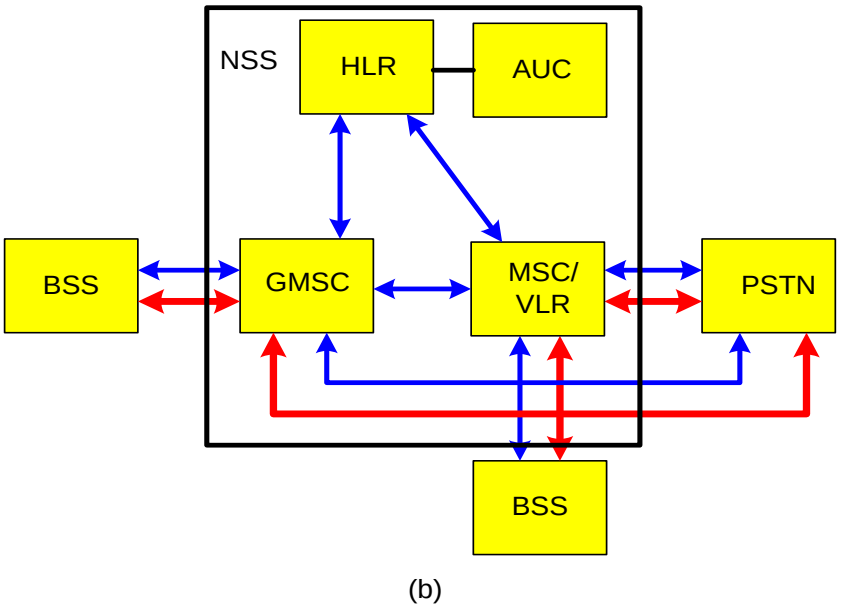
الغاية منه التوثيق والتأكد من شرعية المشترك الذي يحاول استخدام الشبكة الخلوية.

يبين الشكل (٣) البيئة الخارجية لنظام الـNSS .



الشكل (٣) البيئة الخارجية لنظام NSS

يبين الشكل (٤) البنية الداخلية لنظام الـNSS

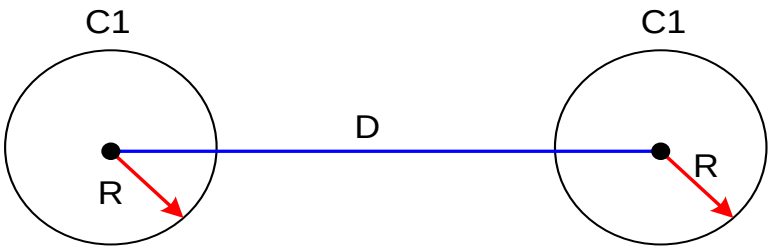


الشكل (٤) البنية الداخلية لنظام الـNSS

٦- مفهوم إعادة استخدام الترددات:

تتكون القناة اللاسلكية من زوج من الترددات، تردد واحد في كل اتجاه من خط النقل الذي يستخدم قناة دوبلكس. إن القناة اللاسلكية العملية (F_1) المستخدمة في منطقة جغرافية محدودة (الخلية) (C_1) ذات نصف القطر R، يمكن إعادة استخدامها في خلية أخرى بنفس نصف قطر التغطية بحيث تبعد عن الخلية الأولى مسافة D.

إن إعادة استخدام الترددات هو أساس فكرة النظام الخليوي، حيث إن المشتركين المتوضعين في مناطق جغرافية مختلفة (خلايا مختلفة) يمكن أن يستخدموا نفس الترددات بنفس اللحظة. إن إعادة استخدام الترددات تزيد من الفعالية الطيفية للنظام، ولكن إذا لم يصمم النظام بشكلٍ جيد فإن التداخل بين القنوات يمكن أن يحدث ويضعف من كفاءة النظام.



الشكل (٥) النسبة بين نصف قطر الخلية R ومسافة إعادة الاستخدام D

٦-١. آليات إعادة استخدام الترددات:

يمكن تطبيق مفهوم إعادة الاستخدام في مجال الزمان أو مجال المكان، ففي مجال الزمان يأتي هذا المفهوم بنفس فكرة استخدام نفس التردد عند فجوات زمنية مختلفة. يمكن تصنيف إعادة استخدام التردد في مجال المكان إلى صنفين هما:

١. تعيين نفس التردد في منطقتين جغرافيتين مختلفتين، بشكلٍ مشابه لاستخدام محطتي AM أو FM بنفس التردد في مدن مختلفة.

٢. تكرار استخدام نفس التردد في نفس المنطقة العامة بنفس النظام، هذه الطريقة مستخدمة في الأنظمة الخليوية. أي أن هناك العديد من الخلايا التي لها نفس الأقنية الترددية، بحيث يُقسم الطيف الترددي الكلي المخصص للنظام إلى K تردد بمخطط معين.

٦-٢. مسافة إعادة استخدام الترددات:

تعتمد المسافة الصغرى التي تسمح بإعادة استخدام نفس الترددات على عدة عوامل، مثل عدد الخلايا ذات القنوات المتداخلة المتوضعة بجوار الخلية المركزية، ونموذج المنحني الجغرافي، وارتفاع الهوائي، ومقدار استطاعة الإرسال لمحطة القاعدة.

يمكن حساب مسافة إعادة الاستخدام D من العلاقة:

$$D = R\sqrt{3K}$$

حيث إن K هو نمط إعادة الاستخدام.

حيث إن K هو نمط إعادة الاستخدام، عندئذٍ يمكن أن نكتب:

$$D = \begin{cases} 3.46R & K = 4 \\ 4.6R & K = 7 \\ 6R & K = 12 \\ 7.55R & K = 19 \end{cases}$$

إذا كانت محطة القاعدة ترسل نفس الاستطاعة فإن K تزداد ومسافة إعادة الاستخدام D تزداد أيضاً، إن زيادة D تؤدي إلى نقصان فرص التداخل بين القنوات اللاسلكية للخلايا.

إن القيم الكبيرة لـ K نظرياً تكون مرغوبة، وبما أن عدد القنوات المخصصة لكل K خلية يكون ثابتاً فإن القيم الكبيرة لـ K يجعل عدد القنوات المخصص لكل خلية صغيراً.

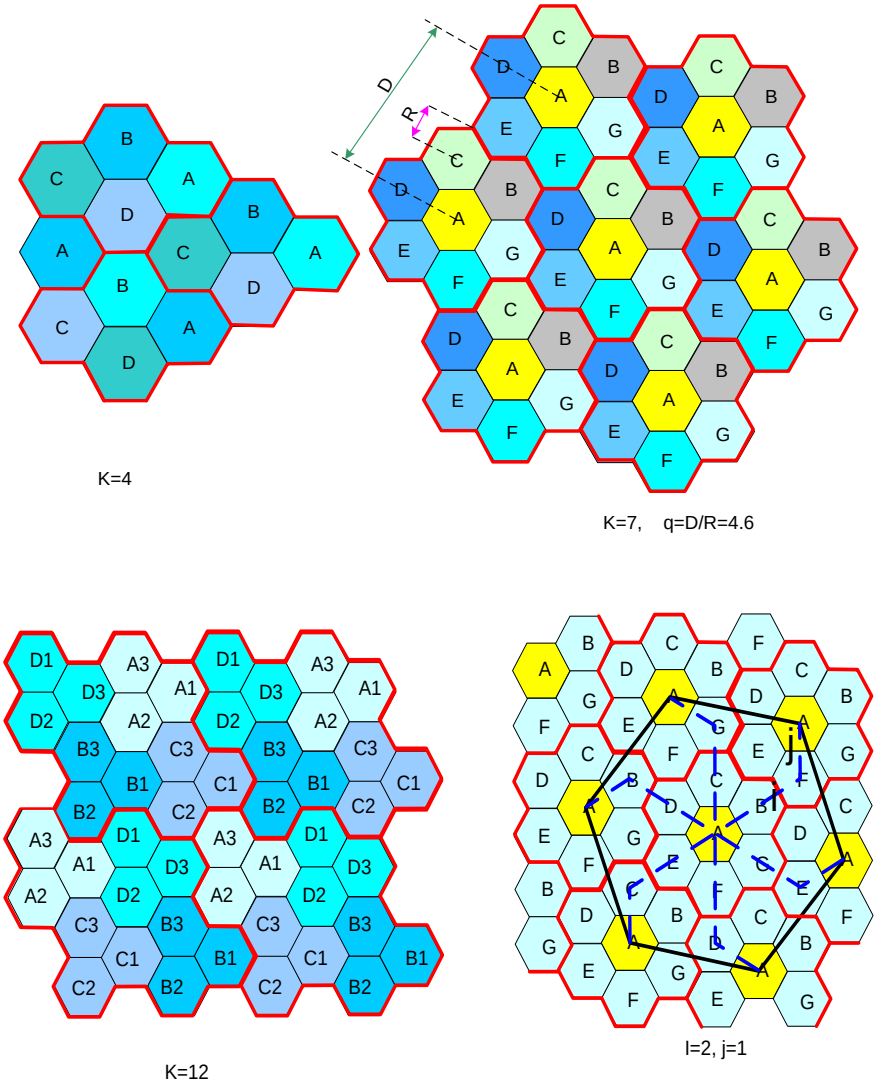
وبتطبيق نفس المفهوم على الفعالية الطيفية فإنه إذا قُسم العدد الكلي للقنوات على نظامي خدمة بنفس المنطقة فإن الفعالية الطيفية تزداد.

إن تحدي الحصول على أصغر عدد من K لا يزال يواجه مقتضيات أداء الأنظمة، وهذا يتضمن توقع التداخل بين الخلايا واختيار المسافة الصغرى لإعادة استخدام الترددات D لتقليل تداخل الأقنية.

إن أصغر قيمة لـ K هي K=3، التي تنتج عن $i = 1، j = 1$ في المعادلة التالية:

$$K = i^2 + ij + j^2$$

يبين الشكل (٦) إعادة الاستخدام لـ K خلية



الشكل (٦) مخطط إعادة الاستخدام لـ N خلية

٧- عامل التداخل:

إن إعادة استخدام الأقنية الترددية المتماثلة في الخلايا المختلفة مقيد بتداخل الأقنية بين الخلايا، حيث إن هذا التداخل يسبب مشكلة أساسية. سنعمل على حساب مسافة إعادة الاستخدام الصغرى التي تقلل من تداخل الأقنية.بفرض أن حجم جميع الخلايا متساوي، حيث إن حجم الخلية يتحدد بمساحة التغطية للإشارة في الخلية. بما أن حجم الخلية ثابت فإن تداخل الأقنية مستقل عن استطاعة الإرسال لكل خلية. هذا يعني أن مستوى حساسية المستقبل المتحرك يتم ضبطه على حجم الخلية، أي أن تداخل الأقنية يكون تابع لبارامتر q معرف على الشكل التالي:

$$q = \frac{D}{R}$$

حيث إن q هو عامل تقليل تداخل الأقنية.

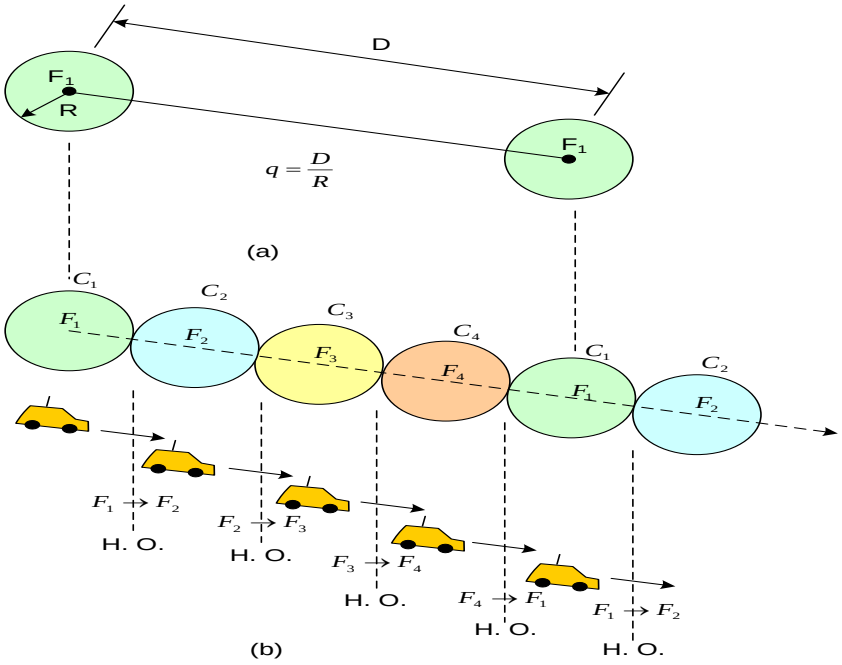
٧-١. آلية التسليم والاستلام

تسمح هذه الميزة الأساسية لأنظمة الخليوي بالعمل بفعالية عالية في منطقة التغطية، وهناك نوعان للتسليم والاستلام: صلب ومرن، ويطلق على النوع الأول بالتوقف قبل القيام بالفعل (brake before make)، أما النوع الثاني فيطلق عليه القيام بالفعل قبل التوقف (make before brake).

هناك خليتان تستخدمان نفس التردد $_1$ وتفصل بينهما مسافة D. وترتبط قيمة نصف قطر الخلية R ومسافة إعادة الاستخدام D بالعامل q. يجب تبديل هذا التردد بترددات أخرى مثل F_4 ،F_3 ،$_2$ لخلايا تقع بين الخليتين السابقتين للمحافظة على إقامة الاتصال دون انقطاع في المنطقة.

إن الترددات F_4 ،F_3 ،$_2$ تغطي الخلايا C_4 ،C_3 ،C_2 بنفس قيمة العامل q. إذا بدأت المحطة المتحركة الاتصال في الخلية $_1$ ثم تحركت إلى الخلية C_2، فإن الاتصال ينقطع ويبدأ من جديد عند الانتقال من التردد F_1 في الخلية C_1 إلى التردد F_2 في الخلية C_1. تتم عملية تبديل الترددات آلياً بواسطة النظام

وبدون تدخل المستخدم. تجري عملية التبديل الصلب في أنظمة FDMA و TDMA. الشكل (٧) يبين آلية التسليم والاستلام



الشكل (٧) الية التسليم والاستلام (a) نسبة تقليل التداخل (b) تبديل الترددات

٧-٢. تقليل التداخل بين الأقنية باستعمال هوائيات موجهة:

إن تقسيم الخلايا إلى مساحات أصغر يؤدي إلى زيادة التداخل بين الخلايا، وبالتالي هناك حاجة إلى السيطرة على هذه الزيادة، لذلك تم استخدام الهوائيات الموجهة التي تحافظ على سعة النظام من خلال المحافظة على عدد مقبول للخلايا ضمن التجمع *K*، وزيادة نسبة الإشارة إلى التداخل *C/I*.

يوجد طريقتان لاستخدام الهوائيات الموجهة:

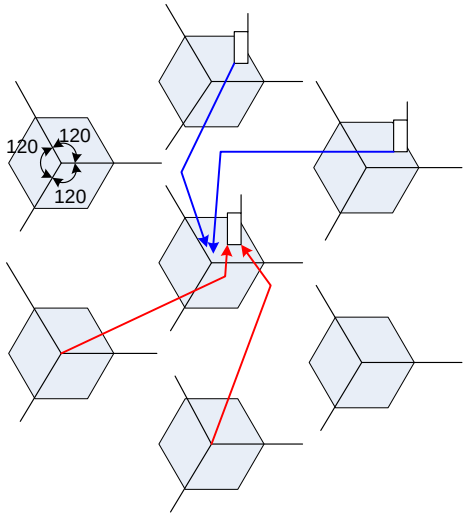
١. حالة ثلاثة مقاطع 3 sector state.

٢. حالة ستة مقاطع 6 sector state.

٧-٣. حالة ثلاثة مقاطع

يتم تقطيع الخلية إلى ثلاثة مقاطع كل منها يغطي قطاع ١٢٠ درجة، ويستخدم في هذا القطاع هوائي

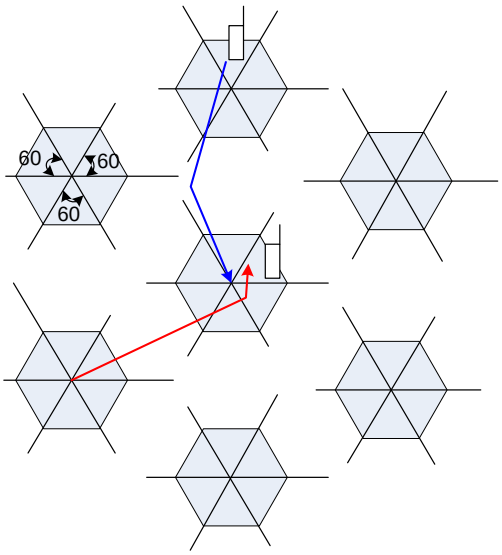
موجه. إن التداخل الذي يحدث في الخلية المركزية بكلا الاتجاهين الصاعد والهابط يكون مصدره من خليتين فقط. إذاً يقل عدد خلايا التداخل من ست خلايا إلى خليتين فقط وهذا يعني أن نسبة الحامل إلى التداخل قد ازدادت. الشكل (٨) يبين التداخل الناتج عن تقسيم الخلايا إلى ثلاثة قطاعات



الشكل(٨) التداخل الناتج عن تقسيم الخلايا إلى ثلاثة قطاعات

٧-٤. حالة ستة مقاطع

عند تقسيم الخلية إلى ستة مقاطع كل منها يغطي قطاع ٦٠ درجة، يصبح عدد الهوائيات أكبر وتصبح التوجهية أعلى والاستطاعة أقل.الشكل (٩) التداخل الناتج عن تقسيم الخلايا إلى ستة قطاعات.



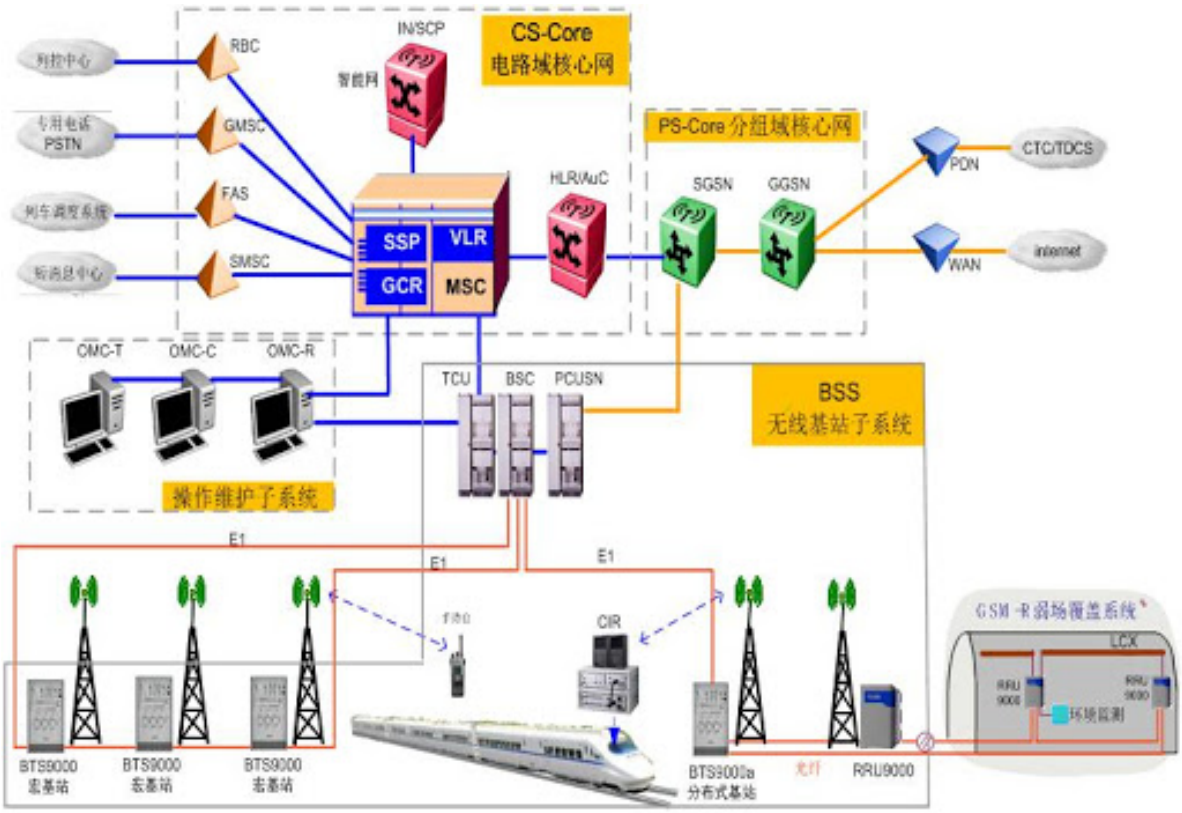
الشكل(٩) التداخل الناتج عن تقسيم الخلايا إلى ستة قطاعات

٨- التسليم Handover:

عندما ينتقل المشترك من خلية إلى أخرى وهو يقوم بإجراء مكالمة يتوجب على نظام الاتصالات الخلوي أن يحافظ على استمرارية المكالمة، وبالتالي يقوم MSC بمنح هذا المشترك زوجاً من القنوات FDD في الخلية التي انتقل إليها دون قطع المحادثة وهذا مايسمى بعملية التسليم Hand off process.

٩- نظام GSM-R

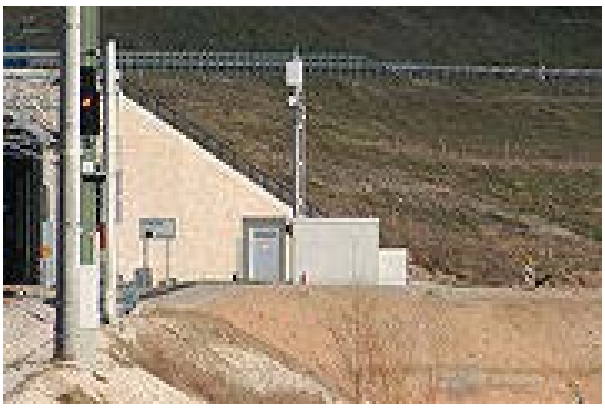
إن نظام GSM-R (Global System for Mobile communications – Railways) مبني على تقنية GSM، ويستفيد من وفورات الحجم الخاصة بتكنولوجيا GSM، والذي يهدف إلى أن يكون بديلاً رقمياً فعالاً من حيث التكلفة لشبكات اللاسلكي الحالية، التي يوجد منها أكثر من٣٥ نظاماً مختلفاً في أوروبا وحدها.



الشكل(10) نظام GSM-R

هذا المعيار هو نتيجة لأكثر من عشر سنوات من التعاون بين مختلف شركات السكك الحديدية الأوروبية بهدف تحقيق التشغيل المتداخل.

GSM–R هو جزء من المعيار الجديد لنظام إدارة حركة السكك الحديدية الأوروبية (ERTMS) وهو يحمل معلومات الإشارة مباشرة إلى سائق القطار ، مما يتيح سرعات أعلى للقطار وكثافة حركة المرور مع مستوى عال من السلامة.



الشكل(١١) مرسل GSM–R لخطوط عالية السرعة

تم الانتهاء من المواصفات في عام ٢٠٠٠، بناءً على مشروع MORANE (راديو متنقل لشبكات السكك الحديدية في أوروبا) بتمويل من الاتحاد الأوروبي. تم اختيار GSM–R من ٣٨ دولة في جميع أنحاء العالم ، بما في ذلك جميع الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي ودول في آسيا وأوراسيا وشمال إفريقيا.

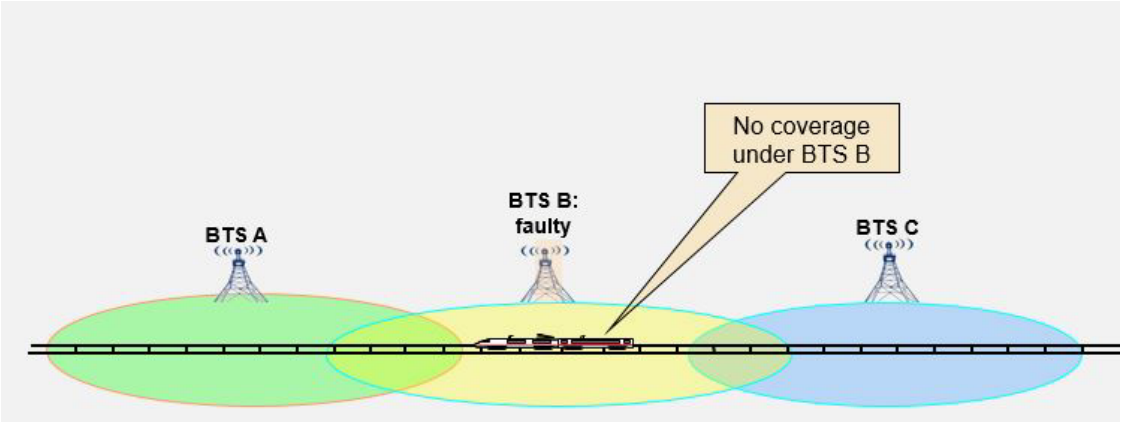
GSM–R عبارة عن منصة آمنة للاتصال الصوتي والبيانات بين موظفي السكك الحديدية، بما في ذلك السائقين ، وأعضاء فريق النقل، ومهندسي القطار ، ومراكز التحكم في المحطة.

يؤمن الـ GSM–R توافر ميزات مثل المكالمات الجماعية (VGCS) والبث الصوتي (VBS)، والمكالمات في حالة الطوارئ، كما يدعم GSM–R تطبيقات مثل تتبع الشحنات والمراقبة بالفيديو في القطارات والمحطات وخدمات معلومات الركاب. يتم تطبيق GSM–R عادة باستخدام أبراج محطة قاعدة مخصصة قريبة من السكك الحديدية. المسافة بين المحطات الأساسية هي ٣–٤ كم. هذا يخلق درجة عالية من الوفرة والموثوقية.

يحتفظ القطار باتصال بمركز التحكم في القطار في جميع الأوقات بواسطة مودم تبديل رقمي، هذا المودم يعمل بأولوية أعلى من المستخدمين العاديين (eMLPP). في حالة فقد اتصال المودم، سيتوقف القطار تلقائياً. في ألمانيا وإيطاليا وفرنسا تضم شبكة GSM–R ما بين ٣٠٠٠ و ٤٠٠٠ محطة أساسية في المملكة المتحدة، تم التخطيط لأكثر من ١٤٠٠٠ كيلومتر من السكك الحديدية التي تعمل وفق GSM–R مع تشغيل ٢٨٠ كم حالياً.

يمكن جمع ميزات نظام GSM–R بالنقاط التالية:

- يقوم بجميع وظائف GSM كاتصالات نقطة إلى نقطة – الفوترة – GPRS–البريد الصوتي – الرسائل النصية القصيرة
- تم تعزيز مواصفاته بما يلائم الخطوط الحديدية فهو يتضمن وظائف:
- المكالمات الجماعية –خدمة البث الجماعي – ترتيب الأولويات في المكالمات
- الوظائف الخاصة بالخطوط الحديدية والتي تم وضعها من قبل EIRENE
- العنونة الوظيفية – العنونة المعتمدة على الموقع–مكالمات طوارئ الخطوط الحديدية –مكالمات المعلومات عالية المستوى.
- القطارات عالية السرعة 500Km/h نظرياً وتم اختباره عملياً في سرعة قطار 350Km/h
- الميزات الإضافية من NSN شركة نوكيا سيمنس.



الشكل(١٢) توضيح لمناطق التغطية في نظام GSM–R

٩–١. الحزم المستخدمة لـ GSM–R:

876–880 MHz للوصلة الصاعدة (الإرسال)

921–925MHz للوصلة الهابطة (الاستقبال)

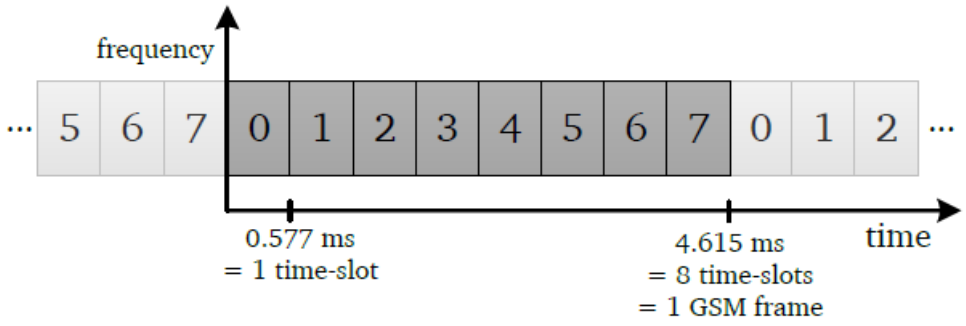
مما يضمن إمكانية التشغيل المشترك بين الدول ويلزم أخذ موافقة الجهات المختصة على هذه الترددات أصولا.

إن البنية التحتية لهذه الشبكة تعتمد على الكبل الضوئي، حيث إنه يتم ربط المحطات القاعدية (BTS) مع (BSC) ومع المركز الرئيسي حيث يتم ربطها بشكل أساسي عن طريق الكبل الضوئي وخصوصاً عندما يتم لحظ كافة محاور الشبكة فيشكل عندها الكابل الضوئي حلقة مغلقة مما يحقق الأمان في نقل المعلومات ومنع حدوث توقف في إرسالها في حدث قطع في مكان معين، أما في حالة التفريعات البسيطة فيمكن الاستغناء عنه واستبداله بالبث الميكروي لكنه غير موثوق ومسافة بثه لا تتعدى ٢٠كم ويتطلب وجود خط نظر كما أن أي عائق يمكن أن يقطع الوصلة الميكروية وكوننا نتحدث عن نظام ينقل معلومات

تتعلق بأمان سير القطارات فينبغي تأمين كافة متطلبات الوثوقية للبنية التحتية خصوصاً أنه يمكن تطبيق نظام التحكم الآلي بالقطارات ETCS حيث يتم عن طريق الكابل الضوئي نقل معلومات الإشارات إلى المواقع المطلوبة ضمن شبكة الخطوط الحديدية.

٩-٢. التعديل المستخدم :

إن التعديل المستخدم في GSM-R هو GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)، كما أنه يستخدم نظام الـTDMA (التقسيم الزمني المتعدد). يتم نقل البيانات من خلال إطارات TDMA (يخصص 4.615 ms لكل حامل ترددي). كل إطار TDMA يقسم إلى ٨ فترات زمنية والتي تسمى الأفنية المنطقية (logical channels) ، والذي يبلغ طول كل منها 577 µs ، حاملة ١٤٨ بت من المعلومات.



الشكل (13) بنية إطار TDMA

٩-٣. استخدامات الـ GSM-R:

تسمح GSM-R بخدمات وتطبيقات جديدة للاتصالات المتنقلة في عدة مجالات:

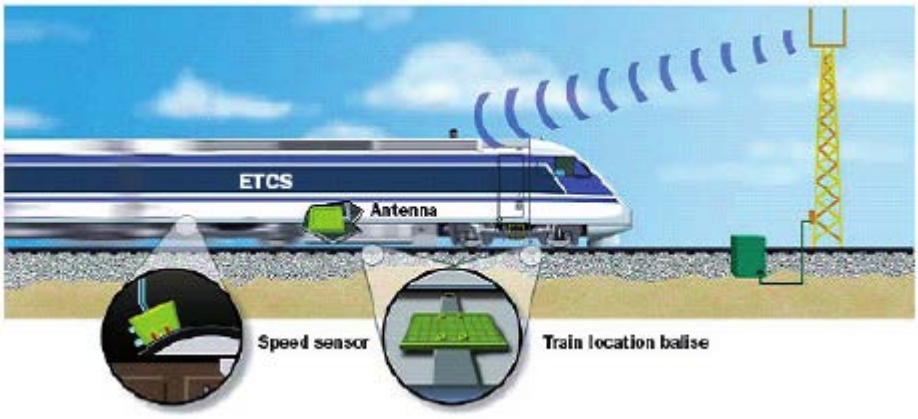
- التحكم والحماية (التحكم التلقائي في القطار، ERTMS ETCS)
- التواصل بين سائق القطار ومركز التنظيم.
- ارسال معلومات إلى ETCS (النظام الأوربي للتحكم في القطار).
- التواصل بين محطات القطار، ساحة التصنيف ومسارات السكك الحديدية.

الشكل (١٤) مركز التحكم في الـ GSM–R

الشكل (١٥) سائق القطار واستخدامه لـGSM–R.

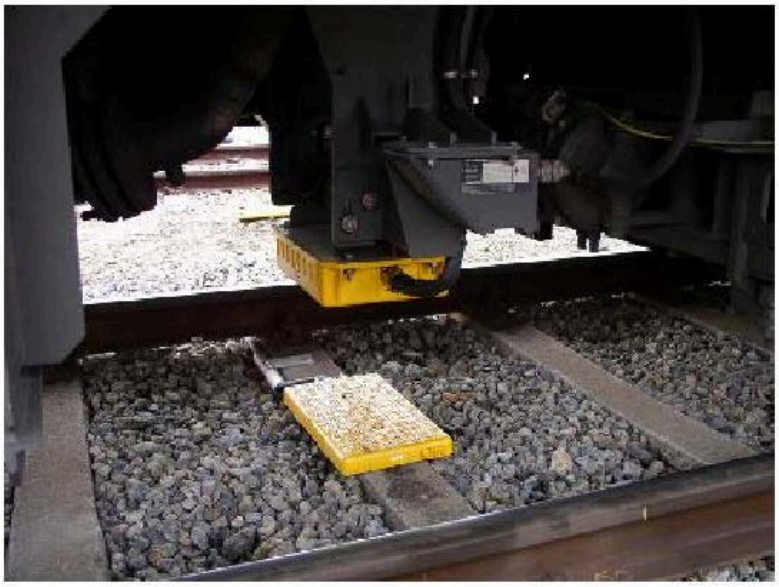
الاستخدام الرئيسي لنظام GSM–R هو نقل البيانات بين القطارات ومراكز تنظيم السكك الحديدية من المستوى ٢ و ٣ من ETCS. حيث أنه عند مرور القطار فوق الـ Eurobalise فإنه ينقل موقعه الجديد وسرعته ثم يستلم موافقة أو عدم موافقة بدخول مسار جديد وسرعته القصوى الجديدة.

حيث أن Eurobalise هي المنارات المستخدمة في النظام الأوربي للتحكم بالقطارات والتي توفر الموقع الدقيق للقطار بالإضافة إلى نقل المعلومات.



الشكل (١٦) تبادل البيانات بين البرج والقطار

الشكل (١٧) توضع الـ Eurobalise بين قضبان السكة الحديدية



الشكل (١٨) توضع الـ Eurobalise أسفل القطار

الشكل (١٩) هاتف GSM–R يستخدم من قبل الشركة الوطنية البلجيكية لسكك الحديدية

الشكل (٢٠) أجهزة الـ GSM –R مركبة في القاطرة.

٩-٤. سوق الـ GSM-R:

يوجد مجموعات مختلفة تشكل سوق GSM-R كما هو موضح في الجدول (١)

الجدول(١) مشغلي الشبكات ومشغلي السكك الحديدية

البلد	مشغل الشبكة	مشغل السكك الحديدية
Germany	DB Netz	DBAG
Belgium	Infrabel	NMBS/SNCB
Spain	ADIF	RENFE
Finland	RHK	VR
France	RFF	SNCF
Great Britain	Network Rail Limited	List of passenger operators
Greece	EDISY S.A.	TrainOSE
India	–	IR
Italy	RFI	TI
Norway	JBV	NSB
Netherlands	NS Railinfratrust	NS
Sweden	BV	SJ
Switzerland	Siemens together with SBB Telecom	SBB/CFF/FFS
Czech Republic	Správa železniční dopravní cesty	ČD

١٠- الاستنتاجات:

تم في هذا البحث التعرف على بنية نظام GSM والأجزاء المكونة له وميزاته، كما تم دراسة نظام الاتصالات المتنقلة الخاص بالسكك الحديدية (GSM-R)، حيث تبين أنه النظام المناسب لاتصالات الخطوط الحديدية مع ضمان عبور الحدود، إضافة إلى التحكم التلقائي في القطار.

وتتجلى الأهمية الرئيسية لنظام الـGSM-R بعملية نقل البيانات بين القطارات ومراكز تنظيم السكك الحديدية حيث إنه عند مرور القطار فوق الـ Eurobalise فإنه ينقل موقعه الجديد وسرعته ثم يستلم موافقة أو عدم موافقة بدخول مسارها الجديد وسرعته القصوى الجديدة.

A List of Abbreviations

A
AUC: Authentication Center (مركز التوثيق) الغاية منه التوثيق والتأكد من شرعية المشترك الذي يحاول استخدام الشبكة الخلوية.
B
Bit Error rate (معدل خطأ البت). النسبة المئوية للعدد الكلي للبتات المستقبلة بشكل غير صحيح.
BSC: Base Station Controler (المتحكم بالمحطة الأساسية). يقوم هذا المتحكم بإدارة كل الوظائف الراديوية لشبكة الـ GSM.
C
CELL (الخلية) وهي منطقة التغطية المعطاة من قبل هوائي (BS) واحد.
E
EIR: Equipment Identity Register (مسجل تحديد هوية الجهاز) قاعدة معطيات تحتوي على معلومات عن هوية وتعريف جهاز المشترك الخلوي والتي تسمح بمنع المكالمات من الهواتف المسروقة، غير الشرعية أو المعطوبة.
G
GMSC: Gate Way Mobile Services Switching Center (مقسم خلوي يعمل كبوابة عبور بين الشبكات المختلفة) مثلاً أي مكالمة من شبكة الهاتف العامة PSTN إلى مشترك خلوي يجب أن تمر عبر مثل هذه البوابة.
GSM: Global System For Mobile Communication (النظام الشامل من أجل الاتصالات الخلوية)
GSM-R: Global System for Mobile communications – Railways) (النظام الشامل للاتصالات الخلوية- السكك الحديدية)
H
Handover وهي العملية التي يمرر فيها التحكم بالمكالمة من خلية إلى أخرى بينما يكون المشترك في حالة الحركة بين الخلايا.
HLR: Home Location Register (مسجل التوضع الأساسي/الأم) وهي قاعدة معطيات الشبكة الخلوية والتي تخزن وتقوم بإدارة كل الاشتراكات الخلوية التي تنتمي إلى مشغل محدد.

I
IMEI: International Mobile Equipment Identity (رقم تحديد هوية الجهاز الخلوي) وهو رقم يستخدم لتحديد جهاز مشترك خلوي MS واحد ضمن الشبكة ويستخدم لأغراض الحماية.
IMSI: International Mobile Subscriber Identity (رقم هوية المشترك الخلوي) وهي هوية (تعريف) وحيدة تخصص لكل مشترك والتي تقدم التسهيلات من أجل التحقق من هوية المشترك عبر المسار الراديوي وخلال الشبكة ويستخدم هذا الرقم من أجل كل الإشارات المستخدمة في الشبكة الخلوية PLMN.
R
Roaming (التجوال) وهي عندما يتحرك المشترك الخلوي عبر الشبكة وهو في الحالة IDLE / شاغر.
S
SMS: Short Message Service وهي خدمة إرسال الرسائل القصيرة من وإلى الـ MS.
SIM: Subscriber Identity Module (بطاقة تحديد وتعريف المشترك) وهي بطاقة الاشتراك والتي تحتوي معلومات عن المشترك والتي يجب وضعها في جهاز المشترك ME للسماح له باستخدام الشبكة.
SMS-C: Short Message Service – Center (مركز خدمة الرسائل القصيرة)
T
TDMA: Time Division Multiple Access وهي التقنية المستخدمة في الأنظمة الخلوية الرقمية وذلك لإرسال واستقبال إشارات الكلام، حيث يتم عن طريقها استخدام حامل واحد لحمل عدد من المكالمات (8 مكالمات).
V
VLR: Visitor Location Register (مسجل توضع الزائر) قاعدة معطيات تحتوي معلومات حول مشتركي الخلوي المتواجدين الآن في منطقة خدمة MSC لذلك فهناك VLR واحدة لكل MSC في الشبكة.
ISDN: International Services Digital Network (شبكة الخدمات الرقمية المتكاملة)
L

LA: Location Area (منطقة التوضع) وهي مجموعة من الخلايا ويتم التعرف على مكان توضع المشترك في الشبكة عن طريق الـ LA المتواجد فيها.
Location Updating (تحديث الموقع) وهي تتم أثناء حركة المشترك الخلوي وعند دخوله إلى منطقة توضع (LA) جديدة.
M
ME: Mobile Equipment (تجهيزة / جهاز المشترك الخلوي)
MS: Mobile Station (محطة المشترك الخلوي). تتألف من جهاز المشترك ME والبطاقة SIM.
MSC: Mobile Services Switching Center (مركز تبديل الخدمات الخلوية) وهو المقسم الخلوي الذي ينجز وظائف التوصيل والتبديل الهاتفي في الشبكة الخلوية.

إعداد المهندس مازن عبد اللطيف:

– رئيس شعبة اللاسلكي والمقاسم المركزية في مديرية الإشارات والاتصالات – المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية.

– محاضر في قسم هندسة الاتصالات– كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية – جامعة حلب.

– محاضر في المعهد التقاني للخطوط الحديدية.

المراجع

[1] Mobile Communication-2009. FSKD'09. Sixth International Conference on، volume 7، pages 581–584. IEEE، 2009.

[2] Ericsson- Author: Philip Bateman Supervisor: Dr. Hans Georg Schaathun. -2006

[3] Marconi Communication- R. B.Wolfgang، E. J.Delp-2006

[4] G. Theeg and S. Vlasenko، eds.، Railway Signalling and Interlocking. Germany: Eurailpress، first ed.، 2009. ISBN 978-3-7771-0394-5.

[5] "The Electro Magnetic Telegraph of the Great Western Railway،" in Journal of the Franklin Institute، vol. 29(4)، pp. 271–272، 1840.

[6] R. Stephenson، "On the Railways and Telegraphs of Great Britain،" in Journal of the Franklin Institute، vol. 61(4)، pp. 217–221، 1856.

[7] P. Stanley، ed.، ETCS for Engineers. Germany: Eurailpress، first ed.، 2011. ISBN 978-3-7771-0416-4.

[8] R. Pascoe and T. Eichorn، "What is Communication-Based Train Control?،" IEEE Vehicular Technology Magazine، vol. 4(4)، pp. 16–21، December 2009.

[9] M. Fitzmaurice، "Wayside Communications: CBTC Data Communications Subsystems،" IEEE Vehicular Technology Magazine، vol. 8(3)، pp. 73–80، September 2013.

[10] A. Grogan، "Driverless trains: It's the automatic choice!،" IET Engineering & Technology، vol. 7(5)، pp. 54–57، June 2012.

[11] M. Aguado، O. Onandi، P. S. Agustin، M. Higuero، and E. J. Taquet، "WiMAX on Rails،" IEEE Vehicular Technology Magazine، vol. 3(3)، pp. 47–56، September 2008. 218 BIBLIOGRAPHY.

[12] N. Yanase، "Necessities for future high speed rolling stock،" tech. rep.، International Union of Railways (UIC)، Paris، France، January 2010. ISBN 978-2- 7461-1931-4.

[13] J. Calle-Sanchez، M. Molina-Garcia، J. I. Alonso، and A. Fernandez-Duran، "Long Term Evolution in High Speed Railway Environments: Feasibility and Challenges،" Bell Labs Technical Journal، Special Issue: Next-Generation Wireless Technologies، vol. 18(2)، pp. 237–253، September 2013.

[15] P. Winter، ed.، Compendium on ERTMS. Eurailpress، first ed.، 2009. ISBN 978- 3-7771-0396-9.

[16] S. F. Ruesche، J. Steuer، and K. Jobmann، "The European Switch. A PacketSwitched Approach to a Train Control System،" IEEE Vehicular Technology Magazine، vol. 3(3)، pp. 37–46، September 2008.