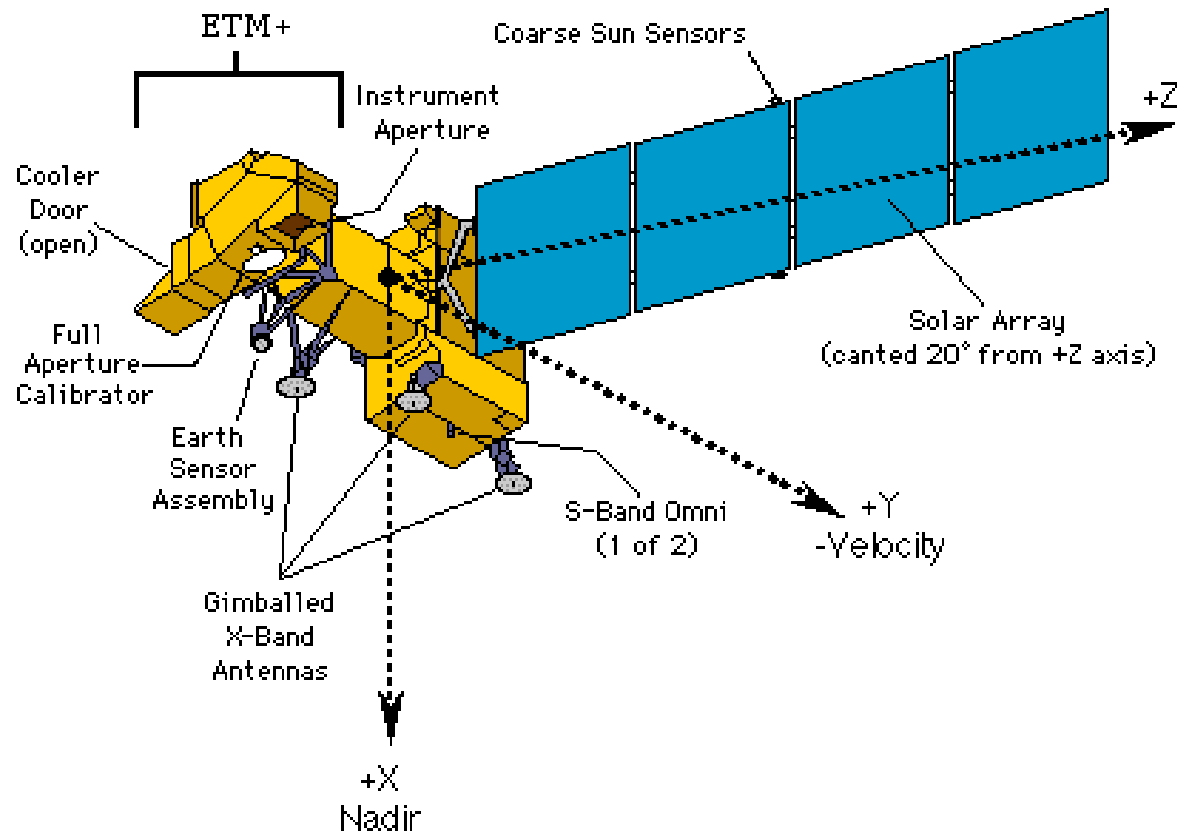


الأقمار الصناعية

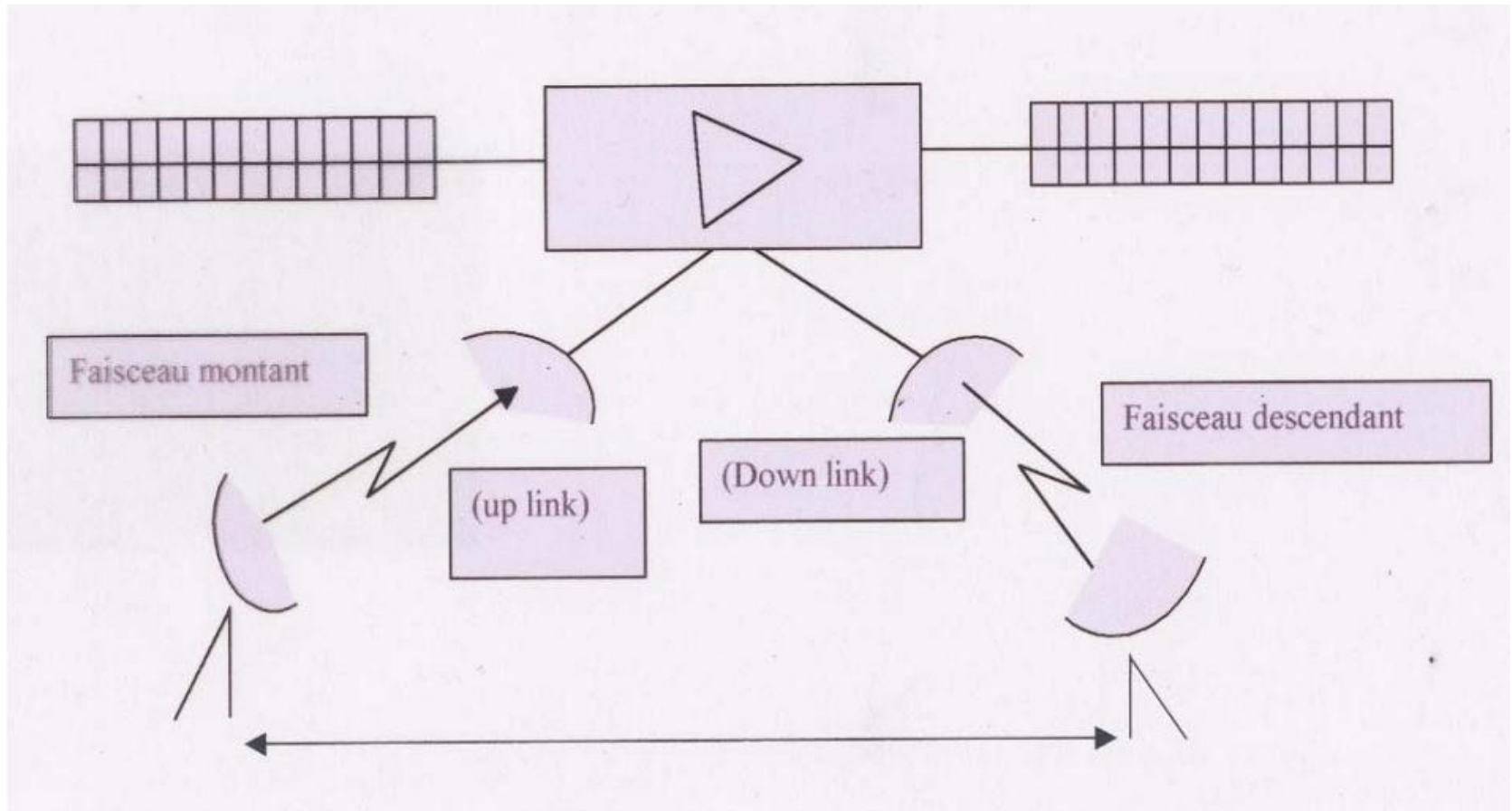


تطور الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية .

في 4 أكتوبر 1957 اطلق أول قمر اصطناعي وبدأ بالدوران حول الأرض. بين ١٩٥٩ و 1963 استعمل القمر (وهو القمر الطبيعي) كعاكس للاتصالات اللاسلكية بين واشنطن وهاواي ويمكن القول أن تقنية الأقمار الاصطناعية حتى سنة 1962 كانت تخص مجال الأبحاث والمجال العسكري . ولكن الحاجة المتزايدة و المتنامية لسعة الاتصالات (الهاتف ، تلفزيون ، بيانات الخ) أدت إلى تطوير أجيال جديدة من أقمار اصطناعية خاصة بخدمات الاتصالات ويمكن تقسيم هذه الأقمار إلى ثلاثة اجيال .

أ. الجيل الأول - الخدمات الثابتة للأقمار الاصطناعية :

وهذه الأنظمة تستعمل للاتصال بين المحطات الأرضية عبر القمر الاصطناعي (Up Link - down Link)
(وصلة صاعدة - وصلة نازلة) كما هو مبين في الشكل ١



هذا النظام يتكون من القمر الاصطناعي ومحطات أرضية عادة ما تكون كبيرة وباهظة الثمن نظرا لتعقيدات الهوائيات المستعملة .

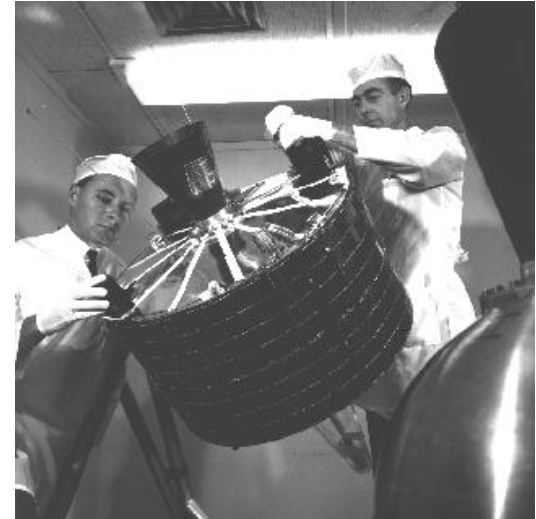
ب. الجيل الثاني - أنظمة الاتصالات المتنقلة عن طريق الأقمار: مع بداية التسعينات تعمل هذه الأنظمة على الربط بين المحطات الأرضية المتنقلة والمحطات الأرضية الثابتة (GATE WAY) عبر وصلات الأقمار الاصطناعية .

هذا النظام يتكون من قمر اصطناعي ، محطة ثابتة أرضية ومحطات أرضية متنقلة (مثل بواخر ، طائرات وغيرها) غير أن الاتصال بين المحطات المتنقلة فيما بينها لا يمكن بدون استعمال المبدلات الأرضية مثال على ذلك خدمة INMARSAT التي تستعمل للاتصالات مع المركبات المتنقلة جواً وبحراً وأرضاً .

TELSTAR



SYNCOM 2



ج. الجيل الثالث : الأنظمة المحمولة .

هذه الخدمات وفرت في القرن الحادي والعشرين إمكانية الاتصال بين أجهزة متنقلة صغيرة وقمر اصطناعي أو عدة أقمار والنظام يتركب من قمر اصطناعي وجهاز محمول يمكن له الاتصال مباشرة بالقمر الاصطناعي دون المرور بالمحطة الأرضية ، وهو نتيجة لذكاء الأقمار الاصطناعية والوظائف الجديدة في القمر الاصطناعي مثل تبديل القنوات (Channel Switching) والتشبيك (Networking) والمعالجة الرقمية للإشارة (Digital Signal Processing -DSP) ومثال لهذا الجيل خدمات الثريا - ALTHOURAY .

تنظيم مجال الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية :

إن استغلال خدمات الأقمار الاصطناعية بقي مرتبطاً بمؤسسات التشغيل الحكومية كمثل

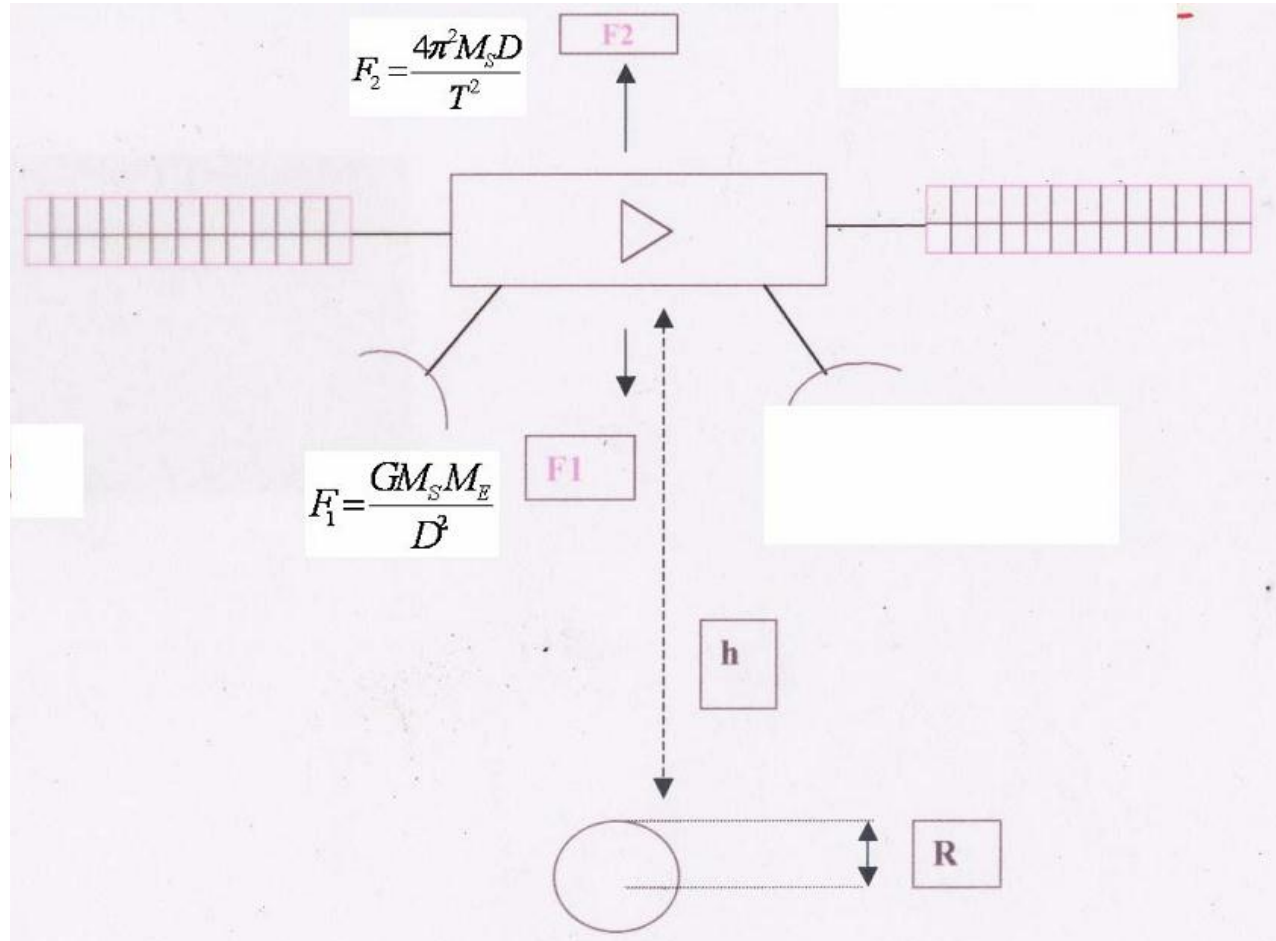
INTELSAT

INMARSAT-INTELSAT وكل هذه المؤسسات متناهية التركيب فيما بينها فهي تعتمد على

الاتفاقات الدولية ويتم الأخذ بها في كل دولة على حدة وتكلف عادة الجهات المعنية على بناء المحطات الأرضية وتقوم هذه المؤسسات بتقسيم الترددات على المستعملين .

قانون كبلر (Kepler Law) :

لثبيت القمر الاصطناعي في مداره لا بد أن تتساوى القوة المسطرة على القمر الاصطناعي أي قوة جاذبية مجموع الأرض F_2 والقوة التي تنبثق على سرعة دوران القمر F_1 مع الملاحظ أن القوتان F_1 و F_2 ممكن التعبير عنهما بالقوانين التالية :



$$F_1 = \frac{G M_S M_E}{D^2}$$

$$F_2 = \frac{4\pi^2 M_S D}{T^2}$$

M_S - وزن القمر الاصطناعي

M_E - وزن الأرض ($M_E = 6.1024 \text{ Kg}$)

D - المسافة من محور الأرض إلى القمر بالمتر ($D = ((6378000 + R) \text{ [m]})$)

T - زمن الدورة حول الأرض بالثانية

G - جاذبية الكون ($G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}$)

إذا سوينا هذه القوتين فيمكن استخراج المسافة من محور الأرض إلى القمر D و بذلك يمكن استنتاج المسافة من سطح الارض إلى القمر الاصطناعي R بالمتر بالقانون الموضح فوق.

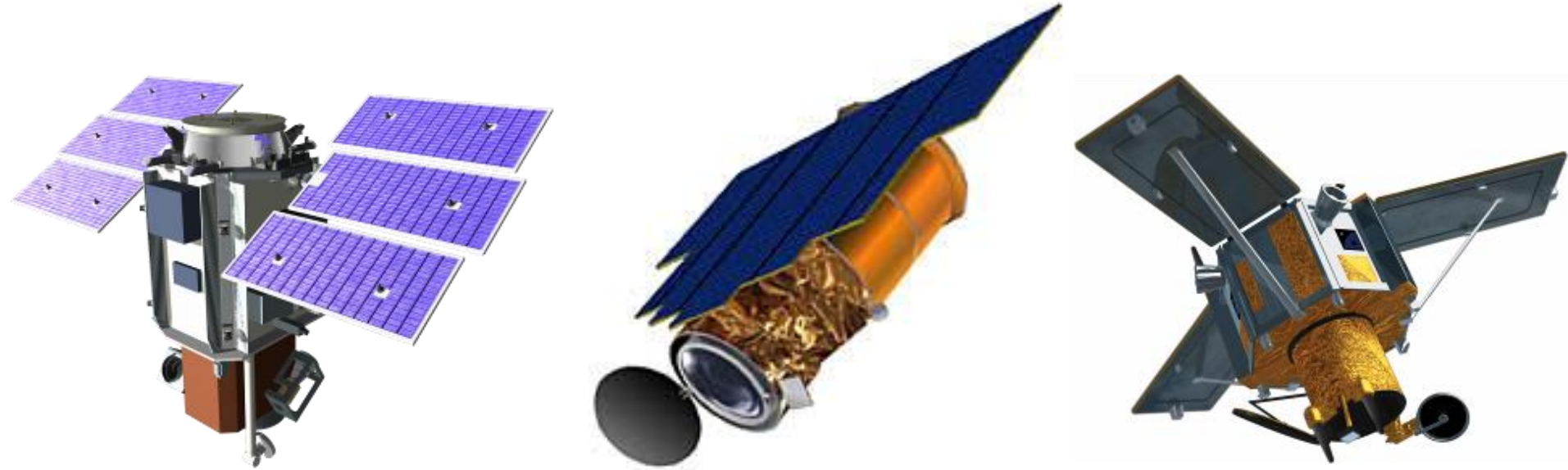
$$F_1 = \frac{G M_S M_E}{D^2} = F_2 = \frac{4\pi^2 M_S D}{T^2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot G \cdot M_E}{4 \cdot \pi^2}}$$

في هذين القانونين ينتج أن عند زمن معين لدورة القمر حول الأرض يقابلها ارتفاع معين

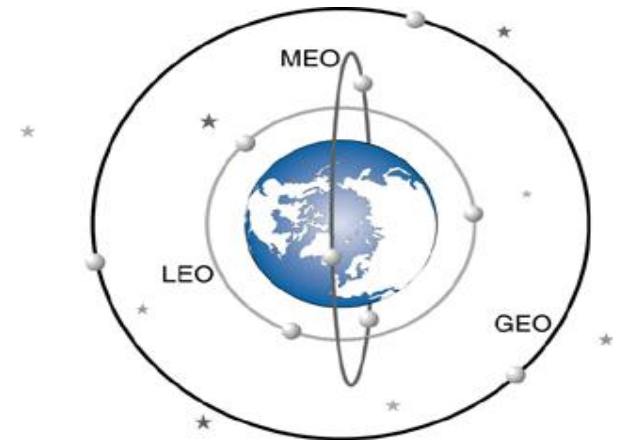
الارتفاع (كم)	زمن الدورة	عدد الدورات
0	84,5 د	17
300	90 د	16
557	96 د	15
1730	2 س	12
4200	3 س	8
6430	4 س	6
11000	11,3 س	3,8
35900	24 س	1

من هذا الجدول يتبين أنه عند ارتفاع معين وبسرعة معينة فإن زمن الدوران يزداد مع الارتفاع وبالتالي فإن الأقمار الصناعية التي تكون ثابتة فهي تدور دورة واحدة في 24 ساعة وتكون على الارتفاع 3590٠ كم من سطح الأرض .



أنظمة الأقمار الاصطناعية :

تتقسم أنظمة الأقمار الاصطناعية حسب المناطق التي تغطيها إلى نوعين محلية ودولية وأهم عامل لتخطيط أنظمة الأقمار الصناعية هو ارتفاع المدار الذي بحسبه تنقسم الأنظمة إلى الأنواع التالية :

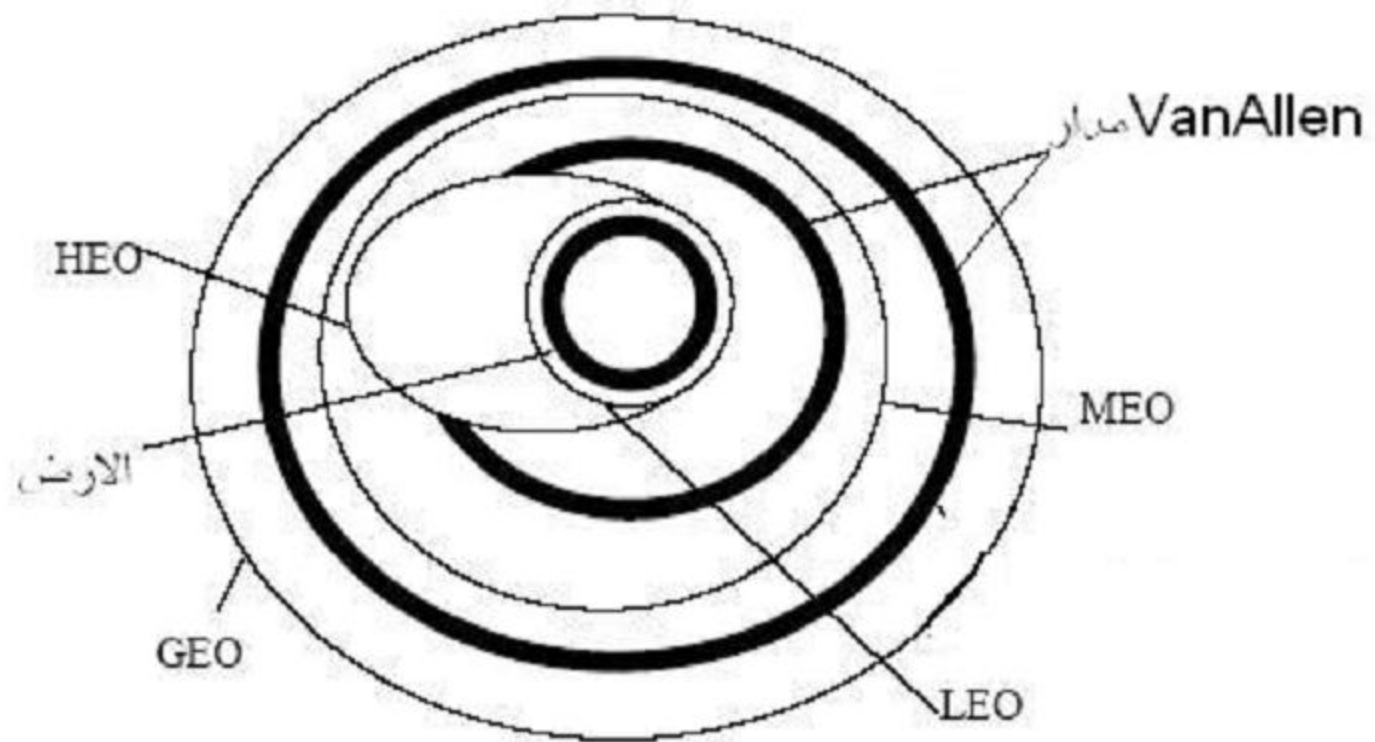


- نظام المدار المتزامن مع دوران الأرض GEO – Geostationary Earth Orbit

- نظام المدار المنخفض حول الأرض LEO- Low Earth Orbit

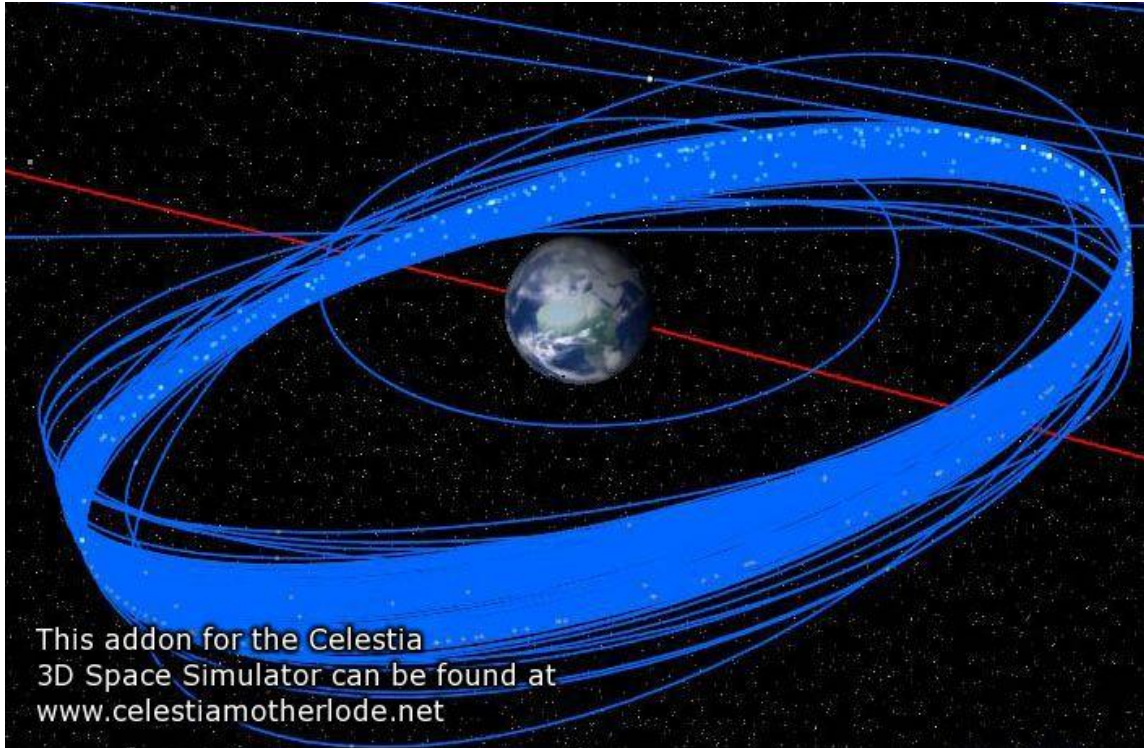
- نظام المدار متوسط الارتفاع MEO – Medium Earth Orbit

- نظام المدار البيضاوي HEO – Heliptical Earth Orbit



المدار المتزامن مع الأرض : GEO Geosynchronous satellite

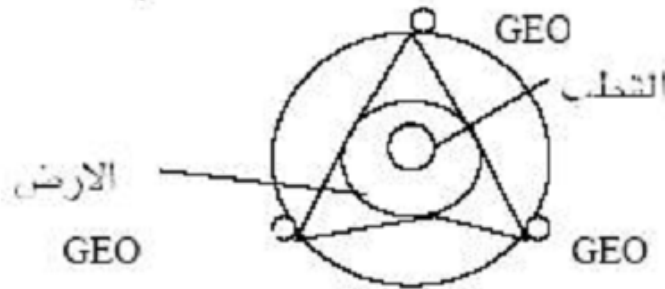
هو عبارة عن مدار موازي لخط الاستواء ويوجد على ارتفاع 35786 كم ، الأقمار الاصطناعية التي توجد على هذا المدار تكون سرعتها 3.06 كم / ثانية وهي نفس سرعة دوران الأرض أي أن المدة الزمنية للدورة الواحدة للقمر الصناعي هي 23 ساعة و ٥٦ دقيقة و ٤ ثواني وبذلك يكون القمر ثابت بالنسبة لمشاهد يوجد على الأرض .



GEOs (2)

مميزات هذا المدار :

1. ييسر عملية التشكيلة.
2. إمكانية تغطية مناطق شاسعة على الأرض بقمر اصطناعي واحد أي يمكن بذلك ربط محطات على أبعاد كبيرة .
3. بواسطة ثلاثة أقمار صناعية متزامنة ممكن تغطية كل الكرة الأرضية (انظر الصورة أدناه)



4. عدم تطلب تجهيزات معقدة لتتبع القمر الاصطناعي من طرف هوائي الاستقبال

5 . نتيجة للتغطية الشاملة لهذا النظام فإنه تقل مشاكل توزيع المعلومة (Routing Problem)

6. نتيجة للترمان مع الأرض ظاهرة دوبلر قد تكون معدومة في الإشارة .

GEOs (3)

مساوئ المدار :

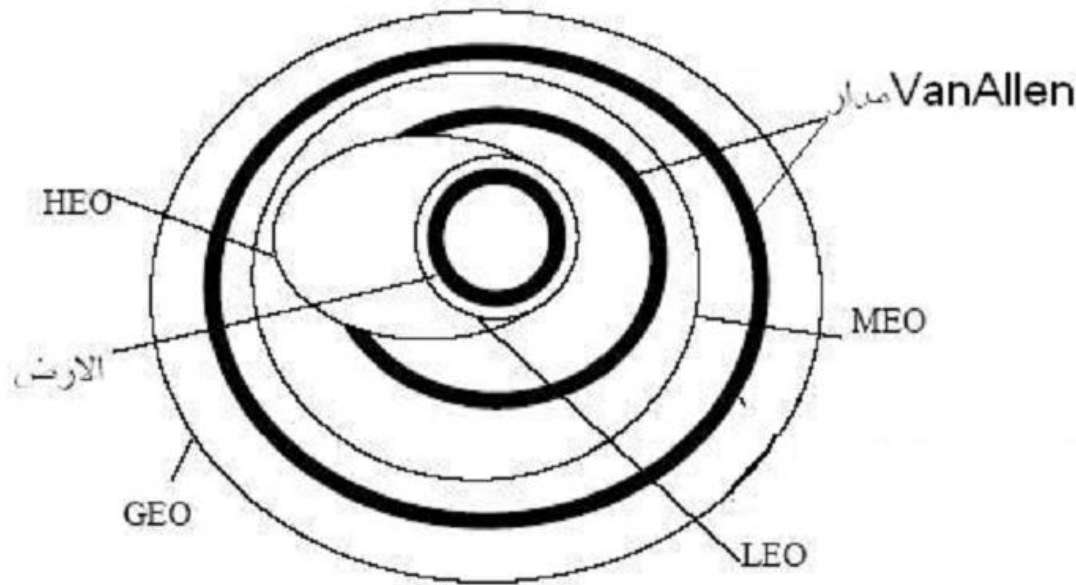
1. نتيجة للارتفاع القمر في هذا المدار فحتى تتغلب على الفقد الموجود فيجب استعمال أجهزة إرسال نظامية عالية وهوائيات كبيرة الحجم .
 2. عدم تغطية مناطق ذات خطوط عرض عالية
 3. وضع القمر الصناعي ذو مدار متزامن يتطلب تكلفة عالية ويحبذ أن يكون موقع الوضع قريب من خط الاستواء .
 4. بالنسبة لهذا المدار يمكن أن تتراوح الأقمار إلى حدود 60 كلم على مكانها وبذلك يجب أن تتوفر إمكانية تعديل المكان من الأرض .
- وعلى ضوء هذه المساوئ فإن نظام الأقمار الاصطناعية هذا لا يصلح للاتصالات المتنقلة وإنما يصلح مبدئياً للخدمات الاتصالات الثابتة

المدارات غير المتزامنة (LEO – MEO)

medium earth orbit satellite (MEO)

low earth orbit satellite (LEO)

مع ازدياد الاهتمام بالاتصالات المتنقلة عبر الأقمار الاصطناعية فقد تم تطوير أنظمة أخرى ذات مدارات منخفضة فنظام LEO يوجد على ارتفاع 200 كم وحزام Van Allen الداخلي على ارتفاع 1500 كلم.



أما نظام MEO فيوجد ما بين حزام Van Allen الداخلي والخارجي أي بين 5000 و 13000 كلم

LEOs & MEOs (2)

مميزات LEO و MEO نسبة إلى GEO

1. نتيجة للارتفاع المنخفض فإن طاقة الإرسال تكون منخفضة نسبة إلى GEO .
 2. زاوية الارتفاع أعلى في المعدل ونتيجة للعدد الكبير للأقمار الاصطناعية على المدار الواحد فإنه يمكن اختيار احد الأقمار التي تكون على مسافة قريبة من المستعمل الجوال
 3. نتيجة للعدد الاحتياطي في الأقمار فإن الخدمة مؤمنة بقدر عالي .
 4. يمكن بواسطة هذه الانظمة تغطية مناطق ذات الخطوط العالية كالمناطق القطبية .
 5. التأخير الزمني للإشارة يكاد يضمحل .
- مساوئ هذه الأنظمة :**

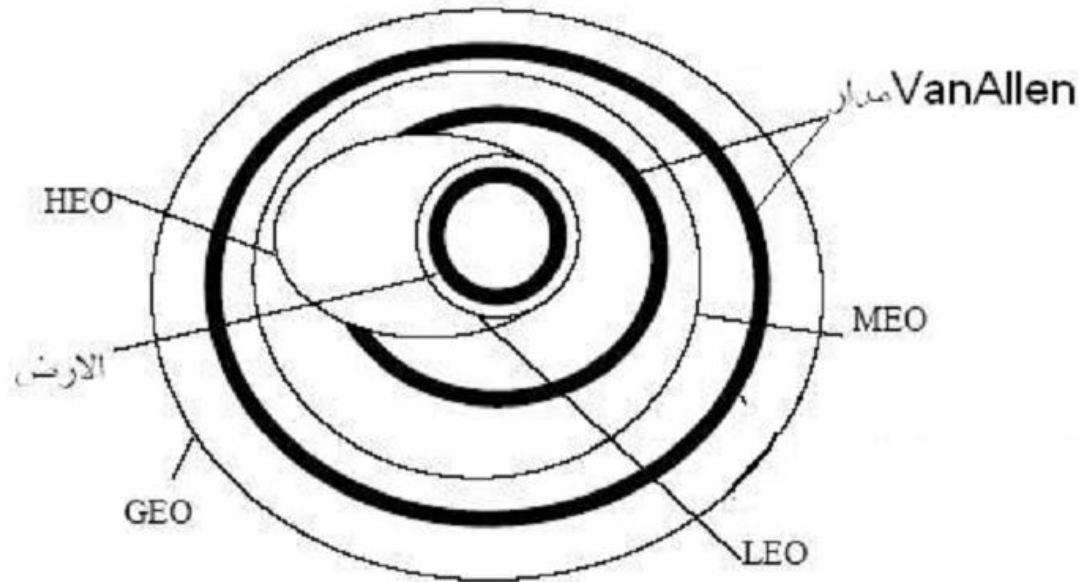
1. يكون الربط مع القمر الاصطناعي في مدة قصيرة وزاوية ارتفاع متغيرة .
2. يغطي كل قمر منطقة صغيرة .
3. يتطلب التحكم الجيد لتعقد النظام.

إضافة إلى هذه المدارات الدائرية تم تطوير نظام HEO الذي مكن بواسطة مداره البيضاوي تغطية أفضل للمناطق المكتظة بالسكان دون اللجوء إلى مدارات عالية .

أقمار ذات المدار البيضاوي (HEO)

الأقمار الاصطناعية في هذا المدار تقترب من الأرض إلى بعض المئات الكيلومترات ومن ناحية ثانية تبتعد على الأرض قيمة المسافة GEO وتكون هنا صالحة للأغراض الاتصالات حيث تكون سرعتها قليلة فيبدو أن القمر الاصطناعي يكون ثابتاً في مداره لمدة طويلة .

غير أن هذا النظام من الأقمار تخترقه حزام Van Allen بشكل متكرر وتكون بذلك عرضة للإشعاعات القوية لهذا الحزام .



الجدول التالي يبين مقارنة بين هذه الانظمة :

HEO	LEO	GEO	
بيضوي نقطة الاقتراب 500 كم نقطة الابتعاد 40500	قطبي ودائري 720 كم	موازي لخط الاستواء ودائري ارتفاع 535786	المدار
4	6	1	عدد الأقمار لتغطية نقطة واحدة
12 س	اس و ٤٠ د	23 س و ٥٦ د و ٤ ث	زمن الدورة
80 درجة	8 درجات	5 درجات	أصغر زاوية ارتفاع
1000 كغ	700 كغ	1500 كغ	الوزن التقريبي
12 (3 مدارات)	60 (١٠ مدارات)	3	عدد الأقمار في المدار
8 س	10 د	24 س	مدة الصعود
MOLNYA SVNCOM	GLO BALSTAR	INMARSAT	مثال

2 . طرق تعدد الوصول :

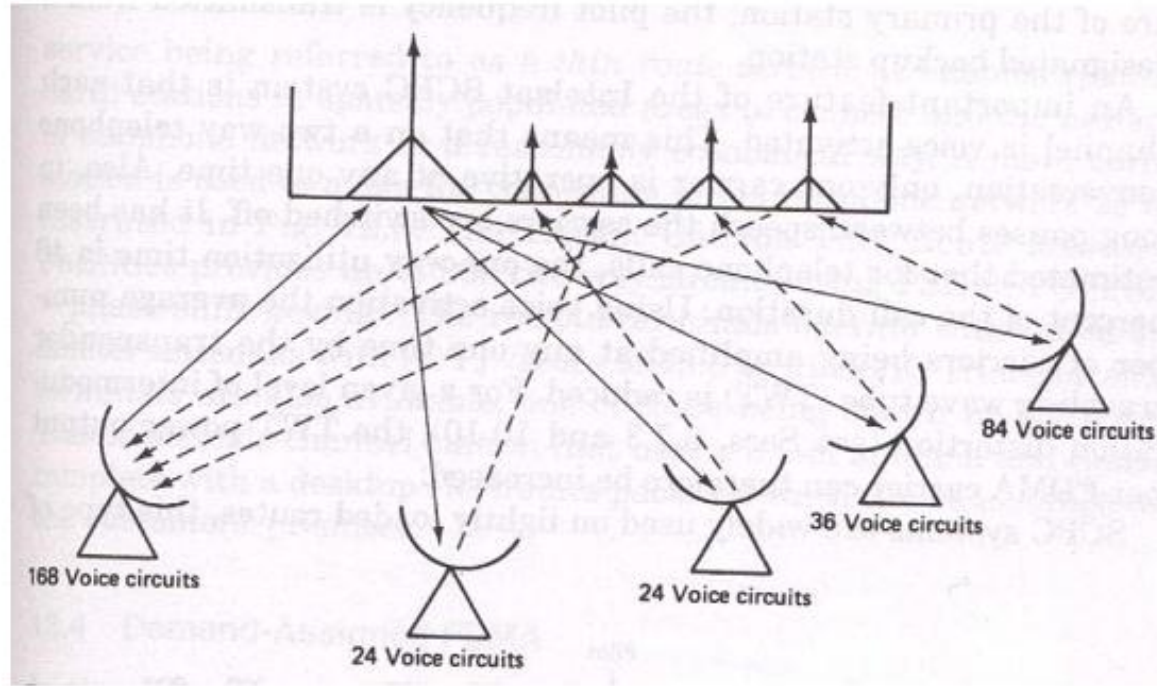
إن طرق تعدد الوصول المستعملة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية تنقسم إلى الأنواع التالية :

- | | |
|----------------------------------|------|
| أ. تعدد الوصول بالتقسيم الترددي | FDMA |
| ب. تعدد الوصول بالتقسيم الزمني | TDMA |
| ج. تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري | CDMA |
| د. تعدد الوصول بالتقسيم المكاني | SDMA |

FDMA

أ. تعدد الوصول بالتقسيم الترددي

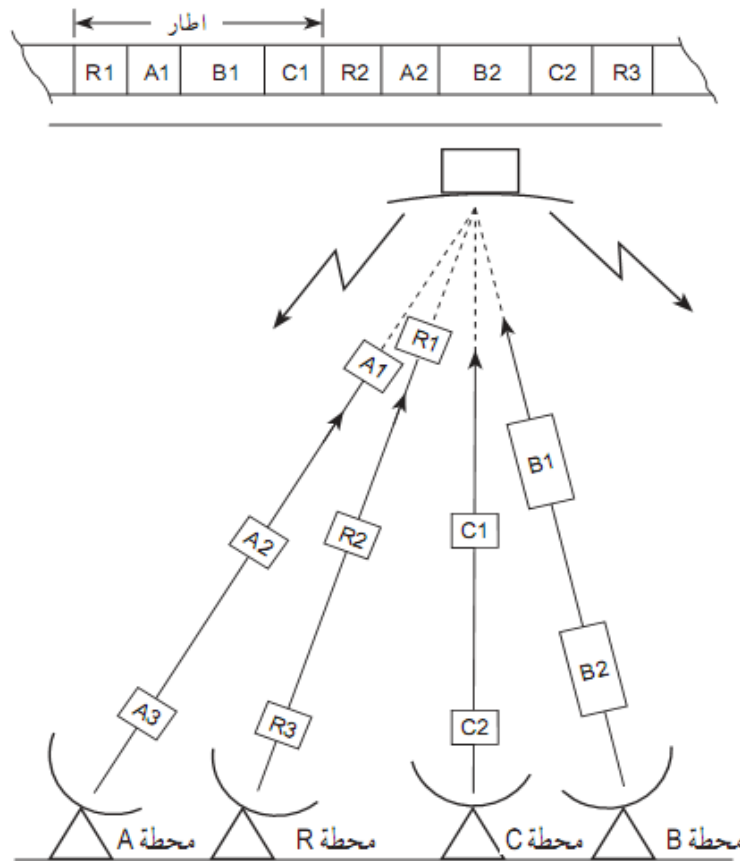
ويقوم التعدد الوصول بالتقسيم الترددي FDMA على إعطاء لكل محطة قناة خاصة بها ذات سعة نطاق محددة وصغيرة ويجمع عدد معين من هذه القنوات في قناة اتصال ذات سعة نطاق ترددي أكبر وهو ما يعبر عنه بالتجمع الترددي (FDM – Frequency Division Multiplexing).



TDMA

ب. تعدد الوصول بالتقسيم الزمني

أما تعدد الوصول بالتقسيم الزمني – TDMA فيقوم على إعطاء المشترك كامل سعة نطاق القناة ولكن لفترة استعمال زمنية محددة ، وبذلك تكون قناة الاتصال مقسمة إلى فترات زمنية تستغل حسب قواعد معينة من طرف المحطات المختلفة وتفصل هذه الفترات عن بعضها بقناة حماية (Guard Time) والتي تعدل اختلاف التزامن للمحطات المستعملة للفتحات .

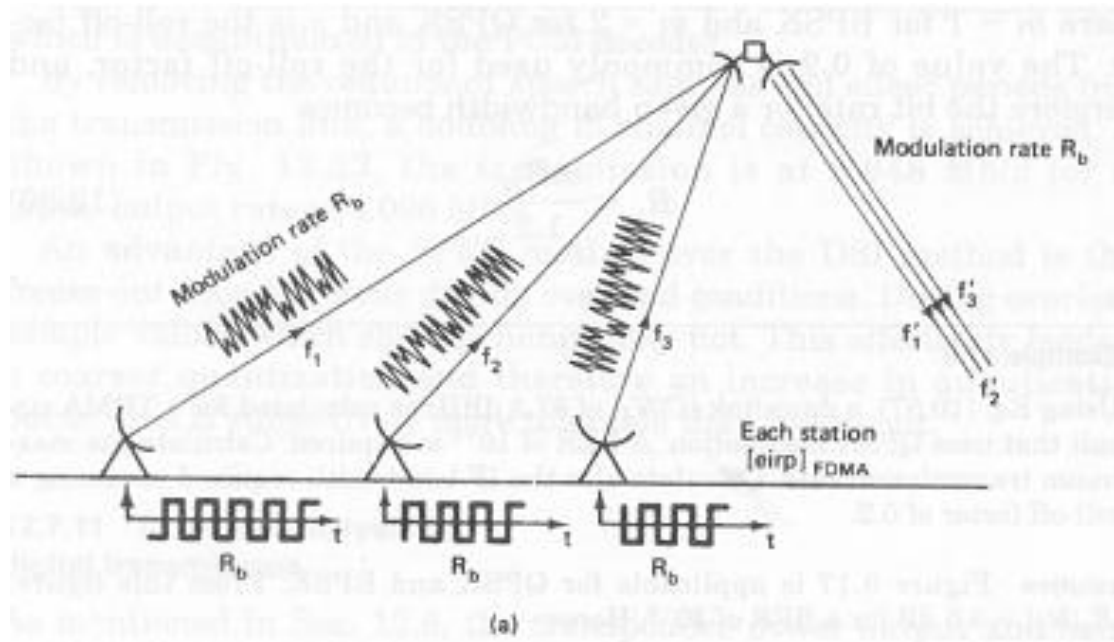


شكل (٣٤): TDMA

CDMA

ج. تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري

أما بالنسبة للطريقة الثالثة وهي تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري فإنها تقوم على تمكين إرسال المشفر العديد من المحطات على نفس القناة ونفس الوقت .

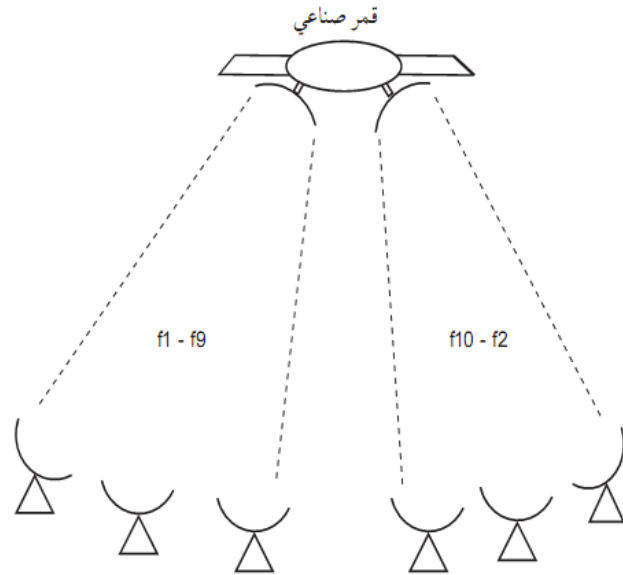


SDMA

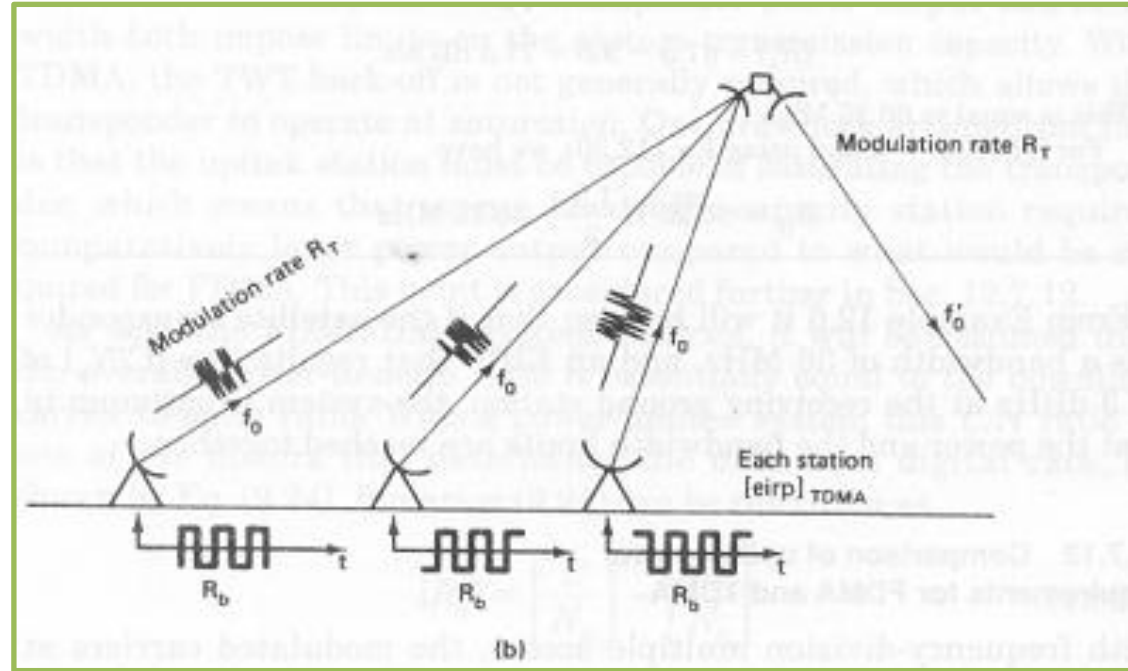
د. تعدد الوصول بالتقسيم المكاني

وأخيراً فإن تعدد الوصول بالتقسيم المكاني SDMA يمكن من استعمال نفس ترددات الاتصال في مناطق تغطية القمر الاصطناعي المتقاربة من بعضها المقسمة حسب فتحة اشعاع هوائي القمر الاصطناعي

(SPOT BFAM)



شكل (٣٥) : SDMA



ملحوظة :

ممکن استعمال عدة طرق لتعدد الوصول في نفس الوقت كمثال : TDMA و CDMA