المتعلقة بإدارة الطيف هي أمور فنية بالغة التعقيد في المقام الأول . ونتيجة لهذا وبسبب السبق العلمي والتقني والتراكم المعرفي الذي تتمتع به الدول المتقدمة فانها كثيراً ما تسيطر تماماً على المناقشات التي تجري في المحافل الدولية لإدارة الطيف ، وفي أحيان كثيرة ، كانت بعض الدول النامية عاجزة عن تحديد مصالحها الحقيقية واتخاذ المواقف الوطنية التي تتيح الحصول على حقوقها المشروعة . بل قد تضطر بعض الدول إلى الاستعانة بخبرات خصومها من الدول المتقدمة نفسها في مسائل تخص استغلال الطيف داخلياً ودولياً .

على أن الأمر بدأ يشهد تغيراً ايجابياً ملموساً ، فقد انتبهت كثير من الدول النامية إلى خطورة استمرار مثل هذا الوضع ، وازداد الوعي بضرورة تنسيق مواقف الدول النامية للحصول على حقوقها المشروعة في مجال الطيف وغيره ، وتقوم المملكة بدور ريادي في تنسيق مواقف الدول العربية بوجه خاص والدول النامية بشكل عام بهذا الخصوص . بل ان كثيراً من الدول تعتمد على حضور المملكة القوي في مؤتمرات الاتحاد الدولي للاتصالات للدفاع عن مصالح هذه الدول وحقوقها المشروعة وخصوصاً في قضايا إدارة الطيف وتوزيع الترددات ، ومقاومة مساعي بعض الدول المتقدمة لاحتكار الاتصالات الدولية والهيمنة على وسائل الاعلام التي تصل إلى الدول النامية . على انه لابد من تعزيز هذه المكانة للمملكة ، وتنمية القدرات العلمية والإدارية للدفاع عن قضاياها العادلة خصوصاً في المواضيع الفنية مثل مواضيع الراديو وإدارة الطيف التي تتطلب معرفة فنية دقيقة وحقائق علمية تبني عليها المواقف الوطنية. ولابد من تضافر جميع الجهود والاستفادة من كل الخبرات والكفاءات العلمية الوطنية لتحديد المصالح الحقيقية للمملكة والدفاع عنها بطريقة علمية تصمد أمام التحدي العلمي التي تمارسه الدول المتقدمة حالياً .

المراجع :

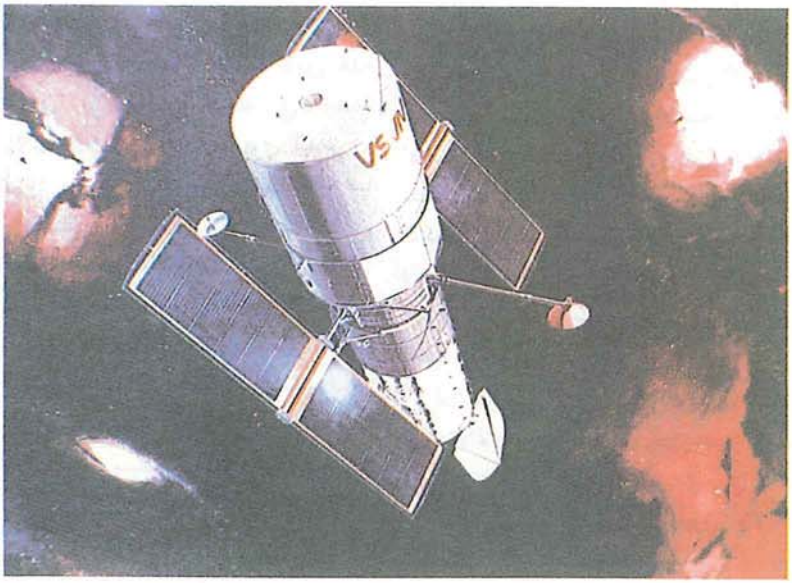
(١) إبراهيم عبدالرحمن القاضي : نظام آلي لتوزيع الترددات وإدارة الطيف ـ رسالة دكتوراه ـ جامعة ستانفورد ـ كاليفورنيا ـ الولايات المتحدة الأمريكية ـ ١٩٨٤م .

(٢) منشورات الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) ، والهيئة الدولية الاستشارية للراديو (CCIR) ، والمجلس الدولي لتسجيل الترددات (IFRB) .

اتصالات التوابع الأرضية
(الأقمار الصناعية) الحديثة

د. مصطفى سيد عفيفي

كلية الهندسة ـ جامعة الملك سعود



تعد التوابع الأرضية من أرقى ما توصل إليه الانسان من الوسائل والاختراعات التقنية ، وهي من أهم منتجات علوم الفضاء الحديثة التي تؤدي علمياً إلى تفهم أعمق للتقنيات المختلفة، مما يعطي فرصاً أكبر لتقدمها. وعلى سبيل المثال في هذا الصدد نذكر التطبيقات الواسعة الانتشار للاتصالات العالمية والاستشعار عن بعد والتي تمثل أحد العناصر الرئيسة لتقدم المجتمعات الحديثة .

يدور التابع حول الأرض بسرعة تعتمد على ارتفاعه عن سطحها ، بحيث تتساوى قوة الجاذبية مع قوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران التابع حول مركز الأرض . وينتج عن هذه المعادلة البسيطة تحديد السرعة اللازمة للتابع والتي تمكنه من التواجد في مدار على ارتفاع معين . ويمكن حساب هذه السرعة من المعادلة التالية :

$$\text{السرعة (كم/ساعة)} = \frac{٢٢٧٢٠٧٠}{\sqrt{\text{المسافة بين التابع ومركز الأرض (كم)}}}$$

ويشترط ان يكون التابع خارج الغلاف الجوي حتى لا يعوقه الاحتكاك بجزيئات الهواء . ويمتد هذا الغلاف الجوي إلى ارتفاعات تصل إلى مائة كيلومتر ، وبذلك فان ارتفاعات التوابع الأرضية تبتدئ عرفاً من حوالي ٢٠٠ كيلومتر (رغم وجود الطبقات المتأينة حتى ارتفاعات تصل إلى ألف كيلومتر) . ويحدد ارتفاع التابع المهمة التي يطلق من أجلها ، كما سوف يبين لاحقاً . ويتأثر تصميم معدات التابع بارتفاعه عن سطح الأرض . ويبين الشكل رقم (١) ارتباط مدى الرؤية «د»

وزاويته «و» بارتفاع التابع عن سطح الكرة الأرضية . فكلما ازداد ارتفاع التابع كلما اتسع مدى الرؤية له على سطح الأرض ، وكذلك فان سرعته تقل في مداره (حيث تتحكم في ذلك المعادلة السابقة الذكر) وبذلك يزيد زمن الدورة الكاملة لدورانه حول الأرض مما يزيد من زمن استخدام المحطات الأرضية لخدماته . كذلك فانه كلما ازداد ارتفاع التابع كلما ازدادت المسافة بينه وبين المحطات الأرضية ، وبالتالي تقل شدة اشاراته . ويعوض بعض هذا النقص قلة زاوية الرؤية من القمر للأرض ، والتي تفرض زيادة تركيز الطاقة المرسلة من الهوائي في زاوية أصغر ، وهذا هو مايسمى بكسب الهوائي .

يتضح مما سبق ان التوابع المرتفعة تؤدي خدمات اتصالات أفضل شريطة ان تتوافر الامكانات التالية :

١ ــ مقدرة صاروخية لوضع التابع في المدار المطلوب .

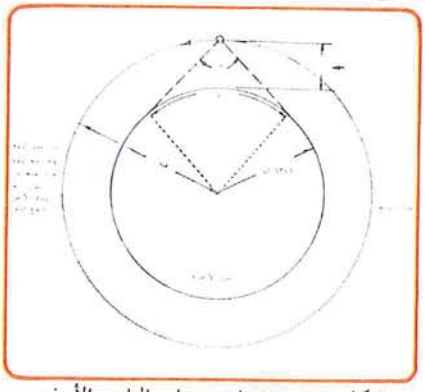
٢ ــ تحكم متقن حتى يستمر التابع في مدار محدد (حيث ان قوى الجذب من الاجرام السماوية الأخرى تؤثر على مساره) ، ويلزم لذلك تصحيح هذا المدار من وقت لآخر . ومن الجدير ذكره هنا ان كمية الوقود التي يحملها التابع تحدد فترة بقائه في المدار وهو ما يسمى بعمر التابع . وكلما حمل التابع كمية وقود أكبر كلما ازدادت المقدرة الصاروخية اللازمة لاطلاقه .

٣ ــ تصميم هوائيات الاتصالات التي تتيح الرؤية الأرضية المطلوبة بالكسب المطلوب .

٤ ــ تصميم معدات الاتصالات وأجهزة الحساب والتحكم اللازمة للارسال والاستقبال .

وبالنسبة للتوابع التي تدور على ارتفاعات منخفضة ، والتي تؤدي خدمات المراقبة الأرضية والتصوير واستكشاف ثروات الأرض ، فانها تحتاج بالإضافة إلى الامكانات السابقة إلى مقدرة فائقة من المحطات الأرضية لتتمكن من متابعة هذه التوابع في حركتها السريعة . والمعروف ان مدة رؤية هذه التوابع المنخفضة قد لا تزيد عن بضع عشرة دقيقة في كل دورة .

تتعرض الأجزاء التالية من هذا المقال للعوامل المختلفة التي يجب أن تتوافر حتى تتكامل فوائد الشبكات الحديثة للاتصالات والاستكشافات الفضائية . وقد فرض تنوعها وكثرة احتياجاتها على الدول المختلفة المشاركة الجماعية في البرامج الفضائية . كذلك فان هذه المتطلبات قد فرضت على الدول الأوربية ان تعمل مجتمعة في هيئة موحدة . وان احتياجات الدول العربية والإسلامية بتقاربها تتطلب عملاً جماعياً مماثلاً .



شكل (١) متغيرات مدار التابع الأرضي

خدمات اتصالات التوابع

من أمثلة الخدمات التي تلبيها اتصالات التوابع المختلفة مايلي :

١ ــ ربط بنوك المعلومات بمختلف أنواعها (العلمية والتجارية والاحصائيات الاجتماعية والاقتصادية) .

٢ ــ احصاءات أحوال الطقس والتغيرات الجوية .

٣ ــ ربط حركات النقل والسفر المختلفة .

٤ ــ شبكات الرسائل الشخصية والتجارية بالصور والصوت .

٥ ــ شبكات الخدمات التعليمية وتبادل ونقل المعلومات بين المكتبات ودور النشر والمعاهد والحاسبات المتطورة .

٦ ــ شبكات الخدمات الاذاعية والتلفزيونية والاعلامية .

٧ ــ الخدمات الطبية للعلاج والاستشارة والحالات الاضطرارية ، خاصة في المناطق النائية .

٨ ــ المهام والاتصالات العسكرية .

٩ ــ التصوير الجوي بالموجات الضوئية والموجات متناهية القصر .

ويكمن سر نجاح اتصالات التوابع في مقدرتها على الوصول لكل مكان ، على الماء أو اليابسة وهو ما لا تتيحه الشبكات الهاتفية والتي تحددها تمديدات اسلاكها . كما ان الاتصالات اللاسلكية تعوقها الكروية الأرضية ومحدودية ارتفاع صواري هوائيات الارسال والاستقبال .

مدارات الأقمار المستخدمة وأمثلة من واقع ادائها

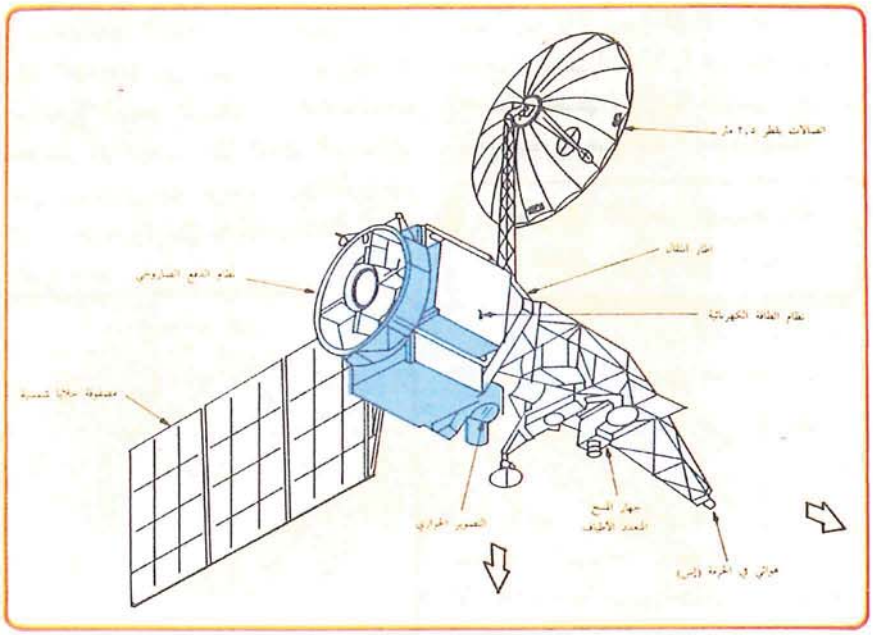
تشغل الأقمار مدارات مختلفة حول الكرة الأرضية ، ومن أهم هذه المدارات مايلي :

١ ــ مدارات قريبة من الأرض :

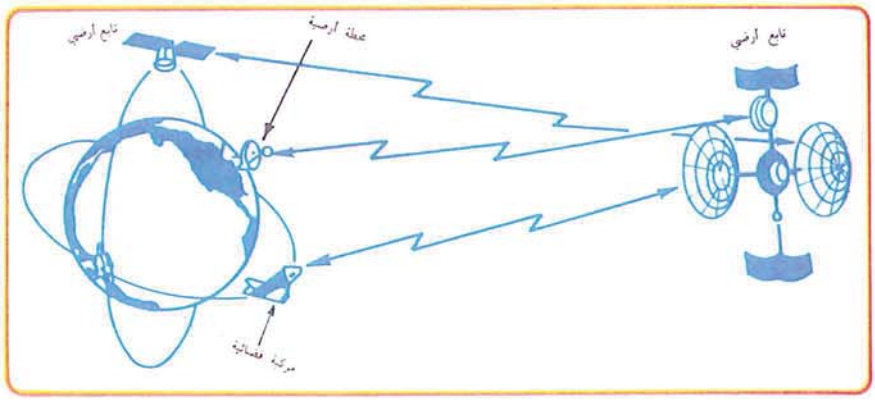
على ارتفاعات مابين ٢٠٠ كم و ١٠٠٠ كم . وتستخدم هذه التوابع (ومن ضمنها المكوكات الفضائية) للمهام الاستطلاعية والتصوير الجوي . وتدور حول الأرض مرة كل مايقرب من ساعة ونصف حسب ارتفاعها عن سطح الأرض كما ذكر سابقاً . وكانت هذه المدارات تستخدم في بداية عهد التوابع الأرضية للاتصالات لمدد قصيرة ، عن طريق محطات متابعة أرضية . ومن الأمثلة الهامة للتوابع الأرضية المنخفضة أقمار الاستشعار عن بعد كالتوابع الأمريكية المكتشفة للأرض (LANDSAT) والأقمار الفرنسية الجديدة (SPOT) . ومن أهم الأجهزة التي تحملها هذه التوابع أجهزة المسح المتعدد الأطياف ، والتصوير الحراري باستخدام الموجات تحت الحمراء . كما يقوم القمر الفرنسي (سبوت) بتجميع لقطات لأماكن معينة من زوايا مختلفة . وبذلك يمكن عمل صور مجسمة لهذه الأماكن (استريوسكوب) . وتؤدي هذه التوابع دوراً هاماً في اكتشاف ثروات الأرض وعمل الاحصاءات الزراعية إلى جانب خدماتها الهامة للمساحة الجوية ورسم الخرائط . وتقوم المساحة العسكرية ووزارة البترول والثروة المعدنية إلى جانب مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية بأعمال كثيرة من هذا القبيل .

ويوضح شكل (٢) تفاصيل مكونات هذه التوابع وما تحمله من معدات التصوير كما يرى في هذا الشكل أيضاً برج الهوائي المتحرك على قمر لاندسات والذي يتابع الاتصال بقمر المتابعة ونقل المعلومات وهو قمر اتصالات في مدار ثابت .

ويوضح الشكل رقم (٣) وصفاً دقيقاً لهذه الأقمار ، في وضع اتصالها بقمر المتابعة ونقل



شكل (٢) مكونات تابع الاستشعار عن بعد « لاندسات »

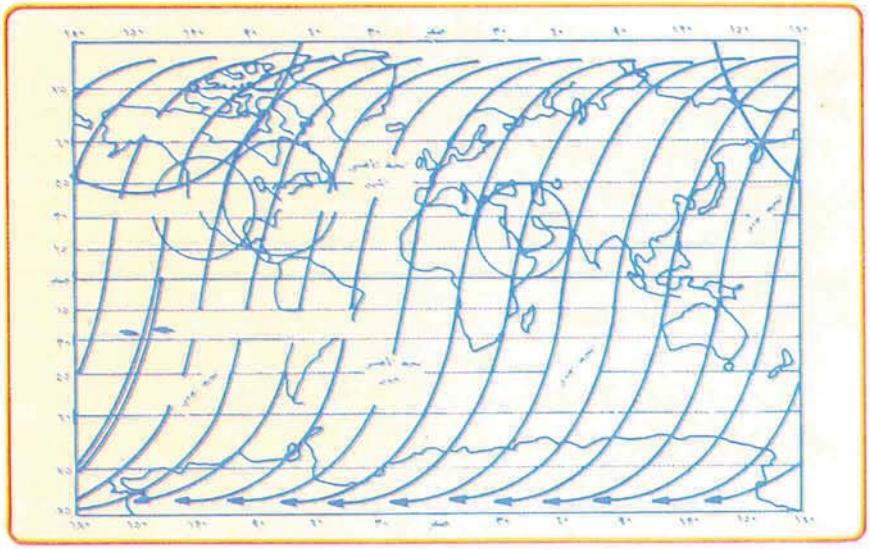


شكل (٣) تبادل المعلومات بين التوابع والمحطات الأرضية والمركبات الفضائية

المعلومات . وتمر مداراتها على قطبي الكرة الأرضية وترسم نقطة مسقطها الرأسي على الأرض المسارات الموضحة في شكل (٤) . كما يظهر في نفس الشكل نطاق رؤية هذا القمر حول محطة الاستشعار عن بعد التابعة لمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، من مدار يرتفع حوالي ٩٠٠ كم عن سطح الأرض . وإلى جانب توابع المراقبة الأرضية هذه نذكر أيضاً أقمار مراقبة البحار وتعمل هذه بموجات اللاسلكي (الراديو) الدقيقة (الميكروويف) . وتدرس حالياً تطبيقاتها للمراقبة الأرضية أيضاً .

٢ ــ مدارات ثابتة حول الكرة الأرضية :

وتقع على ارتفاع ٣٦٠٠٠ كم من سطح الأرض ، وبذلك تدور التوابع في هذا المدار حول الأرض مرة واحدة كل ٢٤ ساعة . ونظراً لأن الأرض تدور حول محورها دورة كاملة في اليوم الواحد ، فان هذه التوابع تظهر وكأنها ثابتة في موقعها النسبي لأي نقطة على الكرة الأرضية . وبهذه الطريقة يمكن دوام استخدامها للاتصالات والبث الاذاعي والتلفزيوني وما إلى ذلك.ويسمى هذا المدار كذلك بالمدار الاستوائي لانه يقع فوق خط الاستواء . ومن الأمثلة القريبة لنا في هذا الصدد نذكر القمر العربي والذي يوضح الشكل رقم (٥) تركيبه العام . ويعمل هذا القمر على نطاق الترددات « سي » (٤,٠ جيجاهيرتز) ونطاق الترددات « اس » (٢,٥ جيجاهيرتز) لأداء خدمات البرامج التلفزيونية والهاتفية والتلكس وترسل معطيات المعلومات والحاسبات باشعاع متحد لجميع الدول العربية . وتبلغ السعة الأساس لهذا النظام ٨٠٠٠ قناة هاتفية وثمان قنوات تلفزيونية ويوضح الشكل (٦) مدى تغطية اشعاعه للعالم العربي . وتشغل الأقمار العربية مكانين على خطي طول ١٩ و ٢٦ من المدار الاستوائي . كما يوجد نظام توابع للاتصالات العالمية (INTELSAT) وهو ما تستخدمه كثير من دول العالم في الاتصالات الدولية وتبادل البرامج والأخبار . ويسعى هذا النظام لتطوير خدماته وتحسين توزيعها باستخدام هوائيات ذات أشعة متعددة قابلة للتشكيل بحيث يمكن تغيير التغطية الأرضية بتحكم أرضي أو آلي بما يناسب العوامل الجوية وظروف التداخل غير المتوقعة . ومن الأنظمة التي يتم التخطيط لها في عالمنا العربي التابع السعودي الذي يقع على خط طول ١٧ درجة في المدار الأستوائي الثابت ، وسوف يعمل هذا القمر في نطاق الترددات «كي يو»



شكل (٤) المسارات الأرضية لتابع الاستشعار عن بعد « لاندسات »

«K U» (١٢ ــ ١٤ جيجاهيرتز) .

٣ ــ مدارات بيضاوية :

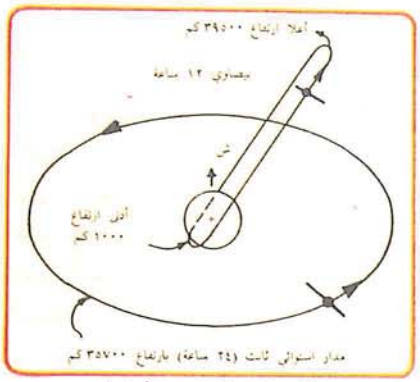
تجمع بين الوجود القريب الذي تحققه توابع المدارات القريبة والوجود البعيد الذي تحققه توابع المدار الثابت . ويستخدم الاتحاد السوفيتي هذا النوع من المدارات لتحقيق زاوية مرتفعة لتتبع المحطة الأرضية للتوابع المتحركة في الفضاء نظراً لوجود معظم مناطقه في أعلا نصف الكرة الشمالي ، مما يجعل زاوية نظر المحطات الأرضية للتابع عدة درجات فقط ، فوق خط الأفق . ويفكر الأوربيون جدياً الآن في استخدام هذه المدارات لتمكنهم من الحصول على زوايا رؤية عالية من المحطات الأرضية الصغيرة التي سوف تنتشر قريباً في المدن الأوربية . ومن فوائد زوايا الرؤية العالية تفادي التداخل من مصادر الاشعاع المختلفة داخل المدن ، وكذلك اتاحة الفرصة بصورة أوضح للتطلع للتوابع الأرضية من بين الأبنية المرتفعة داخل المدن . ويوضح الشكل رقم (٧) المسار البيضاوي بالمقارنة مع المدار الاستوائي الثابت . ومن عيوب المدارات البيضاوية وجوب استخدام أكثر من تابع واحد في كل مدار حتى تتحقق استمرارية رؤية المحطة الأرضية في مكان ما للتوابع . ومن هذه العيوب كذلك الحاجة إلى متابعة المحطة الأرضية للتابع بصفة مستمرة . ويكلف هذا ثمناً باهظاً يفكر الأوربيون في دفعه نظير التخلص من بعض مشاكل التداخل التي تعد أهم العوائق أمام أنظمة الاتصالات في المستقبل .

وهكذا فان التوابع الأرضية تعد أحدث ماتوصلت إليه تقنية الاتصالات الحديثة على الصعيدين الدولي والمحلي . وقد ثبتت فاعليتها واقتصاديات استخدامها حتى للخدمات التي لا تتعدى مسافاتها عشرات الكيلومترات . ويمثل التابعان العربي (الخالي) والسعودي

شكل (٦) تغطية « عربسات » للعالم العربي

(المستقبلي) بادرة تطبيق هذه التقنية والاستفادة منها في العالم العربي . ومن أهم ما يمكن تحقيقه من فوائد من هذه التوابع مايلي :

١ ــ الحل التام لمشاكل الاتصالات المختلفة والبث بأنواعه لمسافات بعيدة أو قريبة .

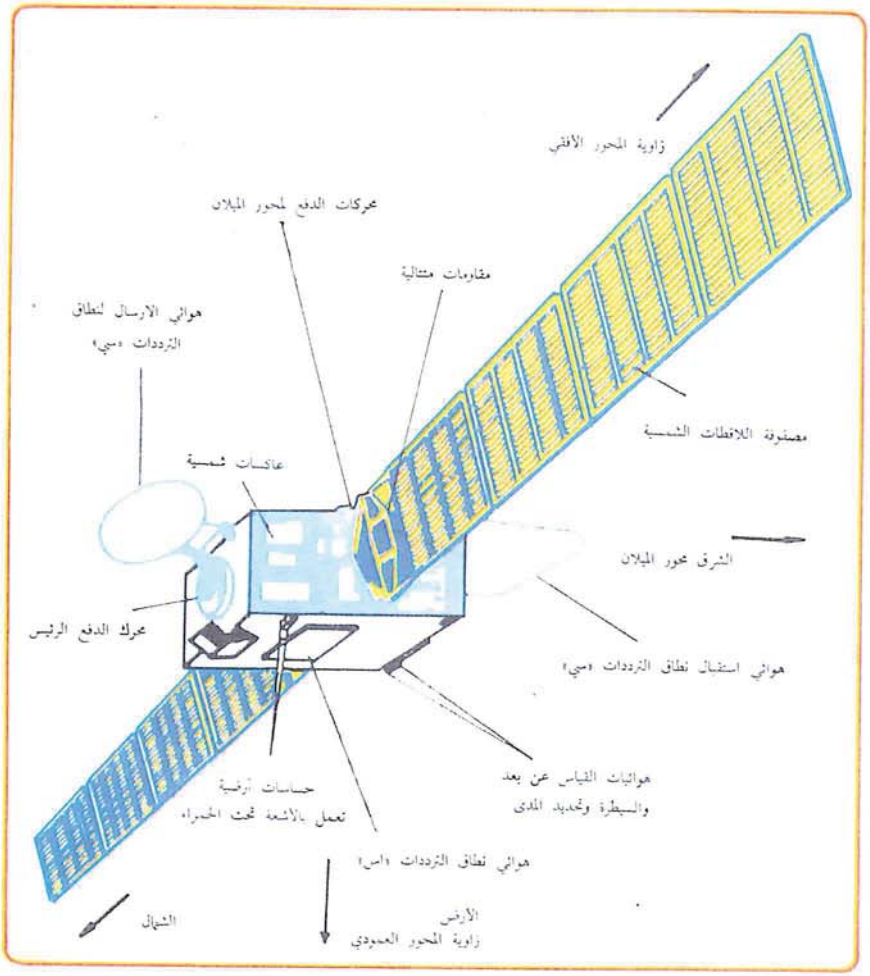


شكل (٧) المدارين البيضاوي والاستوائي الثابت

٢ ــ تعجيل التقدم في معظم فروع العلوم والمعرفة مع المقدرة الفائقة لاكتشاف ثروات الأرض والأجرام السماوية الأخرى بوساطة الاستشعار عن بعد .

٣ ــ الامكانية الكبيرة لانتشار الاتصالات الرقمية بما لها من مزايا كثيرة ستؤدي إلى تنمية الثروات العلمية والمادية دون المساس بالأمن الفكري والتراثي للأمة .

٤ ــ تحتاج تنمية التقنيات الفضائية اللازمة لمجتمعاتنا العربية والإسلامية لمجهودات محلية سريعة ، خاصة فيما يتعلق بتوسعة خدمات التابع العربي (عربسات) وتنفيذ الخدمات المقترحة للقمر السعودي .



شكل (٥) مكونات التابع العربي « عربسات »