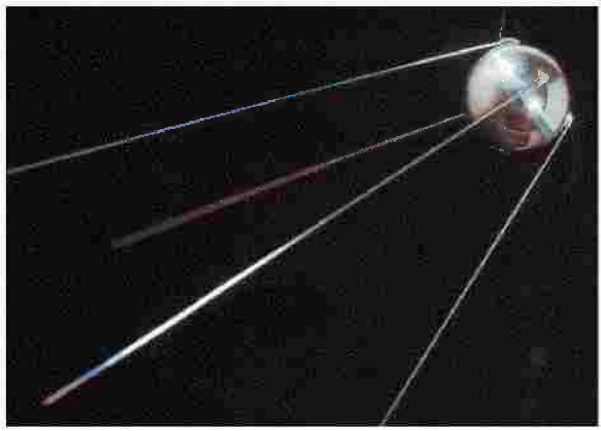
الاتصالات عبر الأقمار الصناعية

أول الأصوات التي تم إرسالها من الفضاء من خلال آلة من صنع الإنسان هي نغمات بيب - بيب من القمر الصناعي الروسي سبوتنيك1 والذي أطلق في 4 أكتوبر 1957م ولحقت الولايات المتحدة بها بإطلاق القمر الصناعي أكسبلورر في 31 يناير 1958م.

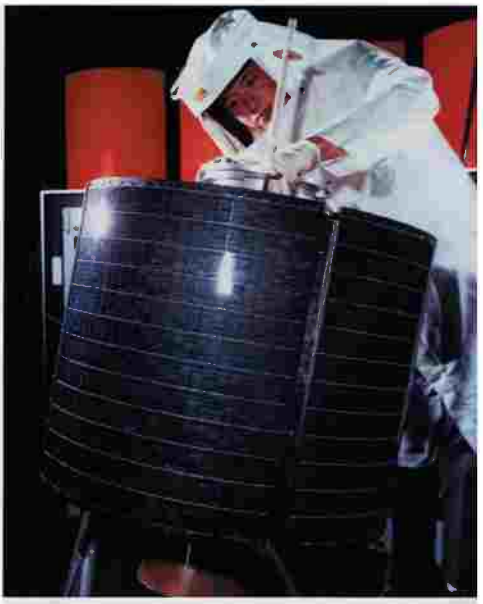


الشكل (8-1) القمر الصناعي سبوتنيك

أما أول قمر صناعي للاتصالات فكان القمر الصناعي Echo-1 الذي هو عبارة عن كرة تنفخ في الفضاء لتصبح بقطر (30) متراً مطلية بالمغنيسيوم تعكس الإشارة اللاسلكية أطلق عام 1962م إلى مدار متوسط تم من خلاله نقل أول صور تلفزيونية عبر الأقمار الصناعية.

الشكل (8-2) القمر الصناعي أيكو -1

أما أساس عمل القمر الصناعي المتزامن للاتصالات فقد نشر لأول مرة من الكاتب العلمي البريطاني أرثر كلارك عام 1945م وبالرغم من كون هذه المقالة كانت تُعد في ذلك الوقت خيالاً علمياً



الشكل (8-3) القمر الصناعي إنتلسات -1

إلا أنه لم يمض عقدين من الزمن حتى أطلق أول قمر صناعي للاتصالات يستخدم المدار المتزامن وهو القمر الصناعي سينكوم -3 الذي أطلق عام 1964م أعقبه إطلاق أول قمر صناعي تجاري للاتصالات في 6 أبريل 1965م من شركة كومسات الأمريكية وكانت هذه الشركة تمثل الولايات المتحدة في المنظمة العالمية للاتصالات الفضائية (إنتلسات).

وأطلق على هذا القمر الصناعي في المدار المتزامن اسم إنتلسات-1 أو Early Bird واستقر في المدار المتزامن على ارتفاع 35860 كيلو متراً فوق المحيط الأطلسي ووفر نقل 240 مكالمة هاتفية في آن واحد على جانبي المحيط الأطلسي.

وخلال (4) سنوات تم إطلاق (6) أقمار صناعية أكبر حجماً استقرت في المدار المتزامن فوق المحيط الأطلسي والهادي والهندي.

ومع إن الولايات المتحدة كانت الرائدة في إنشاء شبكة الأقمار الصناعية العالمية، إلا أن كندا كانت الأولى في استخدام الأقمار الصناعية للاتصالات المحلية.

وأطلقت شركة تيلسات كندا أول قمر صناعي في نوفمبر 1972م أطلق عليه اسم Anik-A1 وأعقبته بإطلاق قمرين من النوع نفسه خلال الأعوام الثلاثة اللاحقة ثم أُطلقت أجيال أخرى من الأقمار الصناعية لخدمات الهاتف والبيانات والتلفزيون.

واستخدمت الصواريخ لإطلاق جميع الأقمار الصناعية حتى نهاية السبعينيات التي شهدت إطلاق أول مركبة فضائية يتم إطلاقها

بصورة متكررة عرفت باسم Space Shuttle وكانت هناك آمال أن تخفض المركبة الجديدة من تكاليف إطلاق الأقمار الصناعية من خلال حملها إلى مدار على ارتفاع 320 كيلومتراً ثم تطلق بواسطة محرك صاروخي يحمل القمر الصناعي إلى المدار المتزامن.

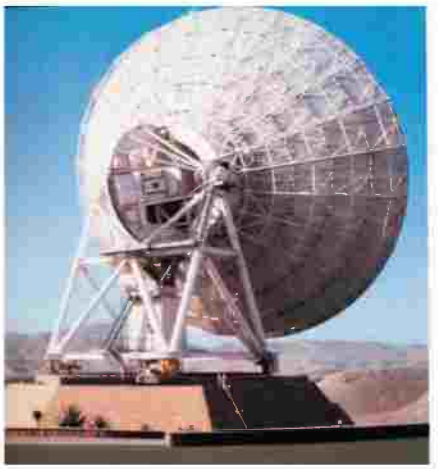
إلا أن حادثة انفجار مكوك الفضاء تشالنجر عام 1986م والإجراءات التي تم اتخاذها لمزيد من الآمان في رحلات المكوك أوقفت استخدام المكوك في عمليات إطلاق الأقمار الصناعية للأغراض التجارية.

الشكل (8-4) القمر الصناعي عربسات -1 ب ينطلق من مكوك الفضاء تشالنجر

ولتحقيق السرعة المدارية يجب حمل القمر الصناعي فوق الغلاف الجوي ويدفع بالسرعة التي تحقق القوة الطاردة المركزية التي تعادل قوة الجاذبية عند ذلك الارتفاع، فلو كانت السرعة عالية جداً فإن

القمر الصناعي سيخرج إلى الفضاء مفلتاً من جاذبية الأرض أما إذا كانت السرعة منخفضة فإن القمر الصناعي سيسقط مرة أخرى إلى الأرض بسبب الجاذبية ، وعندما تتعادل السرعة الاتجاهية مع قوة الجاذبية فإن القمر الصناعي سيدور حول الأرض في مدار دائري وتنخفض الجاذبية بارتفاع المدار؛ لذلك فالأقمار الصناعية ذات المدار العالي لا تحتاج إلى الدوران حول الأرض بسرعة عالية كما هي الحال في الأقمار الصناعية ذات المدار المنخفض.

وعند ارتفاع 35680 كيلومتراً فإن القمر الصناعي يحقق سرعة مدارية هي 11006 كيلومتر /ساعة وعند هذه السرعة فإن القمر الصناعي يكمل دورة حول الأرض كل 24 ساعة وهذا هو القمر الصناعي المتزامن مع دوران الأرض والقمر الصناعي المتزامن يستقر فوق خط الاستواء ويبدو ثابتاً في السماء لذلك يطلق عليه أيضاً اسم (المدار الثابت).



الشكل (8-5) أحد هوائيات الاتصال بأقمار انتلسات بقطر 30 متراً

وحتى نهاية السبعينيات كانت جميع الأقمار الصناعية للاتصالات تستخدم المدى الترددي 4/6 جيجاهرتز حيث يستخدم المدى الترددي 4 جيجا هرتز للوصلة الهابطة (من القمر الصناعي إلى الأرض) والمدى الترددي 6 جيجا هرتز للوصلة الصاعدة (من الأرض إلى القمر الصناعي) وهو ما يطلق عليه أيضاً الحزمة C.

ونظراً لكون هذه الحزمة مستخدمة أيضاً في اتصالات المايكروويف الأرضية فقد أصبح استخدامها محدوداً نظراً للتداخلات؛ لذلك فإن الجيل الثاني من الأقمار الصناعية بدأ باستخدام المدى 11/14 جيجا هرتز الذي أصبح ممكناً من خلاله استخدام هوائيات أصغر حجماً وأقل تكلفة وهذه الحزمة تعرف أيضاً بالمدى Ku.

إن على الأقمار الصناعية استخدام المدى الترددي المحدود المخصص لها وبالإضافة إلى ذلك فإن الأقمار يجب أن يكون بينها فاصل فضائي كافٍ لتجنب التداخلات بين الأقمار الصناعية؛ لذا فهناك عدد محدود من الأقمار الصناعية يمكن أن يستقر في جزء محدد من المدار المتزامن وهذه الأقمار يمكن أن تعمل إمّا بالحزمة C أو الحزمة Ku أو كليهما.

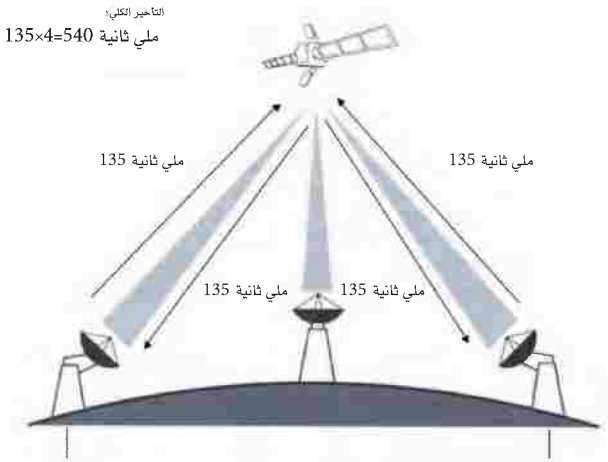
فمثلاً حسب المعايير الأمريكية فإن الفاصل المداري بين الأقمار الصناعية العاملة بحزمة C هو 4 درجات أما بالنسبة للحزمة Ku فإن الفاصل المداري هو درجتان.

ويحمل القمر الصناعي للاتصالات أجهزة إلكترونية تدعى المتلقي المستجيب Transponder يستقبل الإشارات من المحطة الأرضية ويضخمها ويغيرها إلى تردد الوصلة الهابطة ويعيد إرسالها إلى الأرض ويغطي عدد من المتلقي المستجيب المدى الترددي المخصص للقمر الصناعي فمثلاً القمر الصناعي عربسات بدر4- يحمل (32) متلقٍ مستجيب منها (12) بعرض نطاق (36) ميجا هرتز و (20) بعرض نطاق (34) ميجاهرتز يمكن من خلال كل متلقٍ مستجيب إرسال قناة تلفزيونية تناظرية واحدة أو (10) قنوات تلفزيونية رقمية أو 1200 قناة صوتية أو قناة بيانات بسرعة 50 ميجابت / ثانية.

أما شكل أو حجم تغطية القمر الصناعي على سطح الأرض فتدعى بـ Foot Print ويتم التحكم فيها من خلال طاقة الإرسال وتصميم هوائي الإرسال.

ومدة انتقال الإشارة أو تأخير النقل وما تبعه من صدى هي من العوامل المؤثرة في الاتصالات الفضائية فالمسافة الأقل بين نقطتين عبر الأقمار الصناعية هي 35860 × 2 = 71720 كيلو متراً أي تأخير مقداره 270 ملي ثانية أما عندما يكون الربط الهاتفي يحتاج إلى وصلتي ربط عبر الأقمار الصناعية كالربط بين جدة و لوس أنجلس مثلاً فإن التأخير يزيد على 540 ملي ثانية كونه يحتاج إلى وصلتي ربط عبر الأقمار الصناعية وهذا أمر سيء لكثير من الناس بينما لا يستغرق التأخير بالنسبة للكيبل البحري الذي يربط المملكة العربية

السعودية بأوروبا ثم من أوروبا لأمريكا أكثر من 100 ملي ثانية الأمر الذي يجعل الاتصالات الهاتفية عبر الأقمار الصناعية أقل حالياً بينما لا يشكل التأخير في النقل التلفزيوني أو البيانات أي تأثير مما يجعل الاتصالات عبر الأقمار الصناعية الأمر المناسب للنقل والبث التلفزيوني وبدرجة أقل اتصالات البيانات.



الشكل (8-6) التأخير الناشئ عن وصلتي اتصال عبر الأقمار الصناعية

وأتاح استخدام الحزمة Ku استخدام هوائيات اتصال أصغر بالأقمار الصناعية فالمحطات الأرضية التي تم إنشاؤها في الستينيات والسبعينيات التي تعمل بالمدى C الترددي كانت بقطر يصل إلى 30 متراً وبالرغم من الاستمرار في استخدام هذه المحطات الأرضية حتى الآن إلا أن المحطات الجديدة المستخدمة في المدى Ku يتراوح قطرها بين 15-7 أمتار لأغراض الاتصالات أو النقل التلفزيوني.

وبفضل تطور الأقمار الصناعية واستخدامها طاقة إرسال أعلى أصبح بالإمكان استقبال البث التلفزيوني الفضائي بهوائيات يتراوح قطرها بين 60-150 سنتمتراً في أغلب الأحيان في البلاد العربية بينما استخدمت أقمار صناعية ذات طاقة عالية في إرسال بث تلفزيوني في غرب أوروبا واليابان أمكن استقبالها بهوائيات قطرها يتراوح بين 30-40 سنتمتراً فقط.

وأصبح كذلك استخدام المحطات الصغيرة ممكناً فالمحطات التي تعرف اختصاراً بـ VSAT أصبح بالإمكان عملها مع هوائي قطره يتراوح بين 1.2 – 2.4 متراً وأصبح بالإمكان تركيبها على أسطح المباني وصناديق الصرف الآلي مما جعلها ممكنة الاستخدام للشخص العادي.

وباستخدام تقنية TDMA أصبح استخدام المتلقي المستجيب ممكناً لعدد كبير من المستخدمين فعند بدء أي محطة صغيرة الاتصال ترسل تدفقاً من البيانات إلى المحطة الرئيسة التي تعرف في مجال تقنية VSAT بـ Hub Station التي تخصص للمحطة الصغيرة الفاصل الزمني وتعمل على مزامنة Synchronization المحطة الصغيرة وبذلك يمكن تقسيم استخدام المتلقي المستجيب بين عدد كبير من المحطات الصغيرة.

وتعاني المحطات الصغيرة من قيود في أن مقدار الفقد في الإشارة هو200 ديسبل كما أن طاقة الإرسال لكل متلق مستجيب في

الأقمار الصناعية لا تزيد على120 وات لخدمة نطاق ترددي يبلغ 32-40 ميجاهرتز و صغر حجم المحطة إنّما يحد من طاقة الإرسال لها، بالإضافة إلى حساسية الاستقبال Receive Sensitivity.

لجميع هذه الأسباب يتم إزالة تضمين الإشارة في محطة كبيرة Hub عاملة مع شبكة VSAT وإعادة إرسالها بطاقة أعلى إلى القمر الصناعي ليتم استقبالها بمستوى جيد من الجودة في المحطات الصغيرة الأخرى.

هذا الحل يتم بإنشاء محطة كبيرة بقطر 11-20 متراً تستقبل الإشارات من المحطات الصغيرة بجودة عالية لتبثها بطاقة أعلى إلى القمر الصناعي تدعى بالمحطة الرئيسة Hub Station ويطلق على هذا النوع من الارتباط بين المحطات الصغيرة في شبكة VSAT بالارتباط النجمي.

ويمتاز الارتباط النجمي بأن المحطة الأرضية تتولى التحكم في عملية الاتصالات ويمتاز التصميم النجمي بكونه أكثر اقتصاداً بالنسبة للعدد الكبير من المحطات الصغيرة بينما يستخدم التصميم الشبكي عندما يكون عدد المحطات أقل، وفي أماكن متباعدة وذات سعات كبرى.

ومن خلال المحطات الصغيرة يمكن نقل الصوت رقمياً بمعدل 64 كيلو بت /ثانية أو 32 كيلوبت /ثانية أو أقل من ذلك أما البيانات فهي تبدأ من 2.4 كيلو بت /ثانية إلى 128 كيلوبت/ثانية وأكثر من ذلك بالنسبة للاستخدامات التجارية والإنترنت.

كما تم إجراء تجارب كثيرة على استخدام الحزمة الترددية Ka (20/30) جيجاهرتز في اليابان وأوروبا وأمريكا ويتم استخدامها تجارياً حالياً في خدمات المحطات الصغيرة لخدمات البيانات والإنترنت من شركات أمريكية هي Spaceway و WildBlue وأخيراً شركة تيلسات الكندية عبر قمرها Anik-F2.

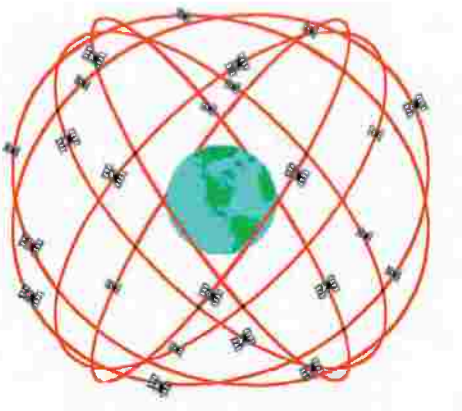
وهناك استخدام آخر للأقمار الصناعية لا يتعلق بالاتصالات مباشرةً بل يرتبط بها ذلك هو التزامن في التوقيت في شبكات الاتصال العامة والخاصة وهو النظام العالمي لتحديد الموقع GPS.

فنظام GPS يستخدم عسكرياً ومدنياً في الطائرات والسفن للملاحة بدقة غير متوافرة سابقاً في كل مكان على سطح الكرة الأرضية ويتألف من 24 قمراً صناعياً تدور حول الأرض بمدار على ارتفاع 20200 كيلومتر وتكمل دورة واحدة حول الأرض كل (12) ساعة.

وهذه الأقمار الصناعية مقسمة إلى (6) مستويات يدور في كل مستوى (4) أقمار صناعية.

ويوفر النظام استخداماً واسعاً لأجهزة تحديد الموقع وقد استخدمت في سيارات الأجرة في العديد من الدول.

كما تستخدم إشارات التوقيت لنظام GPS في العديد من شبكات الاتصالات بوصفه مكملاً، أو تستبدل الإشارة المرجعية المستخدمة في مزامنة الشبكات الرقمية.



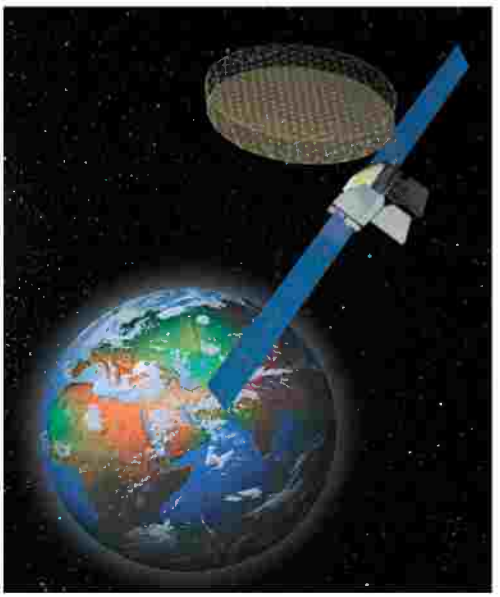
الشكل (8-7) مخطط لمدارات أقمار GPS

كما تستخدم الاتصالات الفضائية في أنظمة الاتصالات المتنقلة لخدمة السفن منذ أكثر من (30) عاماً من خلال المنظمة العالمية للاتصالات المتنقلة الفضائية INMARSAT التي بدأت بتقديم اتصالات فضائية من خلال محطات تحملها السفن ثم تطورت ليتم استخدامها مع أجهزة متنقلة أكبر من أجهزة الهاتف المتنقلة الأرضية GSM.

كما شهدت نهاية التسعينيات الميلادية إنشاء أنظمة فضائية تستخدم مدارات منخفضة في مشروعات كلفت بلايين الدولارات من هذه المشروعات: مشروع أريديوم المكون من (66) قمراً صناعياً، ومشروع غلوبالستار المكون من (24) قمراً صناعياً، إلا أن هذين المشروعين مع بقية المشروعات أعلنت إفلاسها بعد مدة قليلة من بدء عملها لعدم تمكنها من تحقيق السوق الذي خططت له، ويعود ذلك

بدرجة مهمة إلى اتساع أنظمة الاتصالات المتنقلة الأرضية وتقديمها خدمة الاتصالات المتنقلة بتكلفة أقل من الأنظمة الفضائية.

ولايزال هناك نظامان من أنظمة الاتصالات المتنقلة الفضائية التي تستخدم الأقمار الصناعية من المدار المتزامن الأول هو ACeS الذي يغطي شرق آسيا، ونظام الثريا الذي يغطي المنطقة من وسط آسيا وأفريقيا وأوروبا.



الشكل (8-8) صورة تخيلية للقمر الصناعي الثريا -2 في الفضاء