DATA TRANSMISSION

Lecture Notes

Dr. Professor, J.M. Khalifeh

قسم المعلوماتية

الوحدة الثالثة

أوساط النقل

Based on: Computer Networks & Communications. Abdel Fatah Aref Tamimi, Jamal Khalifeh, Yazori publisher; Amman; Jordan, 2010

مقدمة

إن نقل المعلومات بين مكونات نظام التراسل ما يتطلب بالضرورة شكلاً من أشكال وسائط النقل. إن اختيار وسط النقل المادي الذي يخدم لنقل هذه المعلومات أمر بالغ الأهمية لنقلها بنجاح. يتناول هذا الفصل وسائط النقل التي شاع استخدامها في شبكات الصوت والبيانات والفيديو fوالصور التقليدية، سواء كانت تناظرية أو رقمية بطبيعتها. يمكن تصنيف هذه الوسائط إلى فئتين مميزتين، الأولى تشمل جميع الوسائط السلكية، والتي يشار إليها أيضًا باسم الوسائط المقيدة أو الموجهة أو المحددة. تتضمن الفئة الثانية جميع الوسائط اللاسلكية، والتي يشار إليها أيضًا بغير الموجهة.

يركز هذا الفصل على الكابلات المزدوجة المقرونة والكابلات المحورية والألياف الضوئية، كوسط موجه والبث عبر الأقمار الصناعية بالموجات الميكروية والاتصالات الخلوية بالأشعة تحت الحمراء والبلوتوث كوسط غير موجه.

أهداف الفصل

بعد دراسة واستيعابه هذا الفصل، سوف تكون قادرًا على:

- فهم أهمية اختيار وسط النقل المناسب في نقل إشارات البيانات.
- التمييز بين وسط النقل الموجه وغير الموجه.
- وصف وسائط النقل الموجهة وغير الموجهة المختلفة.
- شرح خصائص النقل العامة للأوساط الموجهة وغير الموجهة.
- تحديد مجال تطبيق كل نوع من وسائط النقل بشكل عام.
- تحديد وسط النقل المناسب لتطبيقات محددة.

وسط الإرسال Transmission Medium

وسط الإرسال هو أي مادة أو مساحة خالية يمكن استخدامها لنشر الإشارات المناسبة، عادةً في شكل موجات كهرومغناطيسية (بما في ذلك الموجات الضوئية) أو موجات صوتية، بين المرسل والمستقبل. يتم تحديد خصائص وجودة نقل البيانات من خلال طبيعة الإشارة وطبيعة الوسط.

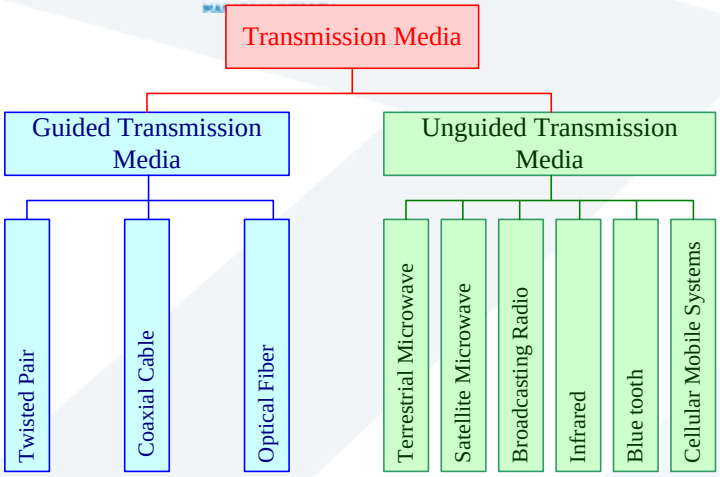
يجب أن يتم اختيار وسط الإرسال الأكثر فعالية لتطبيق معين في سياق عدد من الاعتبارات التصميمية الرئيسية بما في ذلك:

- سعة النطاق الترددي Bandwidth capability، فكلما زادت سعة النطاق الترددي، زاد معدل البيانات الذي يمكن ارساله في الوسط.
- الأداء بوجود الخطأ Error performance **يشير** إلى عدد أو نسبة الأخطاء التي يتم تلقيها حين استخدام الوسط في عملية الإرسال.
- القدرة على التعامل مع الإشارات التناظرية أو الرقمية.
- عدد المستقبلات – يمكن استخدام الوسط الموجه لإنشاء وصلة من نقطة إلى نقطة، أو وصلة من نقطة إلى عدة نقاط..
- مسافة النقل ضمن الوسط وتشير إلى الحد الأدنى والحد الأقصى للمسافة بين الأجهزة التي يمكنها حمل البيانات بينما لا تزال هذه البيانات قابلة للاسترداد.
- التكلفة بما في ذلك تكلفة الاستملاك والتشغيل والصيانة والترقية أو الاستبدال.
- تأخير الانتشار Propagation delay يشير إلى طول الوقت المطلوب لإشارة للانتقال من المرسل إلى المستقبل عبر نظام الإرسال.
- الأمان Security ، في السياق يعالج حماية البيانات من التنصت أثناء مرورها عبر الوسط.
- القوة الميكانيكية، تنطبق هذه المشكلة على الوسط الموجه، وهي تشمل مقدار الانحناء والالتواء الذي يمكن للموصلات تحمله، بالإضافة إلى مقدار الوزن أو الإجهاد الطولي الذي يمكنها تحمله دون كسر . في أنظمة الموجات الهوائية، يجب تثبيت الأطباق العاكسة والهوائيات والأجهزة الأخرى بشكل آمن للتعامل مع الرياح والقوى الطبيعية الأخرى.
- عوامل أخرى مثل التوافر المحلي والأبعاد المادية.

تصنيف وسائط النقل

يمكن تصنيف وسائط النقل على أنها موجهة أو غير موجهة. في الوسائط الموجهة، يتم توجيه الموجات على طول وسط صلب مثل كبل الكابلات المعدنية المزدوجة، والكابل المحوري، وكابل الألياف الضوئية. الغلاف الجوي والفضاء الخارجي من الأمثلة على الوسائط

غير الموجهة التي توفر وسيلة لنقل الإشارات الكهرومغناطيسية ولكنها لا توجهها؛ وعادة ما يشار إلى هذا الشكل من أشكال النقل باسم النقل اللاسلكي.



الشكل (1): تصنيف أوساط النقل

بعض الاعتبارات الترددية المتعلقة بأوساط النقل

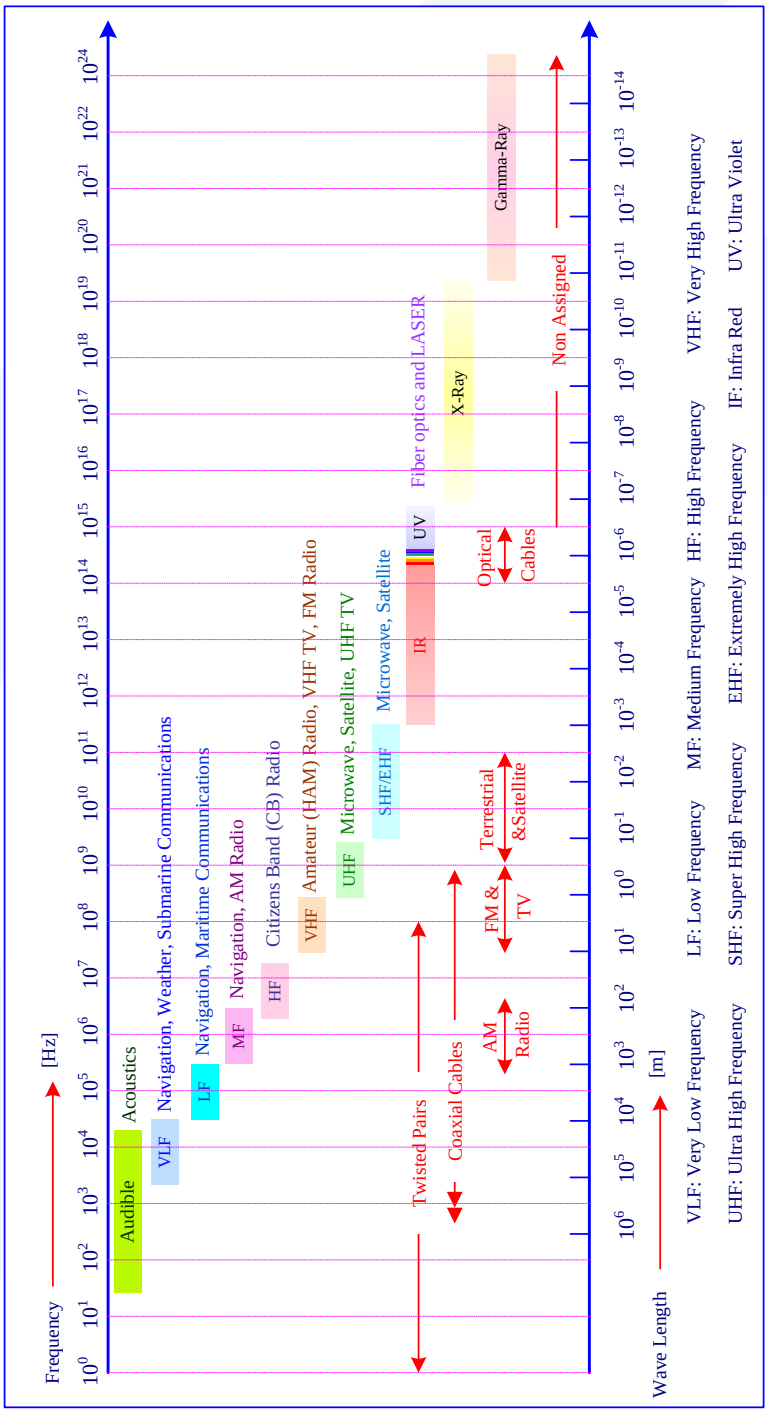
يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي من موجات راديوية منخفضة التردد للغاية تبلغ 30 هرتزًا، بأطوال موجية تقارب ضعف قطر الأرض، إلى أشعة كونية عالية التردد تزيد عن 10 ملايين تريليون هرتز، بأطوال موجية أصغر من نواة الذرة. وعلى الرغم من أن الطيف الكهرومغناطيسي يمثل نطاقًا هائلاً من الترددات، إلا أن جميع الترددات ليست مناسبة للاتصالات البشرية. فبينما تتراوح ترددات الصوت البشري في الغالب بين 100 هرتز و8000 هرتز؛ تبلغ الطاقة في طيف الكلام ذروتها عند حوالي 500 هرتز، مع وجود معظم النطق بترددات أعلى. ويمكن للأذن البشرية التمييز بين الإشارات المنخفضة مثل 20 هرتز والمرتفعة مثل 20 كيلو هرتز، وتكون أكثر حساسية في النطاق من 1000 هرتز إلى 3000 هرتز. وتوفر شبكات الهاتف العامة، كما ناقشنا سابقًا، نطاقًا صوتيًا موثوقًا به وخامًا يبلغ 4 كيلو هرتز؛ مع 3300 هرتز (200 هرتز إلى 3500 هرتز) قابلة للاستخدام لنقل الإشارة. يوفر هذا النطاق من الترددات نطاقًا من الوضوح يعتبر جيدًا، وإن لم يكن كاملاً. نظرًا للمشاكل المتعلقة بالترددات المنخفضة جدًا والعالية جدًا، فإننا نستخدم في المقام الأول منتصف الطيف الكهرومغناطيسي للاتصال بأجزاء الراديو والميكروويف والأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي من الطيف. نقوم بذلك عن طريق تعديل سعات وترددات ومراحل الموجات الكهرومغناطيسية. النطاق الترددي هو في الواقع مقياس للفرق بين أدنى وأعلى الترددات التي يتم حملها. يوفر كل نطاق من نطاقات الاتصالات كميات مختلفة من النطاق الترددي، بناءً على نطاق الترددات التي يغطيها. كلما ارتفع في الطيف، زاد نطاق الترددات المعنية.

في نظام الكابلات الكهربائية، يعتمد نطاق ترددات الناقل على طبيعة الوسط ومتطلبات التطبيقات المدعومة. على سبيل المثال، يمكن أن يدعم زوج الكابلات المقرون نطاقات تردد تتراوح بين 10 هرتز إلى 105 هرتز، ويمكن أن يدعم الكابل المحوري نطاقات تردد تتراوح بين 106 هرتز إلى 108 هرتز. يُعرف النطاق الفعلي للترددات التي تدعم اتصالاً معينًا باسم نطاق التمرير، والذي يتم تحقيقه من خلال استخدام مرشحات تحديد النطاق. يوضح الشكل (2) الطيف الكهرومغناطيسي ومكان عمل بعض وسائط النقل المختلفة.

وسط الإرسال الموجه

بالنسبة لوسط الإرسال الموجه، تعتمد سعة الإرسال، من حيث معدل البيانات أو عرض النطاق الترددي، بشكل حاسم على المسافة وعلى ما إذا كان الوسط من نقطة إلى نقطة أو من نقاط متعددة.

يشير مصطلح الوسط الموجه إلى حقيقة أن الإشارة موجودة داخل مسار مادي مغلق. تُعرف أيضًا باسم الأنظمة الموصلة، وتستخدم الوسائط السلكية عمومًا موصلًا معدنيًا أو زجاجيًا يعمل على توصيل أو حمل شكل من أشكال الطاقة الكهربائية أو الكهرومغناطيسية أو الضوئية. على سبيل المثال، تعمل أنظمة الكابلات المقرونة والمحورية على توصيل الطاقة الكهربائية، باستخدام وسط نحاسي؛ تعمل أنظمة الألياف الضوئية على توصيل الضوء أو الطاقة الضوئية، باستخدام موصل زجاجي أو بلاستيكي عمومًا.



الشكل (2): التوزع الطيفي لأوساط النقل

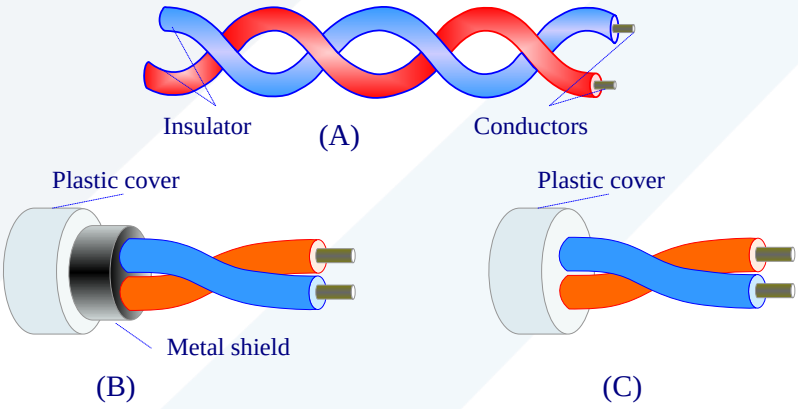
الكابلات المقرونة Twisted Pair Cables

تم استخدام الكابلات المقرونة لتوصيل الهواتف بالمبادلات المحلية منذ اختراع الهواتف، وقد تغير الحجم والسمك ولكنها في الأساس هي نفسها كما كانت في أوائل القرن العشرين.

إن الكابلات المقرونة ذات الزوج المقرون أقل تكلفة بكثير من غيرها من وسائل النقل الموجهة المستخدمة بشكل شائع، كما أنها أسهل في التعامل معها وأكثر محدودية من حيث معدل البيانات والمسافة.

الوصف المادي للكابلات المقرونة

تتكون الكابلات المقرونة من سلكين نحاسيين معزولين مرتبين في نمط حلزوني منتظم كما هو موضح في الشكل (3-أ). هناك نوعان من الكابلات المقرونة: الكابلات غير المحجوبة UTP unshielded Twisted Pair الشكل (3-ب) والكابلات المحجوبة shielded Twisted Pair STP الشكل (3-ج). تحتوي الكابلات المحجوبة على غلاف معدني إضافي حول الكابلات الداخلية مما يقلل من التداخل الراديوي والتداخل الكهرومغناطيسي، ويحيط هذا أحيانًا بجميع الأزواج أو قد يحيط بكل زوج على حدة مما يعطي حجمًا أكبر للكابل.

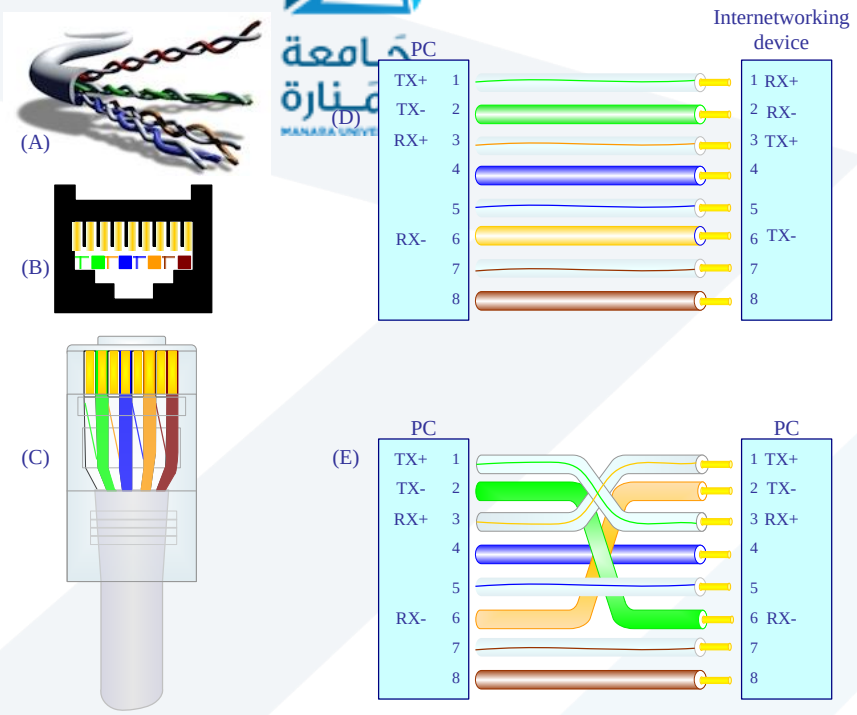


الشكل (3): وصف عام لكابلات الزوج المقرونة

تعمل أزواج الكابلات كحلقة اتصال واحدة. يختلف عدد كابلات الزوج المقرونة الفعلية الموجودة في غلاف واحد، حيث يبلغ عدد الكابلات المستخدمة لتوصيل الشبكات 4 أزواج (8 أسلاك) بشكل عام، ولكن الكابلات الموضوعة في الطريق لتغذية الهواتف قد تحتوي على مئات أو آلاف أزواج الكابلات. يتم تحديد كل كابل من خلال اللون الرئيسي للكابل ولون التتبع. يفيد القرن في تقليل التداخلات بين الأزواج والتداخل الكهرومغناطيسي EMI وتداخل التردد اللاسلكي RFI بين الأزواج المتجاورة في الكابل.

تستخدم الكابلات المقرونة وصلات RJ وتعني Registered Jack تحدد أنواع RJ كلاً من نوع المقبس أو المقبس (أنثى) والموصل (ذكر). أكثر أنواع موصلات RJ شيوعًا هي كما يلي:

- الوصلة RJ-11: مكونة من 4 أسلاك أو 6 أسلاك لتوصيل الهواتف.
- الوصلة RJ-45: مكونة من 8 أسلاك يستخدم مع كابلات مقرونة لتوصيل أجهزة الكمبيوتر ولوحات الحائط ولوحات التوصيل ومكونات الشبكات الأخرى. يوضح الشكل (4) طرق توصيل الكابلات مقرونة باستخدام RJ45.
- الوصلة RJ-48 : مكونة من 8 أسلاك يستخدم مع كابلات مقرونة لتوصيل خطوط خدمة البيانات الرقمية T1 (DDS) و56 كيلوبايت.



الشكل (4): طرق توصيل كابلات الزوج المجدول (أ) كابل الزوج المجدول، (ب) موصل RJ 45 أنثى، (ج) موصل RJ 45 ذكر، (د) التوصيل المباشر باستخدام المعيار A568 و(هـ) التوصيل المتقاطع باستخدام المعايير من A568 إلى B 568

فئات الكابلات المزدوجة المقرونة TP Category

تنقسم الكابلات المزدوجة المقرونة إلى فئات مختلفة تختلف في عدد اللفات لكل قدم وجودتها، مما يسمح للفئات الأعلى بنقل البيانات بسرعات أعلى، على سبيل المثال، تحتوي كابلات الفئة 3 على لفتين لكل قدم بينما تحتوي كابلات الفئة 5 على 12 لفة لكل قدم.

يلخص الجدول (1) الحد الأقصى لمعدل البيانات والتطبيق المعتاد لفئات الكابلات.

الجدول (5.1): فئات الكابلات المقرونة المجمعة.

Category	Maximum data rate	Usual application
CAT 1	Up to 1 Mbps (1MHz)	▪ Voice telephony ▪ Long-range Ethernet and DSL, operating at 10Mbps Integrated Services Digital Network (ISDN)
CAT 2	4 Mbps	▪ token-ring LANs
CAT 3	16 Mbps	▪ Voice and LAN applications include 10Mbps Ethernet and 4Mbps token-ring LANs.
CAT 4	20 Mbps	▪ Used in 16 Mbps Token Ring Otherwise not used much
CAT 5	100 Mbps 1000 Mbps (4 pair)	▪ LAN applications include 100BASE-TX, 1000BASE-T. ATM, CDDI, and No longer supported; replaced by 5E
CAT 5E	1000 Mbps (10000 Mbps prototype)	▪ LAN applications include 100BASE-TX, 1000BASE-T. ATM, CDDI, and Gigabit Ethernet Offers better near-end crosstalk than CAT 5
CAT 6	Up to 400 MHz	▪ Super-fast broadband applications Most popular cabling for new installs

CAT 6E	Up to 625 MHz (field-tested to 500 MHz)	▪ Support for 10 Gigabit Ethernet (10GBASE-T)
CAT 7	600-700 MHz 1.2 GHz in pairs with special connector	▪ Ultra Fast Ethernet ▪ Full-motion video Teleradiology Government and manufacturing environments Shielded system
CAT 8	*Up to 2 GHz (*up to 40 Gbps)	▪ for high data transmission speeds

تطبيقات الكابلات المقرونة

- في الهاتف، حيث يتم توصيل أجهزة الهاتف بمبدلة الهاتف المحلية. داخل المبنى، يتم توصيل كل هاتف أيضًا بزوج مقرون، والذي يذهب إلى فرع تبادل خاص داخلي PBX دعم حركة الصوت باستخدام حركة المرور التناظرية الرقمية. في المودم، تتعامل الكابلات المقرونة مع حركة المرور الرقمية.
- الإشارات الرقمية، حيث يتم استخدام الكابلات داخل المبنى لشبكة المنطقة المحلية LAN تكون معدلات البيانات عادةً 10 و100 ميجابايت في الثانية. مؤخرًا؛ تم تنفيذ معدلات بيانات تزيد عن 1000 ميجابايت في الثانية. في التطبيقات طويلة المدى، يمكن استخدام الكابلات المقرونة بمعدلات بيانات تبلغ 4 ميجابايت في الثانية أو أكثر.

خصائص إرسال الكابلات المقرونة

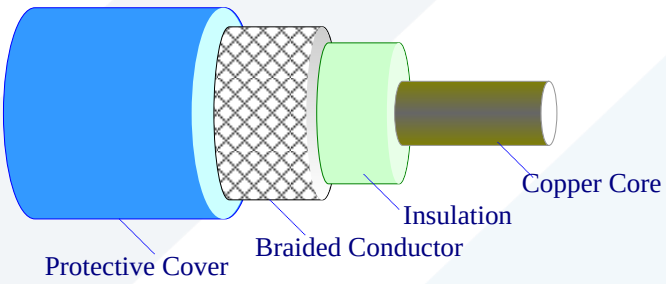
- تنقل الكابلات المقرونة الإشارات التناظرية والرقمية. إن الكابلات المقرونة محدودة من حيث المسافة وعرض النطاق ومعدلات البيانات (عند مقارنتها بوسائل النقل الموجهة الأخرى).
- تتطلب الكابلات المقرونة مسافات قصيرة بين المكررات، مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف.
- كما أن الكابلات المقرونة معرضة بشكل كبير لضوضاء النبضات والتداخل والتشويه، بما في ذلك التداخل الكهرومغناطيسي EMI، وتداخل التردد اللاسلكي RFI وتأثيرات الرطوبة والتآكل.
- التخامد للكابلات المقرونة هو دالة قوية جدًا للتردد.
- بالنسبة للإشارات التناظرية من نقطة إلى نقطة، من الممكن الحصول على عرض نطاق يصل إلى حوالي 250 كيلو هرتز. وهذا يستوعب عددًا من القنوات.
- بالنسبة للإشارات الرقمية من نقطة إلى نقطة لمسافات طويلة، من الممكن الحصول على معدلات بيانات تصل إلى بضعة ميغابت في الثانية.

الكابل المحوري Coaxial Cable

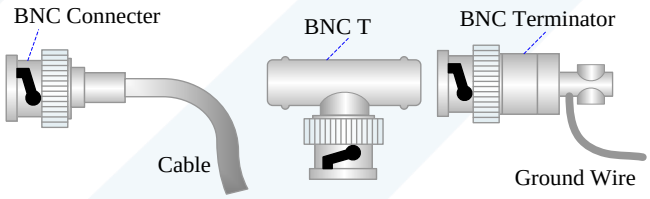
يتكون الكابل المحوري من سلك داخلي معزول واحد محاط بموصل أسطواني مغطى بدرع؛ ينقل الإشارات الكهرومغناطيسية. يصنف الكابل المحوري إلى فئتين: النطاق الأساسي (يستخدم الإشارات الرقمية) والنطاق العريض (يستخدم الإشارات التناظرية). يُعرف الكابل المحوري للنطاق الأساسي باسم الكابل 50 أوم المستخدم عادةً للنقل الرقمي، بينما يكون الكابل المحوري للنطاق العريض عبارة عن كابل 75 أوم ويستخدم عادةً للنقل التناظري.

الوصف المادي للكابل المحوري

- يعمل على نطاق أوسع من الترددات.
- يتكون من موصل أسطواني خارجي مجوف يحيط بموصل داخلي واحد. يتم تثبيت الموصل الداخلي في مكانه إما بواسطة حلقات عازلة متباعدة بانتظام أو مادة عازلة صلبة. الموصل الخارجي مغطى بغلاف أو درع كما هو موضح في الشكل (5).
- يبلغ قطر الكابل المحوري الواحد ما بين 0.4 إلى حوالي 1 بوصة.
- الكابل المحوري أقل عرضة للتداخل والتداخل من الكابلات المقرونة.
- يمكن استخدامه على مسافات أطول ويدعم المزيد من المحطات والخطوط المشتركة.
- الكابل المحوري هو أكثر وسائط النقل تنوعًا ويتمتع باستخدام واسع النطاق في مجموعة متنوعة من التطبيقات.



الشكل (5): بنية الكابل المحوري



الشكل (6): وصلات الكابل المحوري النحيف

تطبيقات الكابل المحوري

- في التلفزيون – توزيع إشارات التلفزيون على المنازل الفردية – تلفزيون الكابل.
- نقل اشارات الهاتف لمسافات طويلة – كان الكابل المحوري تقليديًا جزءًا مهمًا من شبكة الهاتف لمسافات طويلة. باستخدام تقنية تقسيم التردد المتعدد FDM، يمكن للكابل المحوري نقل أكثر من 10000 قناة صوتية في وقت واحد.
- روابط أنظمة الكمبيوتر قصيرة المدى – باستخدام الإشارات الرقمية؛ يمكن استخدام الكابل المحوري لتوفير قنوات إدخال/إخراج عالية السرعة على أنظمة الكمبيوتر.
- شبكة المنطقة المحلية LAN يمكن للكابل المحوري دعم عدد كبير من الأجهزة مع مجموعة متنوعة من أنواع البيانات وحركة المرور، على مسافات تشمل مبنى واحدًا أو مجمعًا من المباني.

خصائص نقل الكابل المحوري

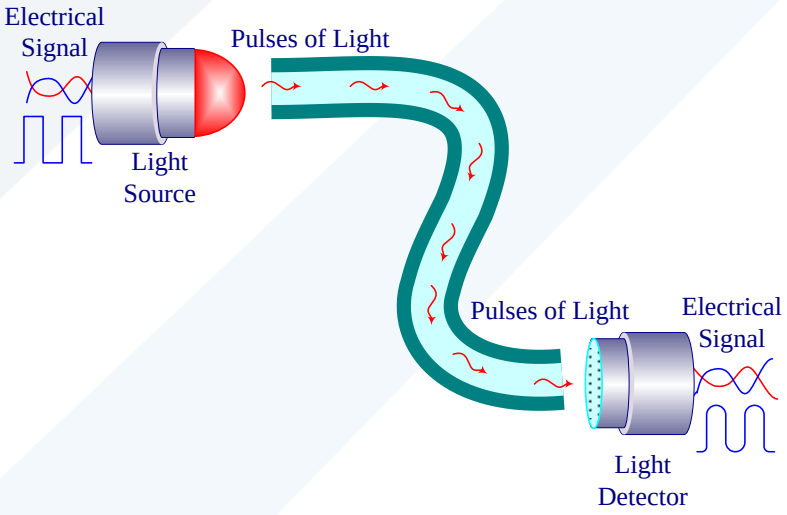
- يستخدم لنقل كل من الإشارات التناظرية والرقمية.
- له خاصية تردد متفوقة على الزوج المقرون، ويمكن استخدامه بشكل فعال عند ترددات ومعدلات بيانات أعلى.
- أقل عرضة للتداخل الكهرطيسي من الكابلات المقرونة بسبب بنيتها المحمية والمتحدة المركز.

- تتمثل القيود الرئيسية على الأداء في التخامد والضوضاء الحرارية وضوضاء التداخل.
- لنقل الإشارات التناظرية لمسافات طويلة، يلزم وجود مكبرات أو مكررات كل كيلومتر، مع ضرورة وجود مسافات أقرب إذا تم استخدام ترددات أعلى.
- يمتد الطيف القابل للاستخدام للإشارات التناظرية إلى حوالي 400 ميجا هرتز.

الألياف الضوئية Optical Fibers

في السنوات الأخيرة، تم استخدام كابلات الألياف الضوئية بشكل متزايد كوسيلة لنقل البيانات. حلت كابلات الألياف الضوئية محل الكثير من كابلات الزوج المقرون المستخدمة لنقل المحادثات الصوتية لأنها رقيقة وخفيفة الوزن، على سبيل المثال، سيحمل كابلان من الألياف الضوئية سعة أكبر من ألف كابل زوج مقرون. إذا كان طول الكابلات 1 كيلومتر، فإن وزن الزوج المقرون سيبلغ 8000 كجم أيضًا.

يتكون نظام النقل البصري من ثلاثة مكونات: مصدر الضوء، ووسيلة النقل (الألياف البصرية) التي تنقل الإشارات البصرية، والكاشف الذي يجب أن يحول الإشارات البصرية مرة أخرى إلى إشارات كهربائية كما هو موضح في الشكل (7).

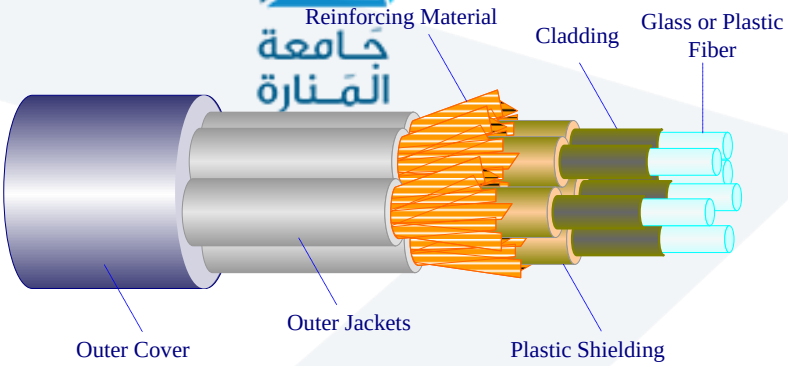


الشكل (7): الألياف الضوئية

الوصف المادي للألياف الضوئية

يتكون كابل الألياف الضوئية من ألياف زجاجية أو بلاستيكية رقيقة يمكنها حمل المعلومات بترددات في طيف الضوء المرئي وما بعده.

- تتكون الألياف الضوئية النموذجية من خيط ضيق للغاية من الزجاج أو البلاستيك رقيق مثل شعرة الإنسان يسمى اللب.
- حيط باللب طبقة متحدة المركز من الزجاج تسمى الكسوة والتي تضمن بقاء طاقة الضوء داخل الألياف بدلاً من ارتدادها إلى الخارج.
- يبلغ قطر اللب النموذجي 62.5 ميكرون (1 ميكرون = 10^{-6} متر). يبلغ قطر الكسوة عادةً 125 ميكرون



الشكل (8): المكونات الأساسية لكابل الألياف الضوئية

- يتوفر كابل الألياف الضوئية بأحجام عديدة. ويمكن أن يحتوي على زوجين من الألياف أو يمكن أن يحتوي على حزم تحتوي على أكثر من 400 أو 500 زوج من الألياف. يوضح الشكل (8) المكونات الأساسية.
- يحيط الغلاف بدرع بلاستيكي، والذي يضمن، من بين أمور أخرى، عدم إمكانية ثني الألياف إلى النقطة التي قد تنكسر عندها؛ وبالتالي يحد الدرع البلاستيكي من مقدار الضغط الذي يمكنك وضعه على ألياف معينة.
- ثم يتم تعزيز الدرع البلاستيكي بمادة تقوية أقوى بخمس مرات من الفولاذ لمنع أي تدخلات أخرى.
- تغطي الأغطية الخارجية مادة التعزيز، ويعتمد عدد ونوع الأغطية الخارجية على البيئة التي من المفترض أن يتم نشر الكابل فيها (على سبيل المثال، مدفون تحت الأرض، مستخدم في المحيط، معلق في الهواء).
- أقل الخسائر التي تم الحصول عليها باستخدام ألياف السيليكا المندمجة فائقة النقاء، ولكن من الصعب تصنيعها؛ والألياف الزجاجية متعددة المكونات ذات الخسارة الأعلى أكثر اقتصادية ولا تزال توفر أداءً جيدًا. حتى الألياف البلاستيكية باهظة الثمن ويمكن استخدامها للوصلات القصيرة المدى.
- يتم استخدام نوعين من مصادر الضوء لتوليد الضوء المستخدم في النقل – LED والليزر شبه الموصل.

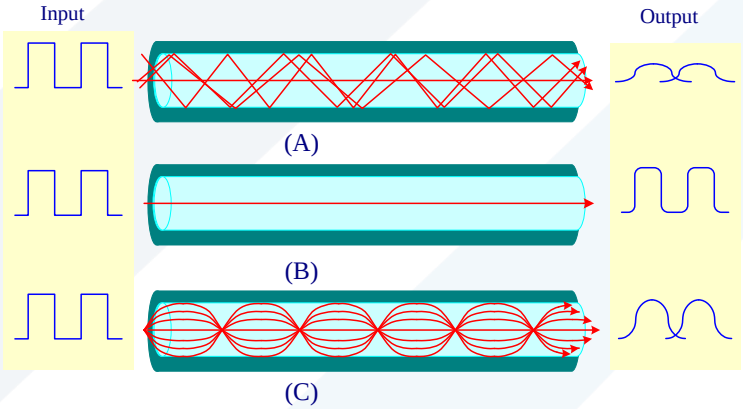
أنماط كابلات الألياف الضوئية

يُطلق على كل شعاع من الضوء يسافر عبر الألياف وضعًا. من خلال تغيير قطر الألياف يمكن تحقيق وضعين مختلفين لتشغيل النقل – الوضع الفردي والوضع المتعدد.

- كابل متعدد الأنماط Multimode: يكون الكابل متعدد الأنماط أكثر سمكًا من الكابل الفردي ويمكن أن يمر من خلاله أكثر من شعاع ضوء واحد. ولأن الشعاع يسافر بنفس السرعة ولكن كل واحد يمكن أن يسافر مسافة مختلفة، فإن الإشارة تنتشر بمرور الوقت وتسبب أخطاء في البيانات على مسافات طويلة. تُعرف هذه المشكلة بالتشتت. لتقليل هذه المشكلة، هناك نوعان مختلفان من كابلات الألياف الضوئية:
  - دليل خطوي Step-index : يتكون هذا الكابل من ألياف ضوئية واحدة وكسوة. وله قلب كبير، لذا تميل أشعة الضوء إلى الارتداد داخل القلب، وتنعكس عن الغلاف. وهذا يتسبب في اتخاذ بعض الأشعة مسارًا أطول أو أقصر عبر القلب. ويتخذ بعضها مسارًا مباشرًا دون أي انعكاسات تقريبًا بينما يرتد البعض الآخر ذهابًا وإيابًا ويتخذ مسارًا أطول. والنتيجة هي أن أشعة الضوء تصل إلى المستقبل في أوقات مختلفة. وتصبح الإشارة أطول من الإشارة الأصلية. ويتم استخدام مصادر ضوء LED القلب النموذجي: 62.5 ميكرون.

- دليل متدرج Graded-index: يتميز هذا النوع من الكابلات بتغيير تدريجي في مؤشر انكسار القلب. وهذا يتسبب في انحناء أشعة الضوء تدريجيًا إلى مسار القلب. ويمثل هذا مسارًا عاكسًا منحنيًا في الشكل (9) والنتيجة هي إشارة استقبال أفضل من تلك التي تحتوي على مؤشر خطوة. ويتم استخدام مصادر ضوء LED.

- كابل الألياف الضوئية متعدد الأوضاع الأكثر شيوعًا هو مؤشر متدرج 125/62.5. الرقم الأول هو قطر القلب والثاني هو قطر الغلاف.
- كابل النمط الفردي: يحتوي هذا النوع على مؤشرات انكسار منفصلة ومميزة للغلاف والقلب. يمر شعاع الضوء عبر القلب مع انعكاسات قليلة نسبيًا عن الغلاف. يستخدم الوضع الفردي لتشغيل مصدر واحد للضوء (لون واحد). يتطلب ليزرًا والقلب صغير جدًا: 9 ميكرون. يمكن لكابلات الوضع الفردي المتوفرة حاليًا نقل البيانات بسرعة عدة جيجابت في الثانية لمسافات تصل إلى 30 كيلومترًا.



الشكل (9): أنواع الألياف الضوئية، (أ) متعدد الأنماط بدليل خطوي، (ب) أحادي النمط و(ج) متعدد الأنماط بدليل متدرج

هناك العديد من أنواع الوصلات الضوئية. الموصل هو جهاز ميكانيكي مثبت في نهاية كبل الألياف الضوئية أو مصدر الضوء أو جهاز الاستقبال أو الهيكل مما يسمح بربطه بجهاز مماثل. يجب أن يوجه الموصل الضوء ويجمعه ويجب أن يكون من السهل توصيله وفصله عن الجهاز. الموصلات الضوئية المستخدمة بشكل شائع هي

- وصلة FC: يوفر وضعًا دقيقًا للغاية لكبل الألياف الضوئية فيما يتعلق بمصدر الضوء الخاص بالمرسل وكاشف الضوء الخاص بالمستقبل.
- وصلة SC: يوفر تكلفة منخفضة وبساطة ومتانة. توفر موصلات SC محاذاة ميكروية من خلال أطرافها الخزفية.
- وصلة LC: يتم تصنيعه بغلاف بلاستيكي وتوفر توضعا دقيقا من خلال أطرافها الخزفية.
- وصلة MT-RJ : مصنوع من غلاف بلاستيكي وتوفر توضعا دقيقا من خلال دبابيس التوجيه المعدنية والحلقات البلاستيكية.

تُستخدم جميع أنواع الموصلات هذه في كابلات الألياف الضوئية أحادية الوضع ومتعددة الأوضاع.

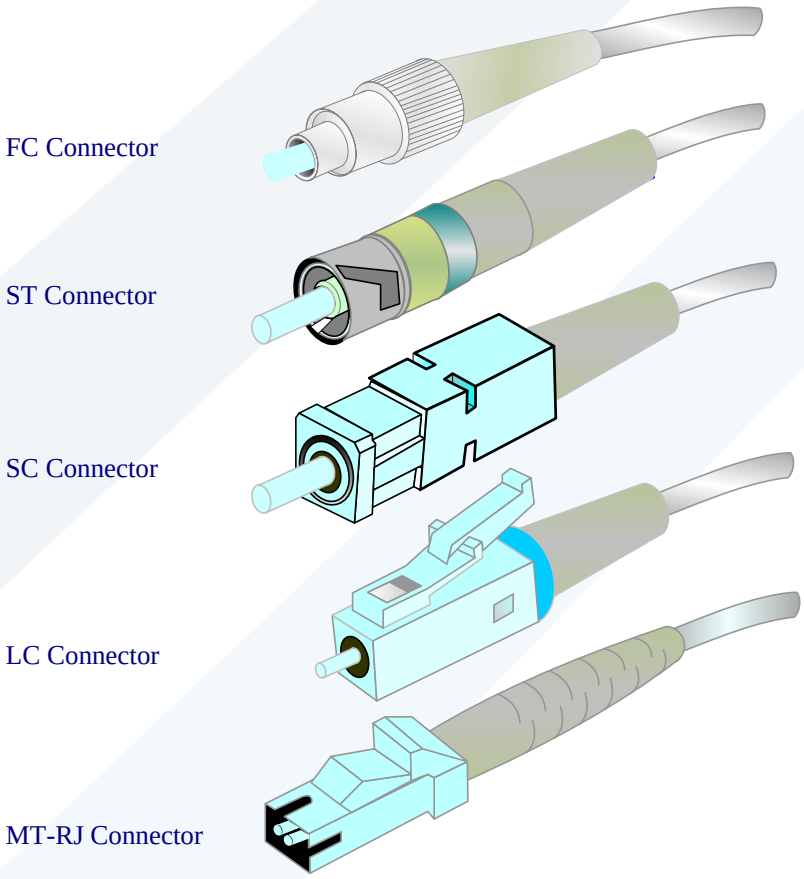
تطبيقات الألياف الضوئية

تتمتع الألياف الضوئية بالفعل باستخدام كبير في الاتصالات لمسافات طويلة، واستخدامها في التطبيقات العسكرية آخذ في النمو. وقد أدت التحسينات المستمرة في الأداء وانخفاض الأسعار، جنبًا إلى جنب مع المزايا المتأصلة للألياف الضوئية، إلى جعلها جذابة بشكل متزايد للشبكات المحلية. هناك خمس فئات لتطبيق الألياف الضوئية:

- Long-haul Trunks وصلات المسافات الطويلة: أصبحت شائعة بشكل متزايد في شبكة الهاتف. يبلغ متوسط طول الطرق الطويلة حوالي 900 ميل وتوفر سعة عالية (20000 – 60000 قناة صوتية). تتنافس هذه الأنظمة اقتصاديًا مع الموجات

الميكروية ولديها كابل محوري منخفض السعر في العديد من البلدان المتقدمة لدرجة أن الكابل المحوري يتم التخلص منه بسرعة من شبكة الهاتف.

- خطوط الهاتف لخدمة المناطق Metropolitan Trunks : يبلغ متوسط طولها 7.8 ميلاً وقد تحتوي على ما يصل إلى 100000 قناة صوتية في مجموعة خطوط الهاتف. يتم تركيب معظم المرافق على قنوات تحت الأرض ومكررات منطقة بدون مكررات، تربط بين مراكز الهاتف في منطقة حضرية أو مدينة.



الشكل (10): بعض أنواع موصلات الألياف الضوئية

- خطوط التبادل الريفية Rural-exchange Trunks : يبلغ طول الدائرة التي تربط بين المدن والقرى (25– 100) ميل. وفي الولايات المتحدة، غالبًا ما تربط بين تبادل شركات الهاتف المختلفة. تحتوي معظم هذه الأنظمة على أقل من 500 قناة صوتية. يتنافس تطبيق هذه التكنولوجيا مع مرافق الميكروويف.
- خطوط المشتركينSubscriber Loops : تعمل دوائر الألياف الضوئية مباشرة من التبادل المركزي إلى المشترك. بدأت هذه المرافق في إزاحة وصلات الكابلات المقرونة والكابلات المحورية مع تطور شبكات الهاتف إلى شبكة كاملة الخدمة قادرة على نقل ليس فقط الصوت والبيانات ولكن أيضًا الصور والفيديو. كان الاختراق الأولي للألياف الضوئية في هذا التطبيق للمشتركين التجاريين، ولكن سرعان ما بدأ الإرسال المنزلي في الظهور.
- شبكات المناطق المحلية LANs: تم تطوير المعايير وتقديم المنتجات لشبكات الألياف الضوئية التي تبلغ سعتها الإجمالية 100 ميجابت في الثانية وأكثر والتي يمكنها دعم مئات أو حتى آلاف المحطات في المباني الكبيرة جدًا.

- لا يؤثر التداخل الكهرومغناطيسي على الإشارات التي تمر عبر كبل الألياف الضوئية لأنها ليست كهربائية وهي أكثر أمانًا حيث لا تتسرب الإشارات أيضًا ولا يمكن التقاطها بواسطة مصدر خارجي.
- يعمل نظام الألياف الضوئية في نطاق يتراوح من حوالي (10) ^{14} إلى (10) ^{15} هرتز؛ ويغطي نسبة الطيف تحت الأحمر والمرئي.
- مبدأ نقل الألياف الضوئية هو أن الضوء من المصدر يدخل إلى قلب أسطواني من الزجاج أو البلاستيك. تنعكس الأشعة بزوايا ضحلة وتنتشر على طول الألياف؛ تمتص المادة المحيطة الأشعة الأخرى.
- في النقل متعدد الأوضاع، توجد مسارات انتشار حيث يحمل كل مسار طولًا ووقتًا مختلفين لعبور الألياف. يتسبب هذا في انتشار عناصر الإشارة في الوقت المناسب، مما يقلل من معدل نقل البيانات ويزيد من التشويه.
- بسبب النقل الفردي مع النقل أحادي الوضع، لا يمكن أن يحدث مثل هذا التشويه.
- يمكن لكل من الوضع الفردي والوضع المتعدد دعم عدة أطوال موجية مختلفة للضوء ويمكن استخدام مصدر ضوء الليزر أو LED.
- في الألياف الضوئية، ينتشر الضوء بشكل أفضل في ثلاث "نوافذ" مميزة بطول موجي يتركز حول 850 و1300 و1550 نانومتر (نانومتر). تستخدم معظم التطبيقات المحلية اليوم مصادر ضوء LED بطول 850 نانومتر (نانومتر). على الرغم من أن هذا المزيج غير مكلف نسبيًا، إلا أنه يقتصر عمومًا على معدلات بيانات أقل من 100 ميجابت في الثانية ومسافة بضعة كيلومترات.
- لتحقيق معدلات بيانات أعلى ومسافة أطول، يلزم مصدر LED أو ليزر بطول 1300 نانومتر. تتطلب معدلات البيانات والمسافة الأعلى مصدر ليزر بطول 1500 نانومتر.

وسائط النقل غير الموجهة Unguided Transmission Medium

بدلاً من الاعتماد على الطاقة الكهربائية، تستخدم الوسائط غير الموجهة عمومًا موجات الراديو أو الضوء التي يتم إرسالها واستقبالها عبر الفضاء، ويشار إليها باسم أنظمة الموجات الهوائية.

تشمل وسائط النقل غير الموجهة الغلاف الجوي والفضاء الخارجي المستخدم في أنظمة نقل الراديو الأرضية للميكروويف، والأقمار الصناعية، والهواتف المحمولة، وأنظمة الاتصالات الشخصية.

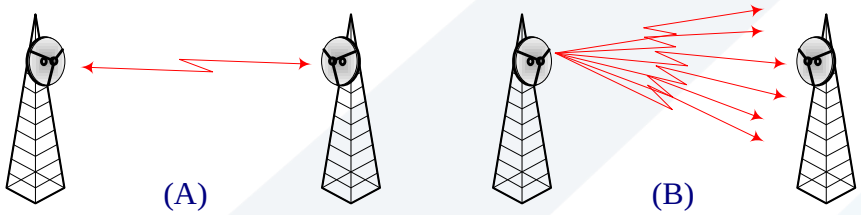
الموجات الميكروية الأرضية Terrestrial Microwave

الموجات الميكروية هي الاسم الذي يطلق على الموجات الراديوية التي تقع في نطاق التردد من 1 جيجاهرتز إلى 100 جيجاهرتز. في الواقع، تعمل أنظمة الموجات الميكروية الحالية إلى حد كبير حتى نطاق 50 جيجاهرتز. ونظرًا للطلب المتزايد على الوصول اللاسلكي إلى جميع أشكال الوسائط، يمكننا أن نتوقع رؤية العديد من التطورات في السنوات القادمة التي تستفيد من خصائص النطاق الترددي العالي لهذه النطاقات الترددية وما فوقها.

تُستخدم أنظمة الموجات الميكروية عادةً كأنظمة نقل عالية السعة من نقطة إلى نقطة في شبكات الاتصالات، مثل اتصالات شبكة الهاتف الرئيسية عالية السعة بين التبادلات الرئيسية، أو على نطاق أصغر بين المباني. تسمح الترددات العالية والطول الموجي القصير لراديو الميكروويف ببناء أنظمة راديو عالية السعة باستخدام هوائيات صغيرة نسبيًا ولكنها عالية الاتجاه. يوفر الحجم الصغير فوائد من حيث التكلفة والتركيب والصيانة.

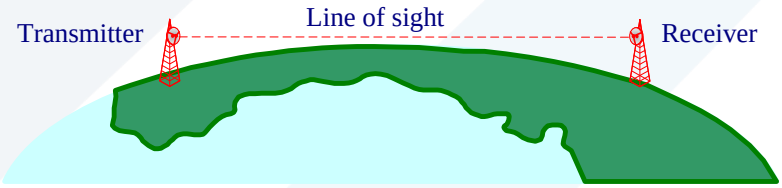
يتم تحقيق عمليات الإرسال والاستقبال بواسطة هوائي. يمكن أن يكون الهوائي:

- اتجاهي: أشعة مركزة من نقطة إلى نقطة تستخدم ترددات عالية كما هو موضح في الشكل (11-أ).
- متعدد الاتجاهات: موجات تنتشر في جميع الاتجاهات باستخدام إشارات ذات ترددات أقل كما هو موضح في الشكل (11-ب).



الشكل (11): (أ) الإرسال الاتجاهي و(ب) الإرسال متعدد الاتجاهات

تتكون أنظمة الإرسال الراديوي للميكروويف الأرضية من جهازي إرسال/استقبال راديو على الأقل متصلين بهوائيات عالية الكسب (هوائيات اتجاهية تركز الطاقة الكهرومغناطيسية أو طاقة الموجات الراديوية في حزم ضيقة) تركز في أزواج على بعضها البعض، كما هو موضح في الشكل (12).



الشكل (12): الموجات الميكروية الأرضية

المعيار المهم في التصميم هو أن الموجات الميكروية تتطلب خط رؤية وهي عبارة عن شعاع عالي الاتجاه. تتطلب الموجات الميكروية رؤية واضحة وغير معوقة، ولا يمكنها التحرك عبر أي عوائق، حتى الأشياء التي لا تعتقد أنها قد تكون عوائق، مثل أوراق الشجر. قد تعمل التقنيات التي تعتمد على خط الرؤية بشكل رائع في المناطق التي تتمتع بالتضاريس والمناخ المناسبين، وقد لا تعمل بشكل جيد حيث توجد العديد من العوائق أو حيث يوجد الكثير من الأمطار. علاوة على ذلك، فإن خط الرؤية مقيد بانحناء الأرض، مما يقطع خط الرؤية عند حوالي 144 كم.

الوصف المادي للموجات الميكروية الأرضية

- أكثر هوائيات الموجات الميكروية شيوعًا هو "الطبق" على شكل قطع مكافئ.
- يتم تثبيت الهوائي بشكل صارم ويركز شعاعًا ضيقًا لتحقيق نقل خط الرؤية إلى هوائي الاستقبال.
- عادةً ما يتم وضع هوائي الموجات الميكروية على ارتفاعات كبيرة فوق مستوى سطح الأرض من أجل توسيع النطاق بين الهوائيات والقدرة على الإرسال عبر العوائق المتداخلة.
- تتوافق المسافة القصوى بين الهوائيات مع:

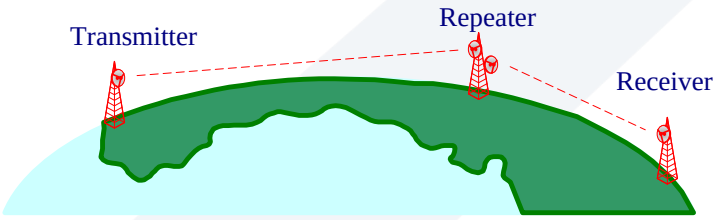
$$d = 4.14\sqrt{Kh}$$

d المسافة بين الهوائيات،

h ارتفاع الهوائي بالأمتار.

K عامل التعديل، يُفترض عادةً أن K = 3/4 عامل التعديل لانحناء الأرض.

- لتحقيق الإرسال لمسافات طويلة، يتم استخدام سلسلة من أبراج تتابع الموجات الميكروية؛ يتم ربط وصلات الموجات الميكروية من نقطة إلى نقطة معًا على المسافة المطلوبة كما هو موضح في الشكل (13).



الشكل (13): تحقيق نقل لمسافات طويلة باستخدام المكررات

تطبيقات الموجات الميكروية الأرضية

تتمثل معظم تطبيقات الموجات الميكروية الأرضية في:

- خدمة الاتصالات لمسافات طويلة كبديل للكابل المحوري أو الألياف الضوئية. تتطلب مرافق الموجات الميكروية عددًا أقل بكثير من المكبرات أو المكررات، ولكنها تتطلب نقلًا في خط البصر. عادةً لكل من نقل الصوت والتلفزيون.
- وصلات قصيرة من نقطة إلى نقطة بين المباني؛ يمكن استخدام هذا للتلفزيون ذي الدائرة المغلقة كوصلة بيانات بين شبكات المنطقة المحلية. يمكن استخدامه أيضًا لتطبيق ما يسمى بالتجاوز. يمكن للشركة إنشاء وصلة موجات ميكروية لمرفق اتصالات لمسافات طويلة في نفس المدينة، متجاوزة شركة الهاتف المحلية.
- تم توسيع دور الموجات الميكروية بشكل كبير منذ ثمانينيات القرن العشرين، مع تطبيقات في كل مجال من مجالات الشبكات تقريبًا. فيما يلي أمثلة للأنظمة اللاسلكية التي تعتمد على الموجات الميكروية:
  - شبكات المنطقة الواسعة اللاسلكية ((WWANs
  - شبكات المنطقة الحضرية اللاسلكية ((WMANs
  - شبكات المنطقة المحلية اللاسلكية ((WLANs
  - شبكات المنطقة الشخصية اللاسلكية ((WPANs

خصائص نقل الموجات الميكروية الأرضية

- يغطي نقل الموجات الميكروية جزءًا كبيرًا من الطيف الكهرومغناطيسي. يتراوح التردد المشترك بين 2 – 40 جيجاهرتز.
- كلما زاد التردد المستخدم، زادت إمكانية عرض النطاق الترددي ومعدلات البيانات المحتملة الأعلى.
- كما هو الحال مع أي نظام نقل، فإن المصدر الرئيسي لفقدان الطاقة يرجع إلى التخامد.

$$Loss = 10\log(4\pi d/\lambda)^2 \ [dB]$$

حيث،

d المسافة

λ لطول الموجي

- تختلف مسافة المكرر مع الموجات الميكروية وفقًا لتردد النقل. في أنظمة الموجات الميكروية التي تعمل في نطاقات 2 جيجاهرتز و4 جيجاهرتز و6 جيجاهرتز، يمكن فصل الأبراج بمسافة 70 كم. في التخصيصات ذات التردد الأعلى، مثل 18 جيجاهرتز و23 جيجاهرتز و45 جيجاهرتز، يجب أن تكون المسافة أقصر بكثير، في نطاق 1.5 إلى 8 كم. هذه قضية مهمة في تصميم الشبكة، واعتمادًا على النطاق الذي تريد نشر هذه المرافق فيه؛ يمكن أن يكون لها تأثير كبير على الاستثمار المطلوب.
- يخضع الميكروويف لعدم الدقة في البيئة المادية. يمكن للمعادن في المنطقة، والأمطار، والضباب، وهطول الأمطار، وعدد من العوامل الأخرى أن تسبب انعكاسات وبالتالي تدهورات وأصداء. كلما ابتعدنا عن الأنظمة الأرضية، كان الأداء أفضل لأن هناك تدخلًا أقل من الأنظمة الأرضية الأخرى، مثل التلفزيون والراديو وأنظمة الشرطة والجيش.
- مع الشعبية المتزايدة للميكروويف، فإن تداخل مناطق الإرسال والتداخل يشكلان دائمًا خطرًا. لذلك يتم تنظيم تخصيص نطاقات التردد بشكل صارم. قبل أن تتمكن من نشر نظام ميكروويف خارج الحرم الجامعي الخاص بك، يجب أن تحصل على ترخيص لتشغيل هذا النظام في جميع البيئات.
- النطاق الأكثر شيوعًا للاتصالات طويلة المدى هو نطاقات 4 جيجاهرتز – 6 جيجاهرتز. نطاق 11 جيجاهرتز قيد الاستخدام الآن. يستخدم نطاق 12 جيجاهرتز كمكون لنظام تلفزيون الكابل. يستخدم رابط الميكروويف لتوفير إشارات التلفزيون لتركيبات CATV المحلية. ثم يتم توزيع الإشارة على المشتركين. يستخدم نطاق 22 جيجاهرتز للروابط القصيرة من نقطة إلى نقطة بين المباني.
- ترددات الميكروويف الأعلى أقل فائدة للمسافات الأطول بسبب زيادة التخامد ولكنها كافية تمامًا للمسافات الأقصر. كلما زادت الترددات، كلما كانت الهوائيات المطلوبة أصغر وأرخص.

الموجات الميكروية عبر الأقمار الصناعية Satellite Microwave

يتم استخدام قمر الاتصالات لربط اثنين أو أكثر من أجهزة إرسال/استقبال الموجات الميكروية الأرضية (أجهزة الإرسال والاستقبال)، والمعروفة باسم محطات الأرض أو المحطات الأرضية. عادة ما يتم نقل الاتصالات الدولية بواسطة الأقمار الصناعية التجارية.

تعمل الأقمار الصناعية من خلال طيف تردد الموجات الميكروية. لذا فإن إشارات الموجات الميكروية والقمر الصناعي هي في الواقع نفس الشيء. الفرق هو أنه في حالة الأقمار الصناعية، يتم وضع المكررات لزيادة الإشارات على منصات تقع في مدار مرتفع بدلاً من الأبراج الأرضية.

الموجات الميكروية عبر الأقمار الصناعية الوصف المادي

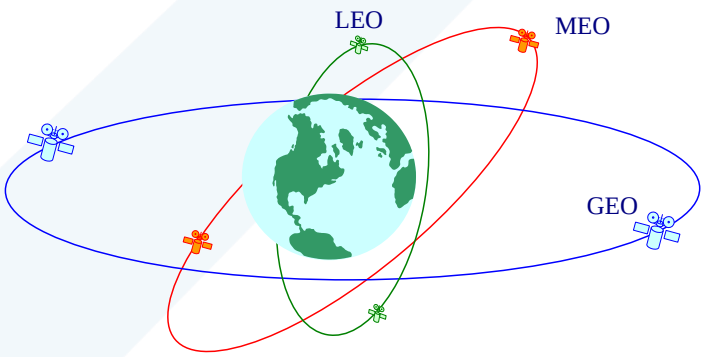
مستويات الطاقة المرتبطة باتصالات الأقمار الصناعية أكبر من مستويات شبكات الموجات الميكروية الأرضية. إذا كان القمر الصناعي يتمتع بقدر كبير من الطاقة، فلن تحتاج إلى طبق كبير على الأرض.

المستجيب transponder هو المكون الرئيسي للاتصالات في القمر الصناعي. فهو يقبل الإشارة القادمة من المحطة الأرضية ثم يحول تلك الإشارة إلى تردد آخر. عندما تكون الإشارة على التردد الجديد، يتم تضخيمها وإعادة بثها إلى وصلة هابطة.

البصمة Footprint هي شيء مهم جدًا وفريد من نوعه للأقمار الصناعية، فهي تشير إلى مساحة الأرض التي تغطيها أشعة القمر الصناعي.

وهناك عامل مهم آخر يؤثر على استخدام وتطبيق الأقمار الصناعية وهو المدارات التي تعمل فيها. وكما هو موضح في الشكل (14) هناك ثلاثة مدارات رئيسية: المدار الجغرافي المتزامن ((GEO، والمدار الأرضي المتوسط ((MEO، والمدار الأرضي المنخفض (LEO). وأغلب أقمار الاتصالات المستخدمة هي مدارات جغرافية ثابتة.

- أقمار صناعية ثابتة **GEO Satellites**: يتم إطلاق قمر صناعي ثابت إلى ارتفاع 22300 ميل (36000 كم) فوق خط الاستواء. تتمتع أقمار صناعية ثابتة بميزة توفير أكبر بصمة من أنواع الأقمار الصناعية. يمكن لثلاثة أقمار صناعية ثابتة فقط تغطية العالم بالكامل، ولكن عامل التأخير في الوصول إلى هذا المدار يمنع استخدامه مع النطاق المتزايد باستمرار من التطبيقات في الوقت الفعلي والتي تكون حساسة للغاية للتأخير. تساوي فترة دوران القمر الصناعي فترة دوران الأرض على ارتفاع 34784 كم.
- أقمار المدار الأرضي المتوسط **MEO Satellites**: تدور أقمار المدار الأرضي المتوسط على ارتفاع يتراوح بين 6200 و9400 ميل (10000 إلى 15000 كيلومتر). تكون أقمار المدار الأرضي المتوسط أقرب إلى الأرض من أقمار المدار الأرضي الثابت، لذا فهي تتحرك عبر السماء بسرعة أكبر بكثير في حوالي ساعة إلى ساعتين. ونتيجة لذلك، للحصول على تغطية عالمية، تحتاج إلى المزيد من الأقمار الصناعية (حوالي خمسة أضعاف) مقارنة بأنظمة المدار الأرضي الثابت. ولكن نظرًا لأن الارتفاع أقل، فإن التأخير يقل أيضًا.
- أقمار المدار الأرضي المنخفض LEO Satellite: تشبه أقمار المدار الأرضي المنخفض شبكات الهاتف الخلوي إلى حد كبير، إلا أنه في حالة أقمار المدار الأرضي المنخفض، تتحرك الخلايا وكذلك المستخدمون. تدور أقمار المدار الأرضي المنخفض على ارتفاع يتراوح بين 400 و1000 ميل (640 إلى 1600 كيلومتر). يمكن استخدام أقمار المدار الأرضي المنخفض مع محطات أصغر من الأقمار الصناعية الأخرى لأنها أقرب كثيرًا إلى الأرض (أقرب 40 مرة). ولكن مرة أخرى، نظرًا لقربها، فأنت بحاجة إلى عدد أكبر بكثير من الأقمار الصناعية منخفضة المستوى مقارنة بالأقمار الصناعية الأخرى للحصول على نفس التغطية (حوالي 20 ضعفًا من الأقمار الصناعية منخفضة المستوى مقارنة بالأقمار الصناعية المستقرة جغرافيًا و5 أضعاف من الأقمار الصناعية منخفضة المستوى مقارنة بالأقمار الصناعية متوسطة المستوى). يجب أن يكون المستخدم قادرًا دائمًا على رؤية قمر صناعي منخفض المستوى واحد على الأقل بعيدًا تمامًا عن الأفق.



الشكل (14): مدارات الأقمار الصناعية

- يستقبل القمر الصناعي الإرسال على نطاق تردد واحد (الارتباط الصاعد)، ويضخم الإشارة أو يكررها، ويرسلها على تردد آخر (الارتباط الهابط). يعمل القمر الصناعي المداري الفردي على عدد من نطاقات التردد، تسمى قنوات المرسلات المستجيبة، أو ببساطة أجهزة الإرسال والاستقبال.
- في اتصالات الأقمار الصناعية، تحدد تخصيصات التردد دائمًا نطاقين مختلفين: أحدهما يستخدم للارتباط الصاعد من محطة أرضية إلى قمر صناعي والآخر للارتباط الهابط من قمر صناعي إلى محطة أرضية.

النطاقات الترددية الأكثر هيمنة المستخدمة في الاتصالات هي النطاق C، والنطاق Ku، والنطاق Ka، والنطاق L.

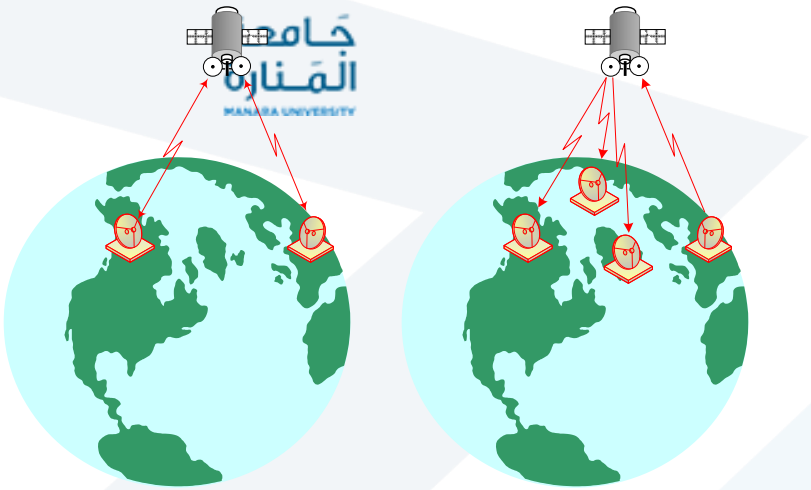
- النطاق C: ينقل النطاق C الارتداد حول نطاق 6 جيجا هرتز والارتباط الهابط حول نطاق 4 جيجا هرتز.

- النطاق Ku: تم تقديم النطاق Ku في أوائل الثمانينيات، وأحدث ثورة في كيفية استخدامنا لاتصالات الأقمار الصناعية. يعمل على التردد الصاعد عند حوالي 14 جيجا هرتز وعلى التردد الهابط عند حوالي 11 جيجا هرتز.
- نطاق Ka: يوفر نطاق Ka نطاق تردد عريض يبلغ حوالي 30 جيجا هرتز للصاعد وحوالي 20 جيجا هرتز للهابط. يعني هذا النطاق الترددي الموسع أن أقمار النطاق Ka أفضل استعدادًا من الأقمار الصناعية العاملة في نطاقات أخرى لاستيعاب الطب عن بعد والتعليم عن بعد والمراقبة عن بعد والألعاب التفاعلية الشبكية.
- نطاق L: يعمل نطاق L في نطاق 390 ميجا هرتز إلى 1550 ميجا هرتز، ويدعم تطبيقات متنقلة وثابتة مختلفة. يُستخدم على نطاق واسع لدعم شبكات المحطات الطرفية ذات الفتحة الصغيرة جدًا VSAT الاتصالات المتنقلة، بما في ذلك المحطات الطرفية المحمولة مثل أجهزة المساعد الرقمي الشخصي PDA والأجهزة المركبة والتطبيقات البحرية.

تطبيقات الموجات الميكروية عبر الأقمار الصناعية

من بين التطبيقات المهمة للأقمار الصناعية:

- توزيع التلفزيون: الأقمار الصناعية مناسبة تمامًا لتوزيع التلفزيون ويتم استخدامها على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم. في استخدامها التقليدي، توفر الشبكة البرامج من موقع مركزي. ثم يتم نقل البرنامج إلى القمر الصناعي ثم بثه إلى عدد من المحطات، والتي تقوم بعد ذلك بتوزيع البرامج على المشاهدين الأفراد. توزع خدمة البث العام PBS برامجها التلفزيونية بشكل شبه حصري باستخدام القنوات الفضائية. تستخدم شبكات تجارية أخرى أيضًا الأقمار الصناعية بشكل كبير وهي نظام التلفزيون الكبلي الذي يستقبل معظم بثه من الأقمار الصناعية. أحدث تطبيق لتكنولوجيا الأقمار الصناعية لتوزيع التلفزيون هو البث المباشر عبر الأقمار الصناعية DBS حيث يتم نقل إشارات الفيديو عبر الأقمار الصناعية مباشرة إلى المستخدم المنزلي. البث المباشر عبر الأقمار الصناعية مجدٍ اقتصاديًا، وهناك عدد كبير من القنوات في الخدمة بالفعل في كل من الأنظمة التناظرية والرقمية.
- البث الهاتفي لمسافات طويلة: خطوط الهاتف من نقطة إلى نقطة بين مكاتب التبادل الهاتفي في شبكات الهاتف العامة. إنها الوسيلة المثالية لخطوط الاتصالات الدولية عالية الاستخدام وهي قادرة على المنافسة مع الأنظمة الأرضية في الروابط الدولية طويلة المدى.
- شبكات الأعمال الخاصة: يمكن لمزود الأقمار الصناعية تقسيم السعة الإجمالية إلى عدد من القنوات وتأجير هذه القنوات لمستخدمي الأعمال الأفراد. يمكن للمستخدم المجهز بالهوائيات في عدد من المواقع استخدام قناة فضائية لشبكة خاصة. تقليديًا، كانت مثل هذه التطبيقات باهظة الثمن ومحدودة بالمؤسسات الأكبر حجمًا ذات المتطلبات عالية الحجم. التطور الأخير هو نظام المحطة الطرفية ذات الفتحة الصغيرة جدًا VSAT، والذي يوفر بديلاً منخفض التكلفة. تم تجهيز عدد من محطات المشتركين بهوائيات VSAT منخفضة التكلفة. باستخدام بعض البروتوكولات، تشترك هذه المحطات في سعة إرسال الأقمار الصناعية للإرسال إلى محطة محورية. تتبادل المحطة المحورية الرسائل مع كل مشترك بالإضافة إلى نقل الرسائل بين المشتركين.



الشكل (15): (أ) الإرسال من نقطة إلى نقطة و(ب) الإرسال الإذاعي

- يرتبط تطبيق الموجات الميكروية عبر الأقمار الصناعية بمدار القمر الصناعي على سبيل المثال:
  - التطبيقات الرئيسية لأنظمة المدار الأرضي الثابت هي البث في اتجاه واحد، وأنظمة VSAT، والروابط من نقطة إلى نقاط متعددة. لا توجد عوامل تأخير تدعو للقلق مع البث في اتجاه واحد من أنظمة المدار الأرضي الثابت. ونتيجة لذلك، يتم توزيع التلفزيون الدولي إلى حد كبير عبر شبكات الأقمار الصناعية هذه اليوم.
  - التطبيقات الرئيسية للأقمار الصناعية المدارية المنخفضة هي في الشبكات الإقليمية، لدعم الصوت المحمول والبيانات منخفضة السرعة، في نطاق 9.6 كيلوبت في الثانية إلى 38 كيلوبت في الثانية.
  - التطبيقات الرئيسية للأقمار الصناعية المدارية المنخفضة هي دعم الصوت المحمول والبيانات منخفضة السرعة والبيانات عالية السرعة.
- يجب ملاحظة العديد من خصائص القمر الصناعي:
  - تضمن المسافة الطويلة تأخير الانتشار بحوالي ربع ثانية بين الإرسال من محطة أرضية والاستقبال إلى محطة أرضية أخرى. هذا التأخير ملحوظ في المحادثة الهاتفية العادية. كما يطرح مشكلة في مجالات التحكم في الخطأ والتحكم في التدفق.

إن الموجات الميكروية عبر الأقمار الصناعية هي في الأساس مرفق بث. يمكن للعديد من المحطات الإرسال إلى القمر الصناعي، ويمكن للعديد من المحطات استقبال إرسال من القمر الصناعي. ويمكن تصميمها لاحتياجات خاصة كإرسال من نقطة إلى نقطة. يوضح الشكلان (15-أ) و (ب) النوعين.

البث الإذاعي Broadcasting Radio

على عكس الإرسال الإذاعي الموجَّه الذي يكون اتجاهيًا، فإن البث الراديوي هو بث متعدد الاتجاهات. تحتاج الإشارات في البث الإذاعي إلى هوائيات أبسط، وقد لا يتم تثبيتها بشكل صارم على محاذاة ميكروية.

تستخدم أنظمة البث الحالية مثل الراديو والتلفزيون تقنيات تم تطويرها في الأصل في أربعينيات القرن العشرين. وعلى الرغم من إجراء بعض التحديثات مثل التلفزيون الملون والصوت الاستريو ونظام البيانات الراديوية RDS، فإن الأنظمة الحالية لا تلبي متطلبات الجودة في المستقبل. مشكلة أخرى مع هذه الأنظمة هي أنها لا تستخدم الترددات الراديوية بكفاءة كما تفعل التقنيات الأكثر حداثة.

يغطي نطاق الترددات الراديوية للبث من 30 ميجا هرتز إلى 1 جيجا هرتز راديو FM وكذلك تلفزيون UHF و .VHFيستخدم هذا النطاق أيضًا لعدد من تطبيقات شبكات البيانات.

يعد النطاق من 30 ميجا هرتز إلى 1 جيجا هرتز نطاقًا فعالًا لاتصالات البث. على عكس حالة الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض، فإن الغلاف الأيوني شفاف للموجات الراديوية التي يبلغ ترددها حوالي 30 ميجا هرتز. يقتصر الإرسال على خط البصر، ولن تتداخل أجهزة الإرسال البعيدة مع بعضها البعض بسبب الانعكاس من الغلاف الجوي. تكون موجات البث الراديوي أقل حساسية للتخامد الناتج عن هطول الأمطار.

المصدر الرئيسي للضعف لموجات البث الراديوي هو التداخل متعدد المسارات. يمكن أن يؤدي الانعكاس من الأرض والمياه والأشياء الطبيعية أو من صنع الإنسان إلى إنشاء مسارات متعددة بين الهوائيات. غالبًا ما يكون هذا التأثير واضحًا عندما يعرض استقبال التلفزيون صورًا متعددة أثناء مرور طائرة.

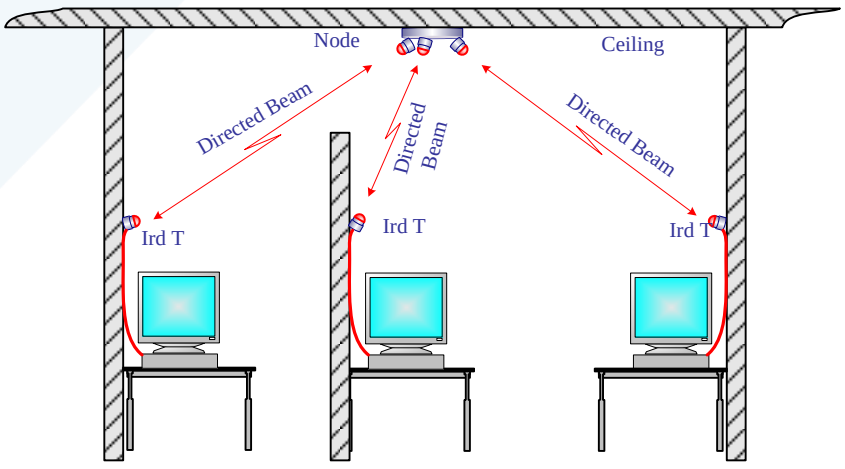
الأشعة تحت الحمراء Infrared

يتم تحقيق الاتصال بالأشعة تحت الحمراء باستخدام أجهزة إرسال/استقبال (أجهزة إرسال واستقبال) تعمل على تعديل الضوء تحت الأحمر غير المتماسك. الفرق الأكثر أهمية بين نقل الأشعة تحت الحمراء والموجات الميكروية هو أن الأولى لا تخترق الجدران. وبالتالي فإن مشكلة الأمان والتداخل التي تواجهها أنظمة الموجات الميكروية غير موجودة. لا توجد مشكلة في تخصيص الترددات مع الأشعة تحت الحمراء، لأنه لا يلزم الترخيص.

يقع جزء الأشعة تحت الحمراء أسفل جزء الضوء المرئي (400 – 700) نانومتر (نانومتر). تكون الخسارة أقل عند طول موجي أعلى مما يسمح بمعدلات بيانات أكبر على مسافات أطول.

يتم استخدام ثلاث تقنيات نقل بديلة لنقل البيانات بالأشعة تحت الحمراء:

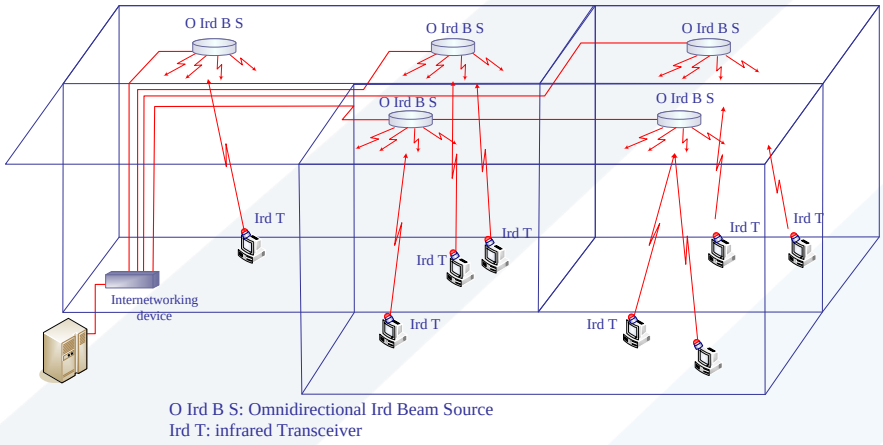
- يتضمن الشعاع الموجه اتصالات من نقطة إلى نقطة. يقتصر نطاق الاتصالات على الطاقة المرسلة واتجاه التركيز. مع التركيز المناسب، يمكن تحقيق مدى يصل إلى كيلومتر واحد. يمكن استخدام هذه التكنولوجيا في شبكات LAN ذات الحلقات الرمزية والترابطات بين المباني.



Ird T: infrared Transceiver

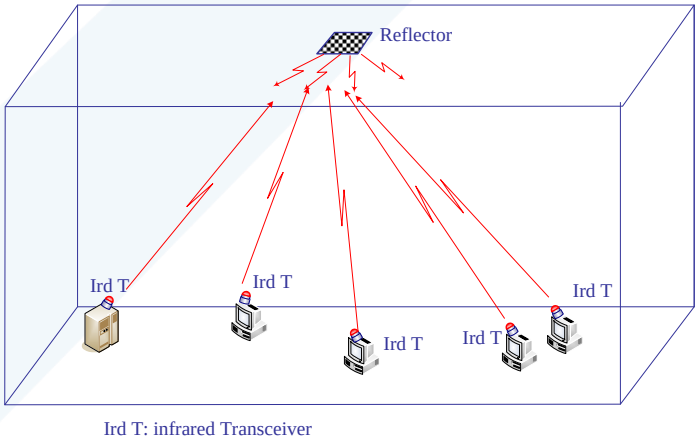
الشكل (16): تقنية الشعاع الموجه بالأشعة تحت الحمراء

- تكون التكوين متعدد الاتجاهات من محطة أساسية واحدة تستخدم عادةً على الأسقف. ترسل المحطة الأساسية إشارة متعددة الاتجاهات، والتي يمكن التقاطها بواسطة جميع أجهزة الإرسال والاستقبال. تستخدم أجهزة الإرسال والاستقبال بدورها شعاعًا اتجاهيًا مركّزًا مباشرة على وحدة المحطة الأساسية



الشكل (17): تقنية التكوين متعدد الاتجاهات بالأشعة تحت الحمراء

- في طريقة التكوين المنتشر، تقوم أجهزة إرسال الأشعة تحت الحمراء بتوجيه الإشارة المرسلة إلى سقف عاكس منتشر. ينعكس الضوء بشكل منتشر ويتشتت في الغرفة من مصدر بزاوية واسعة أو بقعة منتشرة تتشكل على عاكس. يتم استقباله بواسطة وحدات محمولة للكشف عن الضوء بزاوية واسعة تقع في أي مكان في الغرفة. تتمثل مزايا هذا التكوين في عدم وجود متطلبات محاذاة وأن هناك حرية في الحركة. تنعكس الإشارة في جميع الاتجاهات من هذا السقف. يمكن لأجهزة الاستقبال بعد ذلك التقاط الإشارة المرسلة.



الشكل (18): تقنية التكوين المنتشر للأشعة تحت الحمراء

إن استخدام الأشعة تحت الحمراء له العديد من المزايا:

- إن عرض النطاق الترددي للاتصالات بالأشعة تحت الحمراء كبير وبالتالي يمكن تحقيق معدلات بيانات عالية.
- كما أنه نظرًا لأن الأشعة تحت الحمراء تنعكس عن الأجسام ذات الألوان الفاتحة، فمن الممكن تغطية كامل مساحة الغرفة بانعكاسات من الأجسام. ونظرًا لأن الأشعة تحت الحمراء لا يمكنها اختراق الجدران والعقبات المعتمة الأخرى، يصبح من الصعب جدًا على أي خصم تنفيذ هجوم سلبي أو التنصت. وبالتالي، فإن الاتصال بتقنية الأشعة تحت الحمراء أكثر أمانًا.

- كما يمكن استخدام شبكات الأشعة تحت الحمراء المنفصلة في الغرف المجاورة دون أي تأثيرات تداخل.
- أخيرًا، تعد معدات الاتصال بالأشعة تحت الحمراء أرخص بكثير من الاتصال بالموجات الميكروية.

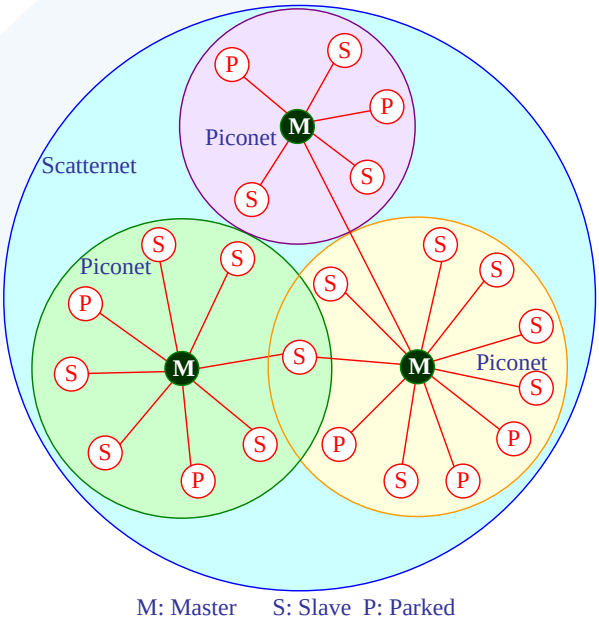
إن العيب الرئيسي لتقنية الأشعة تحت الحمراء هو أن الإشعاع الخلفي من ضوء الشمس والإضاءة الداخلية يمكن أن يسبب تداخلًا في أجهزة استقبال الأشعة تحت الحمراء.

5.6.5 تقنية البلوتوث

تتيح تقنية البلوتوث استبدال الكابلات الخاصة التي تربط جهازًا رقميًا واحدًا مثل أجهزة الكمبيوتر المحمولة والهواتف الخلوية والطابعات ولوحات المفاتيح والعديد من الأجهزة الأخرى بجهاز آخر باستخدام رابط راديوي عالمي قصير المدى.

تُسمى شبكة البلوتوث اللاسلكية الصغيرة التي تربط، على سبيل المثال، جهاز كمبيوتر المستخدم بأجهزته الطرفية بشبكة المنطقة الشخصية PAN في شبكة المنطقة الشخصية، يمكنك ربط ما يصل إلى ثمانية أجهزة بلوتوث معًا في علاقة رئيسية وتابعة، تسمى piconet. في piconet، يصبح أحد الأجهزة هو الجهاز الرئيسي المعين للشبكة مع ما يصل إلى سبعة أجهزة تابعة متصلة مباشرة. يتحكم الجهاز الرئيسي في الشبكة ويقوم بإعدادها، بما في ذلك تحديد مخطط التنقل في الشبكة. قد يكون للجهاز الرئيسي ما مجموعه 256 اتصالاً، ولكن يمكن أن يكون سبعة فقط نشطين في أي وقت. يمكن للجهاز الرئيسي تعليق اتصاله بجهاز تابع عن طريق إيقافه وأخذ جهاز تابع آخر. تعمل الأجهزة في شبكة piconet Bluetooth على نفس القناة وتتبع نفس تسلسل التنقل الترددي.

على الرغم من أن جهازًا واحدًا فقط قد يعمل كجهاز رئيسي لكل شبكة، إلا أن جهازًا تابعًا في إحدى الشبكات يمكنه العمل كجهاز رئيسي لشبكات أخرى، وبالتالي إنشاء سلسلة من الشبكات. ويمكن لجهاز أن يعمل كجهاز تابع في شبكتين من نوع piconet من خلال ربط سلسلة من شبكات piconet، يمكنك إنشاء شبكات متناثرة، والتي تسمح بربط العديد من الأجهزة على مسافة ممتدة. تسمح هذه العلاقة أيضًا بطوبولوجيا ديناميكية قد تتغير أثناء أي جلسة معينة: عندما يتحرك جهاز نحو أو بعيدًا عن الجهاز الرئيسي في الشبكة، تتغير الطوبولوجيا وبالتالي علاقات الأجهزة في الشبكة المباشرة. يوضح الشكل (19) العلاقة بين شبكات piconet وشبكات المتناثرة.



الشكل (19): طوبولوجيا شبكة البلوتوث

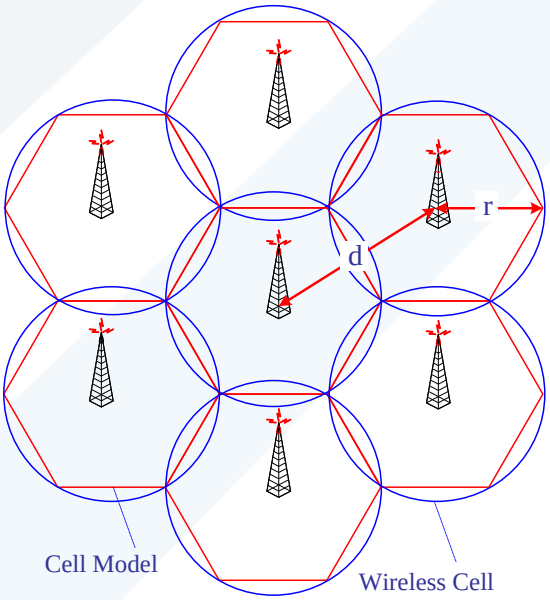
تستخدم أنظمة البلوتوث نفس نطاق التردد 2.4 جيجاهرتز الخالي من الترخيص مثل شبكات WLAN ويمكنها التعايش في نفس المنطقة. لا تتداخل إشارات WLAN ذات النطاق العريض وإشارات البلوتوث ذات النطاق الضيق كثيرًا.

تحدد الأجهزة التي تدعم البلوتوث موقع بعضها البعض تلقائيًا، ولكن إجراء اتصالات مع أجهزة أخرى وتكوين شبكات قد يتطلب تدخل المستخدم. في بعض الأحيان تتصل تلقائيًا، وهي الميزة التي تسمى الاتصال اللاواعي.

أنظمة الهاتف المحمول الخلوية Cellular Mobile Systems

يصف مصطلح الخلوية كيف يتم تقسيم كل منطقة جغرافية من التغطية إلى خلايا. داخل كل من هذه الخلايا يوجد جهاز إرسال لاسلكي ومعدات تحكم. يتم تعيين نطاق تردد صغير لكل خلية وتخدمها محطة أساسية. يتم تعيين ترددات مختلفة للخلايا المجاورة لتجنب التداخل.

يتم توجيه كل خلية على شكل قرص العسل كما هو موضح في الشكل (20)، بحيث يمكن الحفاظ على طاقة الإرسال اللاسلكي المطلوبة في محطة الإرسال الأساسية منخفضة. يؤدي هذا إلى تحديد المنطقة التي تكون فيها إشارة الراديو فعالة، وبالتالي تقليل المنطقة التي يمكن أن يحدث فيها تداخل بين إشارات الراديو.



الشكل (20): النمط السداسي لشبكة الهاتف الخلوي

يتم اختيار النمط السداسي للخلية بحيث تصبح المسافة d بين مركزي أي خليتين متجاورتين هي نفسها. تُعطى المسافة d بواسطة

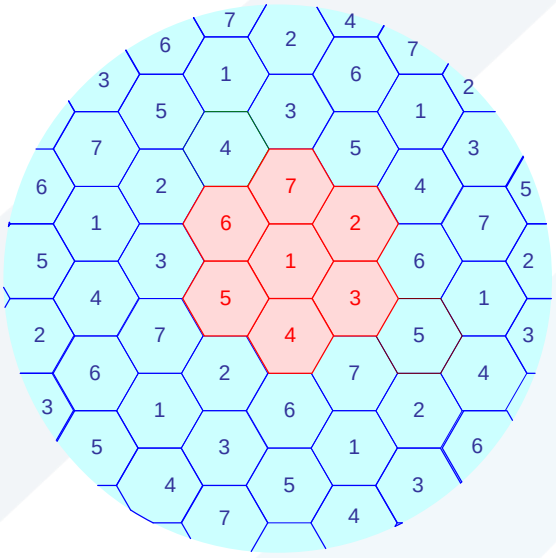
حيث r هو نصف قطر الخلية اللاسلكية. القيمة العملية النموذجية لنصف قطر الخلية هي 3 كم إلى 5 كم.

يختلف الشكل الدقيق للخلايا (نموذج الخلية) في الواقع كثيرًا بسبب العديد من العوامل، بما في ذلك تضاريس الأرض، والعدد المتوقع للمكالمات في منطقة معينة، وعدد الأشياء التي صنعها الإنسان (مثل المباني في منطقة وسط المدينة)، وأنماط حركة المرور لمستخدمي الهاتف المحمول. وهذا يزيد من عدد مستخدمي الهاتف المحمول.

يتم وضع هوائي أقل قوة في مكان استراتيجي، لكنه ليس في وسط الخلية، كما قد تظن. ثم يستخدم البرج هوائيات اتجاهية تشير إلى الداخل إلى كل خلية مجاورة. باستخدام جهاز الإرسال ذي الحجم المناسب، يتم أيضًا استخدام الترددات في خلية معينة في الخلايا القريبة. إن مفتاح النجاح يكمن في التأكد من عدم إمكانية وضع الخلايا التي تستخدم نفس التردد بجوار بعضها البعض، الأمر الذي من شأنه أن

يؤدي إلى آثار سلبية. يوضح الشكل (21) مبدأ إعادة استخدام الترددات. والفائدة من ذلك هي أن مزود الخدمة قادر على إعادة استخدام الترددات المخصصة له باستمرار طالما تم تصميم النظام بعناية..

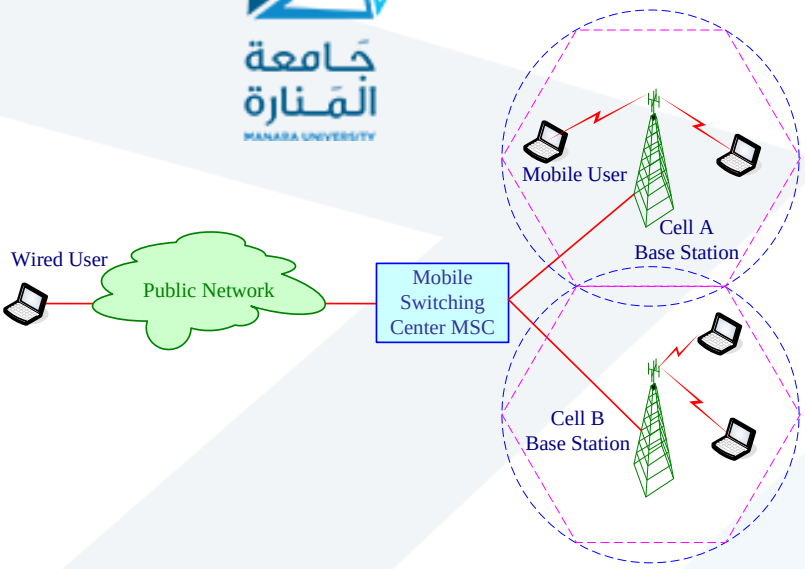
فبينما يتحرك الهاتف المحمول عبر الخلايا، في السيارة على سبيل المثال، فإن معدات تبديل الخلايا تتبع القوة النسبية للإشارة وتقوم بالتسليم عندما تصبح الإشارة أكثر قوة إلى موقع خلية مجاور. وإذا أصبحت خلية معينة مزدحمة للغاية، فإن المشغلين لديهم القدرة على تقسيم الخلايا بشكل أكبر.



الشكل (21): توضيح لمبدأ إعادة استخدام التردد

تصل الإشارات من محطة المستخدم المتنقلة إلى هوائي يوفر واجهة RF للبنية التحتية اللاسلكية الثابتة، وتوفر هذه البنية التحتية بدورها واجهة للبنية التحتية السلكية الثابتة. وفي حالة الأنظمة الخلوية، تكون البنية التحتية السلكية الثابتة عادةً عبارة عن شبكة هاتفية عامة (PSTNأو شبكة بيانات عامة PSDN وفي حالة أنظمة WLAN، تكون الشبكة الثابتة عادةً عبارة عن شبكة LAN إيثرنت سلكية في مبنى مكاتب أو مجمع مكاتب أو حرم جامعي.

وفي حالة الأنظمة الخلوية، تتضمن البنية التحتية اللاسلكية الثابتة هوائيات ومحطات قاعدة راديو BSs ومراكز تبديل متنقلة MSCs وخطوط أرضية (عادةً، كابل متحد المحور أو ألياف بصرية) لإجراء اتصالات بين محطات القاعدة ومراكز التبديل المتنقلة وكذلك بين مراكز التبديل المتنقلة وشبكة PSTN وستشمل البنية التحتية اللاسلكية الثابتة أيضًا أجهزة كمبيوتر ومجموعة متنوعة من الأجهزة اللازمة لتشغيل وصيانة الشبكة الخلوية. ستكون جميع المعدات والبرامج الموجودة، من الهوائيات إلى اتصالات الشبكة الهاتفية العامة، مملوكة ومدارة من قبل مزود الخدمة الخلوية. تنقل شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية عبر الهواء عن طريق محطات أساسية أو نقاط وصول ترسل ترددًا لاسلكيًا؛ تتصل المحطات الأساسية بمحور أو خادم إيثرنت. يمكن تسليم المستخدمين النهائيين المتنقلين بين نقاط الوصول، كما هو الحال في نظام الهاتف الخلوي، على الرغم من أن نطاقهم يقتصر عمومًا على بضع مئات من الأقدام. يوضح الشكل (22) اتصال مستخدمين متنقلين في أنظمة خلوية. تتصل المحطة الأساسية بمركز التبديل المتنقل MSC يخدم مركز التبديل المتنقل العديد من المحطات الأساسية وهو مسؤول عن توصيل المكالمات بين الوحدات المتنقلة. يتصل مركز التبديل المتنقل أيضًا بنظام الهاتف العام لتمكين الاتصال بين مشترك ثابت ومشترك متنقل. يدير مركز التبديل المتنقل أيضًا التنقل والمحاسبة عن فواتير المستخدم.



الشكل (22): الاتصال بين مستخدمين للهاتف المحمول في الأنظمة الخلوية.