جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل – كلية العلوم
قسم الفيزياء

دراسة تقنية ال GPS

مشروع بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم _ قسم الفيزياء
وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علم الفيزياء

إعداد الطالب

مسلم سالم كوكز

بأشراف

أ. د. ناهدة بخيت حسن

١٤٤٥هـ ٢٠٢٤م

Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Babylon
College of Science
physics department

GPS Technique

A research project submitted to the Council of the College of Science – Department of Physics
As part of the requirements for obtaining a Bachelor's degree in Physics

student name

Muslim Salem Cooks

Supervisor

Dr. Nahida Bakhit Hassan

1445 A.H 2024 A.D

بسم الله الرحمن الرحيم

{ إِنَّ اللَّهَ يُدْخِلُ الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ جَنَّاتٍ تَجْرِي مِنْ تَحْتِهَا الْأَنْهَارُ يُحَلَّوْنَ فِيهَا مِنْ أَسَاوِرَ مِنْ ذَهَبٍ وَلُؤْلُؤًا وَلِبَاسُهُمْ فِيهَا حَرِيرٌ * وَهُدُوا إِلَى الطَّيِّبِ مِنَ الْقَوْلِ وَهُدُوا إِلَى صِرَاطِ الْحَمِيدِ }

صدق الله العلي العظيم

(سورة الحج - الآية (٢٣-٢٤))

اقرار المشرف

أشهد إن إعداد البحث الموسوم بعنوان {{ دراسة تقنية ال GPS }} ، من قبل الطالب (مسلم سالم كوكز) قد جرى تحت اشرافي في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء .

المشرف :- **أ. د. ناهدة بخيت حسن**

المرتبة العلمية :- **استاذ**

التوقيع :-

التاريخ :- **/ / ٢٠٢٤**

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءاً على التوصيات المتوفرة ارشح هذا البحث للمناقشة

اسم رئيس القسم الفيزياء :- **أ. م. د. سميرة عدنان مهدي**

المرتبة العلمية :- **استاذ**

التوقيع :-

التاريخ :- **/ / ٢٠٢٤**

العنوان :- جامعة بابل_ كلية العلوم / قسم الفيزياء

إهداء

إلى أمي رمز التضحية والعطاء ...

إلى والدي الذي اعطاني الثقة كي أستمر ...

إلى أشقائي الذين كانوا نعم السند لي ...

إلى كل من آمن بي ودعمني خلال مسيرتي ...

إلى كل من طلب العلم وابتغى إليه سبيلاً ...

أهدي إليكم جميعاً ثمرة هذا الجهد

سائله المولى عز وجل أن ينفعنا به وأن يتقبله ويجعله في ميزان حسناتي

مسلم

الشكر والعرفان

لا يسعنا بعد الانتهاء من إعداد هذا البحث إلا أن أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى استاذتي الفاضلة

الدكتورة ناهدة بخيت حسن

التي تفضلت بالإشراف على هذا البحث ، حيث قدمت لي كل النصح والإرشاد طيلة فترة الإعداد فلها مني كل الشكر والتقدير .

كما لا يفوتني أن أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى كل أساتذة

قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل .

لهم مني كل الشكر و التقدير .

مسلم

الخلاصة

نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) هو نظام ملاحي يستخدم الأقمار الصناعية وجهاز الاستقبال والخوارزميات لمزامنة بيانات الموقع والسرعة والوقت للسفر الجوي والبحري والبري.
يتكون نظام الأقمار الصناعية من كوكبة من ٢٤ قمرًا صناعيًا في ستة مستويات مدارية حول الأرض، كل منها به أربعة أقمار صناعية، تدور على ارتفاع ١٣٠٠٠ ميل (٢٠٠٠٠ كم) فوق الأرض وتسافر بسرعة ٨٧٠٠ ميل في الساعة (١٤٠٠٠ كم/ساعة).
في حين أننا نحتاج فقط إلى ثلاثة أقمار صناعية لتحديد موقع ما على سطح الأرض، غالبًا ما يتم استخدام قمر صناعي رابع للتحقق من صحة المعلومات الواردة من الثلاثة الآخرين. ينقلنا القمر الصناعي الرابع أيضًا إلى البعد الثالث ويسمح لنا بحساب ارتفاع الجهاز.

Abstract

The Global Positioning System (GPS) is a navigation system using satellites, a receiver and algorithms to synchronize location, velocity and time data for air, sea and land travel.

The satellite system consists of a constellation of 24 satellites in six Earth-centered orbital planes, each with four satellites, orbiting at 13,000 miles (20,000 km) above Earth and traveling at a speed of 8,700 mph (14,000 km/h).

While we only need three satellites to produce a location on earth's surface, a fourth satellite is often used to validate the information from the other three. The fourth satellite also moves us into the third-dimension and allows us to calculate the altitude of a device.

جدول المحتويات

ت	العنوان	الصفحة
	الخلاصة .	
الفصل الاول		
١-١	المقدمة .	١
١-٢	نظام التموضع العالمي GPS	٢
١-٣	تركيب الجهاز GPS	٤
١-٤	أنواع نظام التموضع العالمي GPS	٥
١-٥	استخدامات نظام التموضع العالمي GPS	٦
١-٦	أساس عمل GPS	٧
١-٧	الهدف من البحث .	٩
الفصل الثاني		
٢-١	كيفية عمل نظام تحديد المواقع العالمي GPS عملياً	١٠
٢-٢	الأفكار الأساسية – تحديد ارتفاع الأقمار الصناعية	١١
٢-٣	قياس المسافة من القمر الصناعي	١٣
٢-٤	كيفية معرفة بث الإشارة من القمر الصناعي	١٤
٢-٥	الحصول على تزامن مثالي	١٦
الفصل الثالث		
٣-١	مصادر الخطأ وعناصر الدقة لنظام GPS	١٨
٣-٢	مصادر الخطأ	١٨
٣-٣	عناصر الدقة	٢٥
٣-٤	مواصفات الجهاز الارضي في نظام GPS للأستخدامات الدقيقة	٢٦
	المصادر	٢٨-٣٢

الفصل الاول

١-١ مقدمة

نظام التموضع العالمي (Global Positioning System) ويرمز له (GPS) هو نظام ملاحة عبر الأقمار الصناعية يقوم بتوفير معلومات عن الموقع والوقت في جميع الأحوال الجوية في أي مكان على أو بالقرب من الأرض حيث هناك خط بصر غير معاق لأربعة أو أكثر من الأقمار .

نظام التموضع العالمي يوفر النظام قدرات مهمة للمستخدمين العسكريين والمدنيين والتجاريين في جميع أنحاء العالم. أنشأت حكومة الولايات المتحدة النظام وهي التي تحافظ عليه وجعلت الوصول له مجاني لأي شخص لديه جهاز استقبال GPS [١] .

بدأت الحكومة الأمريكية مشروع GPS في ١٩٧٣ للتغلب على قيود نظام الملاحة السابق، حيث دمجت أفكار سابقة من ضمنها دراسات هندسية سرية من ستينات القرن الماضي. وزارة الدفاع الأمريكية هي التي طورت النظام، الذي استعمل في الأصل ٢٤ قمراً صناعيا. أصبح النظام يعمل بشكل كامل في ١٩٩٥. وقد أدى التقدم في التكنولوجيا والمطالب جديدة على النظام القائم إلى تحديث نظام GPS وتنفيذ الجيل القادم وهو GPS [٢].

إضافة إلى GPS، هناك أنظمة أخرى تستخدم أو قيد التطوير، نظام الملاحة الروسي أنشئ بالتزامن مع GPS، لكنه عانى من تغطية ناقصة للكرة الأرضية حتى منتصف عقد ال٢٠٠٠. هناك أيضاً نظام غاليليو للتموضع التابع للاتحاد الأوربي (مكون من ٣٠ قمر صناعي، ٢٤ قمرًا في الخدمة و ٦ احتياط) بدأ في تقديم خدماته في ٢٠١٥ [٣] .

يتكون نظام تحديد الموقع من ٢٤ قمر صناعي تحوم حول الأرض على ارتفاع ٢٠٢٠٠ كيلومتر. يقوم قمر صناعي ببث إشارة تحمل موقعه أي موقع القمر الصناعي كما تحمل توقيت أو لحظة بث الإشارة بدقة عالية مرجعها إلى ساعة ذرية بالغة الدقة. يقوم جهاز الاستقبال باستقبال الإشارات القادمة من القمر الصناعي، وعن طريق مقارنة توقيت وصول الإشارة وتوقيت بثها يمكن للجهاز معرفة زمن انتقال الإشارة وبالتالي حساب المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال، وباستقبال ثلاث إشارات من ثلاث أقمار مختلفة فإن نقطة تقاطعهم تحدد موقع جهاز الاستقبال. وبزيادة عدد الأقمار المرصودة يمكن لجهاز الاستقبال تصحيح بعض الأخطاء المرتبطة بطريقة الحساب وبالتالي زيادة دقتها [٤].

٢-١ نظام التموضع العالمي GPS

هو نظام أمريكي للملاحة اللاسلكية يتخذ من الفضاء قاعدة له، وهو نظام يوفر لجميع مستخدميه المدنيين في جميع أنحاء العالم على نحو مستمر ودون انقطاع خدمات مجانية لتحديد الموقع وتحديد الوقت والملاحة، إذ باستطاعة أي شخص لديه جهاز استقبال لنظام التموضع العالمي أن يحصل على معلومات تحدد له الموقع والتوقيت، حيث يوفر هذا النظام لعدد غير محدد من الأشخاص معلومات دقيقة عن الموقع والوقت، ويوفر النظام هذه المعلومات ليلاً ونهاراً في أي مكان من العالم وبغض النظر عن الظروف الجوية [٥].

يتكون نظام التموضع العالمي من ثلاث أجزاء: الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، ومحطات السيطرة والرصد القائمة على الأرض، وأجهزة استقبال يملكها مستخدمو نظام التموضع العالمي، وهي الأجهزة التي تتلقى الإشارات التي تبثها من الفضاء الأقمار الصناعية التابعة للنظام وتتعرف عليها، ومن ثم تعرضها على المستخدم في صورة مجسمة تقدم له معلومات ثلاثية الأبعاد (خط العرض وخط الطول والارتفاع) عن الموقع وعن الوقت [٦].

باستطاعة الأفراد شراء أجهزة يدوية صغيرة لاستقبال المعلومات من نظام التموضع العالمي، فهي معروضة للبيع في المتاجر، وباستطاعة من يحصل على مثل هذا الجهاز تحديد موقعه بدقة وتحديد خط سيره بسهولة إلى الموقع الذي يريد التوجه إليه، وذلك سواء كان يسير على قدميه أو يقود سيارة أو يطير في طائرة أو يشق طريقه في زورق ما.

لقد أصبح نظام التموضع العالمي الدعامة الرئيسية لأنظمة النقل في جميع أنحاء العالم لأنه يقدم معلومات إرشادية يتم بواسطتها تحديد خط سير عمليات النقل الجوي والأرضي والبحري، كما تعتمد عليه خدمات الإغاثة والطوارئ للتعرف على قدرات وصلاحيات موقع وتوقيت مهمة الإنقاذ والإغاثة المزمع القيام بها، كما أن خدمات التحديد الدقيق للوقت التي يوفرها نظام التموضع العالمي تعمل على تسهيل ما يتم يوميا من نشاط في أعمال البنوك والمصارف وعمليات تشغيل الهواتف المحمولة وحتى عمليات السيطرة على شبكات الطاقة الكهربائية، كما أن استخدام إشارات نظام التموضع العالمي المتاحة بدون مقابل وبدون قيود للمزارعين والمختصين بأعمال المعاينة والمسح وعلماء الجيولوجيا تمكنهم وتمكن آخرين كثيرين غيرهم من تأدية أعمالهم على نحو يتسم بقدر أكبر من الدقة والكفاءة والسلامة والتدبير في استخدام الموارد ، والشكل (١) أدناه يوضح كيفية استخدام نظام التموضع العالمي GPS [٧] .

الشكل (١) يوضح كيفية استخدام نظام التموضع العالمي GPS في الفضاء [٨] .

١-٣ تركيب الجهاز GPS

يتكون نظام التموضع العالمي GPS من ثلاث وحدات رئيسية هي :

١-٣- ١ الأقمار الصناعية GPS Satellites

تتسم الأقمار الصناعية في نظام GPS بعدة خصائص أهمها :

(١) يبلغ وزنها حوالي ٨٤٥ كغم .

(٢) يصل عمرها الافتراضي إلى سبع سنوات ونصف .

(٣) يتمثل مصدر طاقتها في بطاريات تشحن بالطاقة الشمسية ، تبلغ مساحتها ٧.٢٥ متر مربع .

(٤) تدور حول الأرض في كل ١٢ ساعة .

(٥) يبعد القمر الصناعي عن سطح الأرض بمسافة تصل إلى ٢٠٢٠٠ كم .

ويتمثل دور القمر الصناعي في تحديد المواقع من خلال الوظائف التالية :

- ❖ استقبال وتخزين البيانات المرسلة من محطة التحكم .
- ❖ الحصول على التوقيت الدقيق عن طريق ساعات الروبيديوم والسينيزيوم .
- ❖ إرسال المعلومات للمستخدم عن طريق إشارات مختلفة .
- ❖ المناورة لتعديل المدار عن طريق التحكم الأرضي

١-٣-٢ نظام التحكم الأرضي GPS Ground Control Segment

يتكون نظام التحكم الأرضي من خمس مراكز موزعه على أنحاء الكرة الأرضية وهي من الغرب إلى الشرق هاواي Hawai وإحداثياتها ٤٦ – ١٩ ٠ شمالاً ، ٣٠- ١٥٥ غرباً ، وكولورادو اسبرنجز (٥١- ٣٨ شمالاً ، ٤٩- ١٠٤ غرباً) Colorado Springs ، اسينيشن (٠ – ٨ – جنوباً ، ٠ ١٣ غرباً)

Ascension ، وديجو جارسيا (٢٠ ٧ ٠ جنوباً ، ٢٦ ٧٢ شرقاً) Diego Garcia وكوا جوالين (٥٤ – ٠٠ ٠ جنوباً ، ٥ – ١٣٦ ، شرقاً) Kwa Jwlein . وهذه المراكز معلومة الموقع بدقة عالية تبلغ نحو عشرة سنتيمترات بالزيادة أو النقصان (١٠ سم) من مراكز الأرض وتعرف هذه المركز بمحطات التحكم Tracking Stations ، وتشرف عليها البحرية الأمريكية . وتحتوي هذه المحطات الخمسة على أجهزة تحديد المواقع ، وأجهزة رصد للأحوال الجوية ، وترسل هذه الأرصاد يومياً كبيانات ٦٣ للمحطة الرئيسية في كولورادو سبرنجز في الولايات المتحدة الأمريكية [٩] .

١-٣-٣ جهاز الاستقبال Receiver

يعد جهاز الاستقبال الآلة الوحيدة التي تمكن مستخدم هذا النظام من الحصول على المعلومات سواء معلومات عن تحديد الموقع أو معلومات عن الأقمار الصناعية ، ويتكون جهاز الاستقبال من رئيسيتين الاستقبال وحدتين معدات Hardware ، وبرامج المعالجة Software [٩].

١-٤ أنواع نظام التموضع العالمي GPS

١-٤-١ أنظمة الملاحة في الشوارع (التنقل عبر الأقمار الصناعية) :

لن تضيع أبداً القيادة باستخدام هذا النوع من نظام التموضع العالمي (GPS) ، لأنه يعطي اتجاهات خطوة بخطوة ، بما في ذلك المسافة المقطوعة والسرعة والوقت المقدر للوصول.

١-٤-٢ ساعات تحديد الموقع العالمي :

هي في الواقع أجهزة كمبيوتر صغيرة مربوطة بمعصمك مع العديد من الميزات الخاصة باحتياجاتك. بالطبع ، الجانب السلبي هو الشاشة الصغيرة والحاجة إلى تغيير الأوضاع بشكل متكرر لإنجاز مهمة ما.

١-٤-٣ الهواتف المزودة بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) :

تقدم العديد من هواتف اليوم ميزة GPS هذه ميزة مريحة ، لأن معظم الناس هذه الأيام يحملون هاتفاً بغض النظر عن المكان الذي يذهبون إليه و تأتي جميع الهواتف أيضاً مزودة بإمكانية التتبع التي تفرضها الحكومة والتي تساعد في تحديد موقعك في حالة الطوارئ.

١-٤-٤ ساعة للأطفال :

ساعة الطفل هذه عبارة عن مزيج من نظام التموضع العالمي GPS وراديو لاسلكي يساعدك على تحديد مكان وجود طفلك عبر خدمة قائمة على الويب أو الهاتف.

١-٥ استخدامات نظام التموضع العالمي GPS

تنقسم استخدامات نظام التموضع العالمي GPS إلى فئات تشمل ما يلي:

١-٥-١ الطيران :

تستخدم معظم الطائرات الحديثة مستقبلات نظام التموضع العالمي GPS لتزويد الطيارين والركاب بموقع الطائرة في الوقت الفعلي كما أنها توفر خريطة للوجهات المختلفة حسب مكان عمل الطائرة.

١-٥-٢ الزراعة :

للمزارعين موسم محدد للزراعة وإزالة الأعشاب الضارة والحصاد ، وبسبب التكرار في المواسم ، فإنهم يضعون نظام التموضع العالمي GPS في جراراتهم ومعداتهم الزراعية الأخرى يتيح لهم ذلك رسم خرائط لمزارعهم والتأكد من عودتهم إلى نفس الوقت بالضبط عند الزراعة أو إزالة الأعشاب الضارة في الموسم التالي [١٠].

١-٥-٣ المسح :

المسح هو أحد استخدامات نظام التموضع العالمي (GPS) وهو أمر ضروري خاصة أنه يستخدم في رسم الخرائط وقياس القياسات المختلفة على سطح الأرض وتحت المياه.

١-٥-٤ العسكرية :

تم اعتماد نظام تطبيق GPS من قبل العديد من القوات العسكرية في جميع أنحاء العالم. بل إن دولًا أخرى قررت تطوير شبكات الملاحة عبر الأقمار الصناعية الخاصة بها كآلية دفاعية خلال أوقات الحرب.

١-٥-٥ توجيه المركبات الثقيلة :

تستخدم آلات الحفر الثقيلة المستخدمة في التعدين والإنشاءات هذه التقنية أيضًا. على سبيل المثال ، في بناء الطرق السريعة ، تم استبدال أوتاد العلامات والمساحين بأنظمة توجيه وتحكم مركبة داخل الكابينة.

١-٦ أساس عمل GPS

يحسب جهاز استقبال الجى.پى.إس موقعه عن طريق حساب توقيت الإشارات التي يتم إرسالها من أقمار GPS الموجودة على ارتفعات نحو ٣٦.٠٠٠ كيلومتر فوق سطح الأرض. يرسل كل قمر رسائل متتالية تضم التالي:

- وقت إرسال الرسالة.
- المعلومات المدارية الدقيقة ephemeris.
- السلامة العامة للنظام والمدارات العليلة لكل أقمار GPS almanac.

يستخدم جهاز الاستقبال الرسائل التي يستقبلها في تحديد وقت انتقال كل رسالة من القمر الصناعي إلى الجهاز المستقبل على الأرض. ويحسب المسافات بينه وبين كل قمر صناعي. تستخدم هذه المسافات، مع

مواقع الأقمار، ومع استخدام حساب المثلثات لحساب موقع جهاز الإرسال:أستقبال. فيتم إظهار الموقع على الجهاز المستقبل – ربما ببيان خريطة متحركة، أو تعيين خطوط الطول ودوائر العرض، ويمكن إدراج معلومات عن الارتفاع عن سطح البحر.[١١]

تُظهر وحدات GPS عديدة المعلومات، معلومات مشتقة مثل: الاتجاه، والسرعة – محسوبة من خلال تغيرات الموقع.

ربما يبدو من الوجهة النظرية أن ثلاثة أقمار صناعية تكون كافية لتحديد أي موقع على الأرض، وهذا لأن الفراغ يتكون من ثلاثة أبعاد. ولكن أي خطأ ولو بسيط جداً يحدث في تقدير المسافات الزمنية، عندما يتم ضرب الثلاثة أزمنة في سرعة الضوء العظيمة – وهي السرعة التي تنتشر بها الإشارات الكهرومغناطيسية للاقمار الصناعية – تتسبب في خطأ كبير في تحديد الموقع. لهذا تستخدم أجهزة الاستقبال أربعة أقمار صناعية أو أكثر لتحدد موقع جهاز الاستقبال بدقة.

إن الوقت المحسوب بدقة شديدة تخفيه تطبيقات GPS – التي تحدد الموقع فقط. ولكن هناك بعض تطبيقات GPS المتخصصة التي تستخدم لتعيين الوقت بدقة، مثل: "نقل الوقت"، وضبط توقيت إشارات المرور، ومزامنة محطات الهاتف النقال الرئيسية.

رغم الحاجة إلى أربعة أقمار صناعية للقيام بالعمل بشكل الطبيعى؛ يمكن استخدام عددا أقل في حالات خاصة – فإذا كان أحد المتغيرات معلوماً بالفعل يمكن لجهاز الاستقبال تحديد موقعه باستخدام ثلاثة أقمار صناعية فقط (مثلاً: يمكن أن تكون السفينة أو الطائرة قد حددت ارتفاعها عن سطح البحر). تستخدم بعض أجهزة استقبال GPS أدلة أو افتراضات إضافية، (مثل: إعادة استخدام آخر ارتفاع تم الحصول عليه، والقياس بالحدس اعتماداً على قياس سابق، والملاحة بالقصور الذاتي، وإدراج معلومات حاسب المركبة) من أجل إعطاء حساب غير دقيق للموقع عندما يكون عدد الأقمار الصناعية المرئية أقل من أربعة أقمار.[١٢] .

١-٧ الهدف من البحث

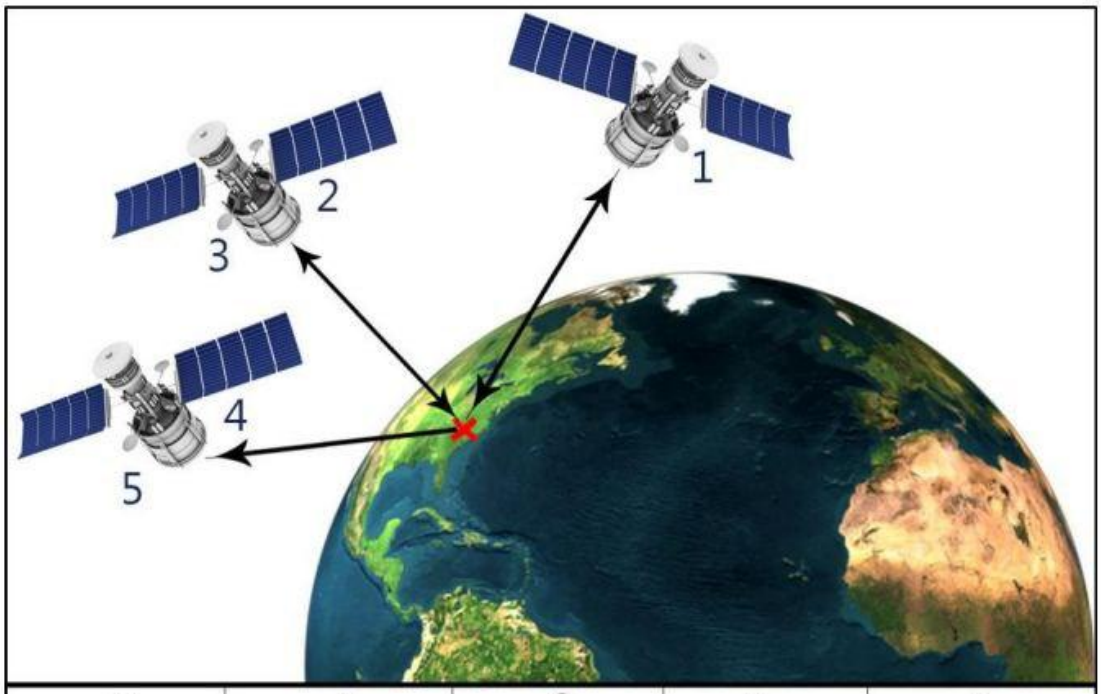
تم من خلال البحث التعرف على :

١. نظام التموضع العالمي GPS وكذلك تركيبه وانواعه .
٢. التعرف على استخدامات نظام التموضع العالمي GPS وأساس عمله .
٣. وكذلك طريقة عمل نظام تحديد التموضع العالمي GPS عملياً .
٤. التعرف على مصادر الخطأ وعناصر الدقة للنظام GPS

الفصل الثاني

٢-١ كيفية عمل نظام تحديد المواقع العالمي GPS عملياً

على الرغم من أن نظام تحديد المواقع يستخدم معلومات وأجهزة الكترونية مطورة طبقاً لتقنيات عالية جداً ، إلا أن المبادئ الأساسية وراء ذلك تعد بسيطة للغاية ، ولتفسير ذلك يمكن تقسيم هذا النظام الى خمسة أجزاء حسب الغرض منها كما يوضح الشكل التالي [١٣]:



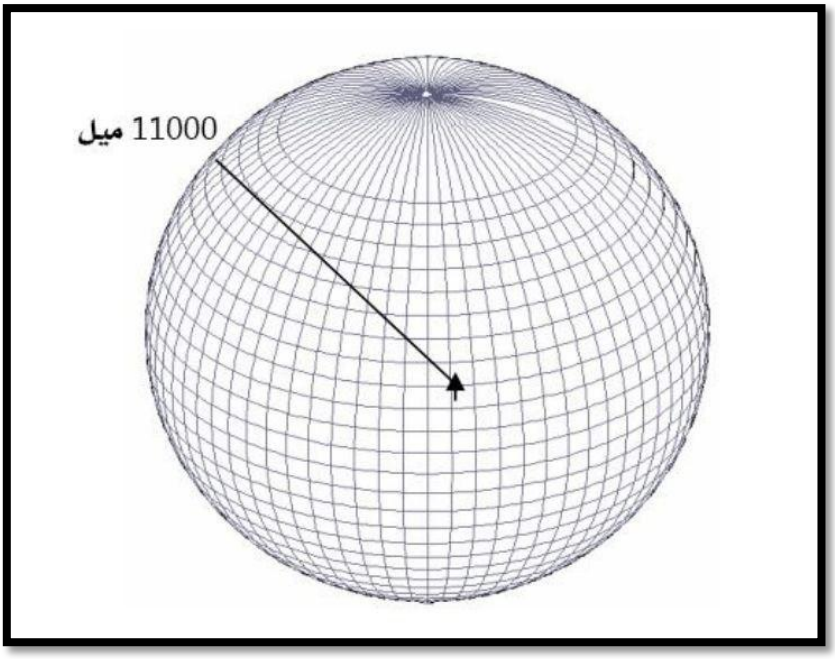
5	4	3	2	1
يتأخر انتقال إشارة GPS خلال طبقات الجو العليا (الأيونوسفير) والغلاف الجوي (التريوسفير)	بعد معرفة المسافة الى القمر الصناعي, يلزم معرفة موقعه في الفضاء	استخدام ساعات ذات دقه عالية لقياس الوقت اللازم لقطع هذه المسافة	يقوم نظام تحديد المواقع بقياس المسافة الزمنية التي استغرقها إشارة الراديو	استخدام المسح المثلثي (التثليث) من الأقمار الصناعية أساس نظام تحديد المواقع

الشكل (٢) يوضح خمسة أجزاء من نظام تحديد المواقع العالمي GPS حسب الغرض منها [١٤].

٢-٢ الأفكار الأساسية – تحديد ارتفاع الأقمار الصناعية

يعتمد نظام تحديد المواقع على إمكانية تحديد ارتفاع الأقمار الصناعية ، ويعني ذلك بأنه يمكن تحديد المواقع على سطح الأرض اعتماداً على المسافة الفاصلة بين سطح الأرض ومجموعة من الأقمار الصناعية ، حيث تمثل هذه الأقمار نقاط مرجعية Reference Points لمستخدمي النظام.

فمثلاً إذا تم قياس ارتفاع قمر صناعي على ارتفاع ١١ ألف ميل أي طول السهم من الراصد إلى القمر، يؤدي هذا الى تحديد موقع الراصد في مكان ما على سطح الأرض محتلاً القمر الصناعي مركزه وبنصف قطر ١١ ألف ميل ، كم موضح في الشكل التالي:



الشكل (٣) يوضح تحديد ارتفاع الأقمار الصناعية[١٤].

تحديد موقع الراصد في مكان ما على سطح الأرض محتلاً القمر الصناعي مركزه وبنصف قطر ١١ ألف ميل و يمكن قياس المسافة الى القمر الصناعي بالعلاقة الرياضية التالية :

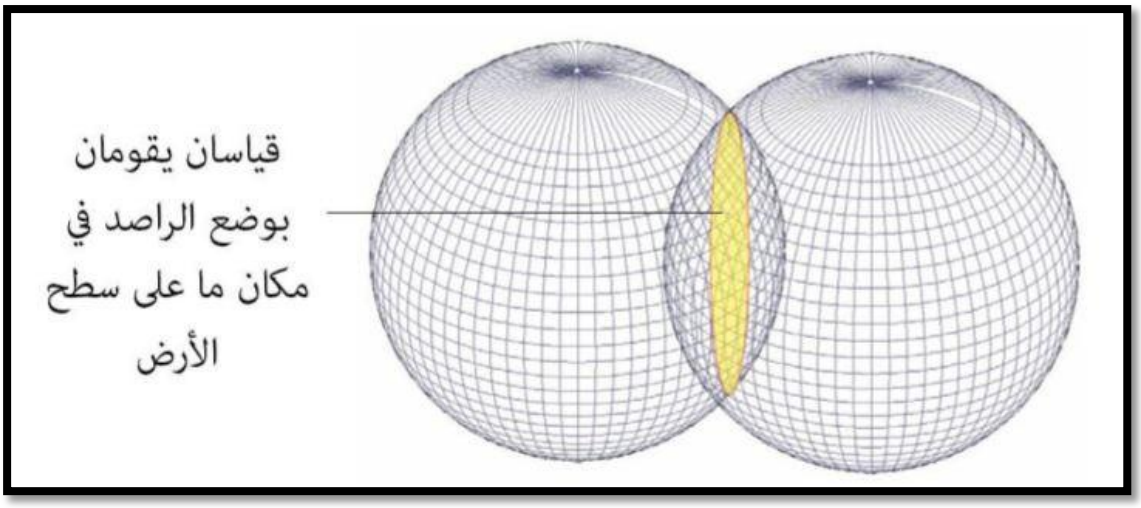
$$r = c \times (t_r - t_o)$$

حيث ان :

r / يمثل نصف القطر و C / يمثل سرعة الضوء والتي تكون قيمتها بالفراغ هي (3×10^8 m/s)

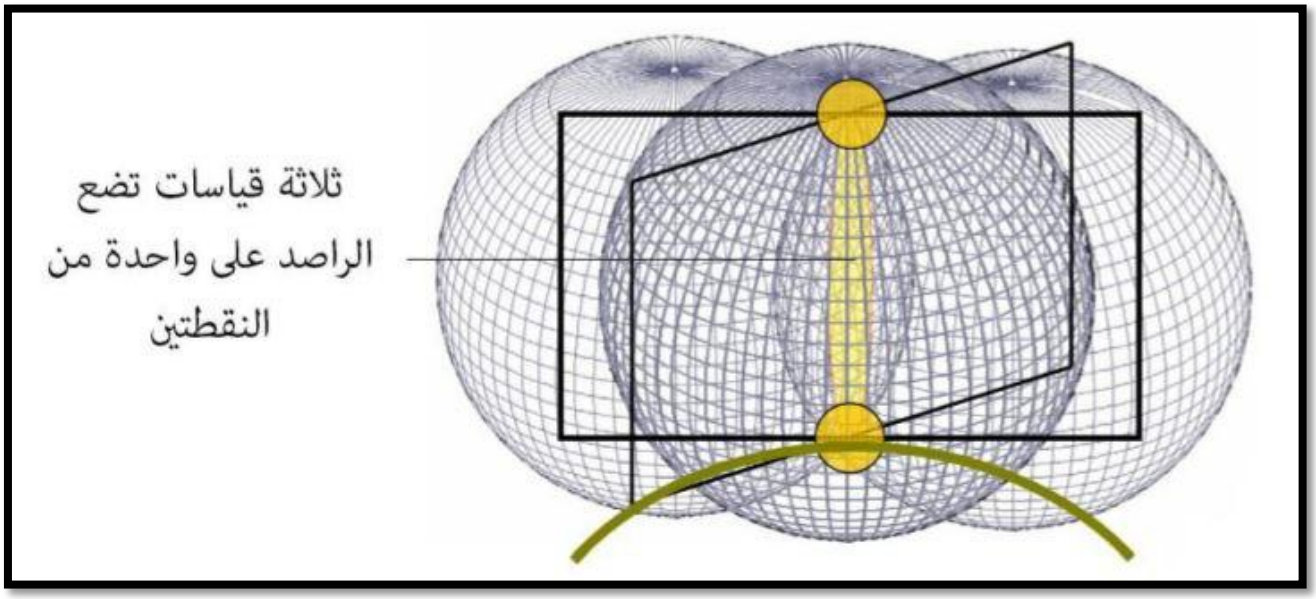
و t_o يمثل الزمن عند نقطة الأصل و يمثل الزمن عند الاستلام .

وإذا تزامن هذا مع رصد قمر صناعي آخر على ارتفاع ١٢ ألف ، سوف يكون موقع الراصد في الحيز الذي يتقاطع عنده شكلي الأرض ، كما موضح بالشكل التالي :



الشكل (٤) يوضح قياسان لقمرين صناعيين على ارتفاع ١٢ ألف عن الارض[١٥].

قياسان يقومان بوضع الراصد في مكان على سطح الأرض وفي الوقت نفسه إذا تم رصد قمر صناعي ثالث على ارتفاع ١٣ ألف ميل فسوف يتكون نقطتان نتيجة تقاطع دائرة القمر الصناعي الثالث مع دائرتي التقاطع للقمرين السابقين كما يوضح الشكل التالي :



الشكل (٥) يوضح تكون نقطتان نتيجة تقاطع دائرة القمر الصناعي الثالث مع دائرتي التقاطع للقمرين السابقين

ثلاثة قياسات تضع الراصد على واحدة من النقطتين ولتحديد أية من النقطتين التي تمثل مكان الراصد لابد من رصد قمر صناعي رابع ، حيث تكون إحدى هذه النقطتان حقيقية (مكان الراصد) ، والثانية افتراضية لا تنطبق على سطح الأرض ، وتحتوي أجهزة الحواسب الآلية في أجهزة الاستقبال في نظام تحديد المواقع على وسائل تقنية وفنية مختلفة تستطيع التمييز بين النقطة الحقيقية والنقطة الخاطئة .

وبصفة عامة تؤكد عمليات حسابات المثلثات Trigonometry ضرورة استخدام أربعة أقمار صناعية لتحديد الموقع بدقة عالية . لكن يمكن تحقيق ذلك عملياً من خلال ثلاثة أقمار صناعية فقط ، ويتم ذلك في حالة رفض النقطة الافتراضية . ومما سبق تتجلى الفكرة الأساسية من وراء استخدام نظام تحديد المواقع GPS وهي الاعتماد على الأقمار الصناعية مرجعية في تثليث الموقع على سطح الأرض [١٥].

٢-٣ قياس المسافة من القمر الصناعي

يتوقف نظام تحديد المواقع على معرفة المسافة الفاصلة بين الراصد والأقمار الصناعية ، ومما يثير الدهشة أن الفكرة الأساسية وراء قياس المسافة إلى القمر الصناعي هي المعادلة نفسها القديمة وهي:

المسافة = السرعة × الزمن

ويعني هذا أن النظام GPS يعتمد على حساب الزمن الذي تستغرقه إشارة راديوية فردية Signals in Radio من القمر حتى تصل إلى الراصد ومن ثم تحسب المسافة من خلال الزمن ، خاصة وأن الموجات الراديوية تسير بسرعة الضوء نفسها (١٨٦) ألف ميل في الثانية ، فإذا أمكن معرفة بداية بث القمر الصناعي لهذه الموجات ومعرفة وقت استقبالها بدقة ، يكون من السهل معرفة المسافة التي قطعتها ، وذلك بضرب هذا الزمن بالثواني في ١٨٦ ألف ميل [١٦].

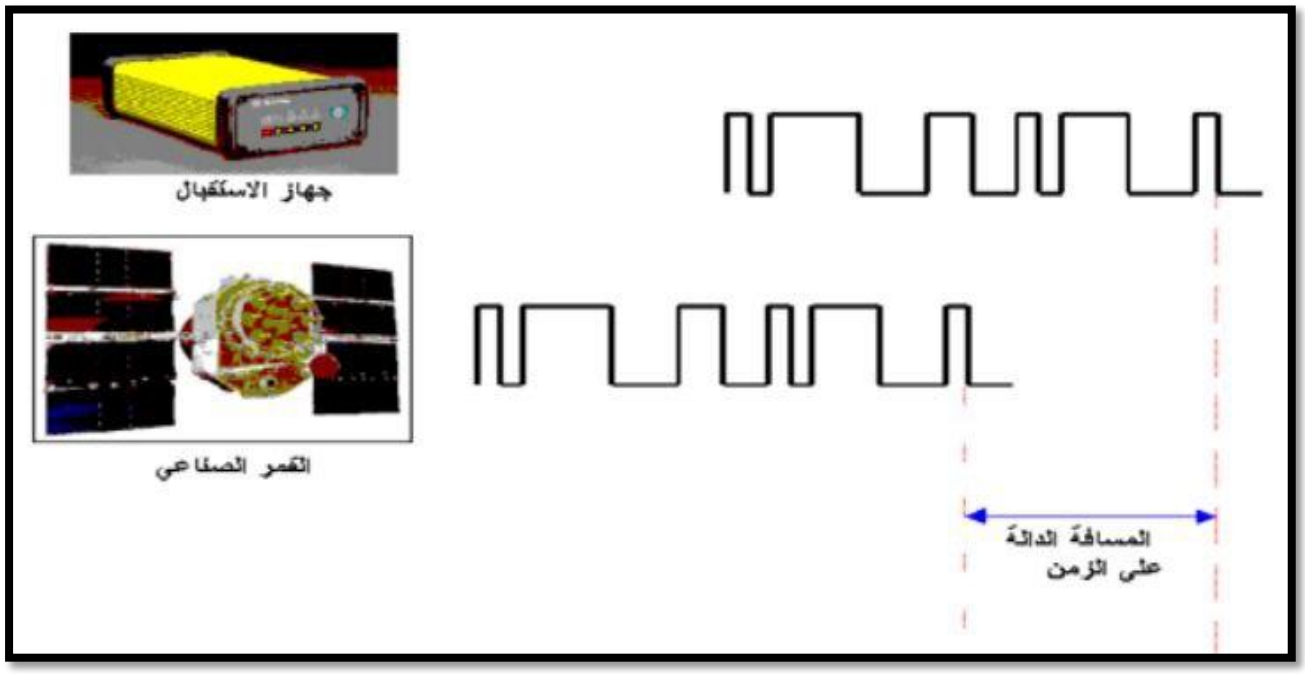
" المسافة بين موقع ما والقمر الصناعي " المدة التي تستغرقها الإشارة من القمر الصناعي إلى الموقع (٣ / ١٨٦,٠٠٠) .

ومما سبق يتضح أن معرفة الزمن هو الأساس في معرفة المسافة ، وبالتالي ستكون ساعة اليد وسيلة تقديرية لا تتفق والسرعة الفائقة للضوء ، خاصة إذا كان القمر الصناعي في وضع مسامات للموقع المراد تحديده ، فإن موجاته التي يبثها سوف تستغرق زمناً لا يزيد عن ستة أجزاء من مائة من الثانية

كي تصل إلى الراصد وبالتالي يتيح نظام تحديد المواقع للراصد إمكانية التعامل مع الوقت بصورة متقدمة جداً ، حيث تستطيع معظم نظم الاستقبال من قياس الزمن بدقة النانو ثانية Accuracy Nanosecond والذي يعادل (٠.٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ جزء من ألف مليون جزء من الثانية) ، لذا أطلق على نظام تحديد المواقع أنه من أطفال الثورة الإلكترونية [١٧].

٢-٤ كيفية معرفة بث الإشارة من القمر الصناعي

يتوقف قياس زمن الإشارة من القمر الصناعي حتى يستقبلها جهاز الاستقبال على معرفة وقت بث هذه الإشارة من القمر الصناعي - خاصة وأن هذه الفترة الزمنية لا تتجاوز أجزاء من الثانية - وللتغلب على ذلك قام مصممو نظام تحديد المواقع بجعل كل من القمر الصناعي وجهاز الاستقبال يتزامنا تزامناً دقيقاً في توليد أو إظهار شفرة معينة ، ثم يتلقى بعد ذلك جهاز الاستقبال الإشارات المرسلة من القمر الصناعي ، وعليه يتم حساب الوقت الذي استغرقته الإشارة منذ أن قام جهاز الاستقبال بتوليد الشفرة وإظهارها حتى استقباله لإشارة القمر الصناعي . أي أن زمن إرسال الشفرة من القمر الصناعي هو الفرق بين وقت توليد الشفرة في جهاز الاستقبال واستقباله لإشارة القمر الصناعي ، كما يوضح بالشكل التالي :



الشكل (٦) يبين الفرق بين وقت توليد الشفرة في جهاز الاستقبال واستقباله لإشارة القمر الصناعي[١٨].

ولتوضيح ذلك ، نفترض أن هناك شخصان يقفان في مواجهة بعضهما في نهايتي إستاد لكرة القدم ، بحيث يكون كل منهما في طرف ويقومان بقراءة الأرقام من واحد حتى عشرة في ... اللحظة نفسها مع

محاولة سماع صوت بعضهما ، فسيسمع الشخص الأول صوته وهو يرد واحد . اثنان ... ثلاثة ، وبعد برهة سيسمع صوت زميله يردد الأرقام نفسها ، بمعنى أن سماع الأرقام يأتي متأخراً بعض الشيء عن عدها الحقيقي ، أي أنه في الوقت الذي يردد فيه إحداهما الرقم ثلاثة (مثلاً) يتزامن مع سماعه لصوت زميله يردد الرقم واحد ، وسبب ذلك أن الصوت يستغرق بعض الوقت حتى يصل إلى كل منهما ، وحيث أنهما تزامنا في بدء العد ، فيمكن قياس الزمن الذي استغرقه الصوت بينهما من خلال فارق الوقت الذي يقول أولهما واحد وسماعه لصوت الثاني يردد الرقم نفسه . ويمثل هذا الزمن الوقت الذي استغرقه الصوت لعبور الإستاد ، وهذه هي الفكرة التي يعتمد عليها نظام تحديد المواقع [١٨].

وتعطي ميزة استخدام مجموعة من الشفرات أو الرموز إمكانية قياس الزمن في أي وقت أي أنه ليس من الضروري بدء القياس عند ترديد وسماع الرقم واحد ، ولكنه يمكن قياس سرعة مرور الصوت بين أي زوج من الأرقام وليكن سبعة مثلاً ولا يستخدم نظام تحديد المواقع أرقاماً ، لكنه يعتمد على ما تولده وتظهرة الأقمار الصناعية وأجهزة الاستقبال من مجموع عات معقدة من الشفرات الرقمية Digital of Set Complicated Codes ، وصممت معقدة حتى يمكن مقارنتها بسهولة بعيداً عن الغموض وتظهر هذه الشفرات على شكل سلسلة طويلة من الذبذبات العشوائية وهي في حقيقة الأمر ليست عشوائية لكنها عبارة عن ذبذبات تتكرر كل ملي ثانية millisecond لذا تبدو وكأنها شفرات عشوائية Codes Random كما يوضح الشكل (٧) التالي :

الشكل (٧) يوضح الشفرات العشوائية [١٩].

٢-٥ الحصول على تزامن مثالي

تبلغ سرعة الضوء - كما سبق الإشارة - حوالي ١٨٦ ألف ميل في الثانية - وإذا كان هناك فرق في التزامن بين قمر صناعي وجهاز استقبال جزء من مائة في الثانية (٠.٠١ من الثانية) فإن ذلك يعني خطأ في القياس بنحو ١٨٦٠ ميل بمعنى أن المشكلة تكمن في كيفية التأكد من تزامن كل من القمر الصناعي وجهاز الاستقبال في إطلاق الشفرات في الوقت نفسه تماماً ، ويمكن تفسير ذلك بأن الأقمار الصناعية تحمل على متنها ساعات ذرية Atomic Clocks تعرف بساعات الروبيديوم والسيزيوم ، وتتسم بدقتها العالية ، وارتفاع ثمنها بشكل خيالي ، ويحمل كل قمر صناعي أربع ساعات من هذا النوع بهدف ضمان أن واحدة منها تعمل على الأقل . وإذا تم وضع مثل هذه الساعات في أجهزة الاستقبال ستؤدي إلى رفع أسعارها ، إضافة إلى أن هناك وسيلة أخرى لإنجاز هذا التزامن باستخدام ساعات ذات قيمة معقولة موجودة في أجهزة الاستقبال ، ويتم ذلك بإجراء قياس المسافة إلى قمر صناعي إضافي حتى يتم تعويض الخطأ في التزامن من قبل الراصد ، بمعنى أنه يلزم إجراء ثلاثة قياسات إلى ثلاثة أقمار (كما سبق الإشارة) [١٩].

وقد تم برمجة الحواسب الآلية المثبتة في أجهزة الاستقبال ، بحيث أنه عندما تستقبل قياسات خاطئة لا تتقاطع في نقطة واحدة ، وبالتالي فإنها ستقوم بحذف أو إضافة وقت للقراءات الثلاث حتى تتجمع وتتلاقى في نقطة واحدة ، أي أنها ستعمل تلقائياً بحذف ثانية واحدة - بالنسبة للحالة السابقة - من القياسات الثلاثة حتى تُمكن الدوائر من التقاطع في نقطة الموقع المراد تحديده . وفي الواقع أن الحواسب الآلية لا تتلقى القراءات على غير هدى ، بل تستخدم نظريات علم الجبر في حل المشكلة على النحو السابق .

تتطلب القياسات الدقيقة ثلاثة أبعاد وأربعة أقمار صناعية ، حيث يحتاج الراصد إلى أربعة قياسات - يجب أن يتذكر الراصد هذا الرقم جيداً - لتلافي الخطأ في أحد القياسات ، وذلك لأنه لن يستطيع الحصول على نتائج دقيقة بدون أن يكون هناك أربعة أقمار صناعية في الفضاء.

ويتكون نظام تحديد المواقع من أربعة وعشرين قمراً صناعياً - كما سبقت الإشارة - ويعني هذا أنه سيكون دائماً هناك أكثر من أربعة أقمار في الأفق يمكن رصدها من أي موقع على سطح الأرض.

وقد أثرت الرغبة في الحصول على قياس دقيق ومستمر على تصميم أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع ، فيتكون بعضها من أربعة قنوات بحيث تُخصص قناة لكل قمر صناعي وتعمل متزامنة ، لكن بعض التطبيقات لا تتطلب مثل هذه الدقة اللحظية ، لذا فإن استخدام جهاز استقبال اقتصادي ذات قناة واحدة يفي بالغرض ، ويقوم هذا الجهاز - ذات القناة الواحدة - باستقبال أربع قراءات متفرقة ، ثم يقوم بعمل التزامن لها قبل إعطاء النتائج ، ويستغرق هذا ما بين ثانيتين إلى ثلاثين ثانية ، ويعد هذا الوقت سريعاً في بعض التطبيقات . لكن مثل هذه الأجهزة لا تتمكن من أداء وظيفتها بصورة دقيقة خاصة عند تحديد السرعة ، والتي تعد من المميزات الفريدة التي يتسم بها نظام تحديد المواقع حيث يقوم بقياس السرعة بصورة دقيقة ، لذا فإن أي حركة لجهاز الاستقبال أثناء استقباله للقياسات الأربعة ينتج عنها خطأ في دقة هذه القياسات . ويظهر عيب آخر لهذا النوع من أجهزة الاستقبال ، عندما تقوم الأقمار الصناعية بإرسال بيانات خاصة بأنظمتها والتي تحتاج إلى ثلاثين ثانية حتى يتمكن الجهاز من قراءتها ، مما يؤدي إلى اعتراض عملية القياس في كل مرة يتم فيها قراءة بيانات قمر صناعي آخر [٢٠].

ويمثل جهاز الاستقبال ثلاثي القنوات الحل الأكثر شيوعاً ، حيث تقوم إحدى القنوات بقياس وحساب الزمن ، في حين تقوم إحدى القناتين الباقيتين بتحديد القمر التالي بإشارات الراديو تمهيداً لقياسه ، وعند إتمام عملية القياس تنتقل تلقائياً إلى القمر التالي دون إضاعة أي وقت في قراءة البيانات الخاصة به . وفي الوقت نفسه تقوم القناة الثالثة - تعرف في الغالب باسم مدبر المنزل Housekeeping - بالبحث عن القمر التالي وتحضير العمل تمهيداً لقياسه ، وبالتالي يتضح أن جهاز الاستقبال ثلاثي القنوات يقوم بإتمام عملية التزامن بصورة دقيقة للغاية ، ومن مميزاته أيضاً أنه يمكن برمجته لمتابعة ثمانية أقمار صناعية ، إذ تقوم قناة من الثلاثة بالتعامل مع إحدى الأقمار الصناعية ، وفي الوقت نفسه تقوم القناتين الأخيرتين بالتحضير للتعامل مع القمر الصناعي التالي دون أية إعاقة لعلمية القياس[٢١].

الفصل الثالث

٣-١ مصادر الخطأ وعناصر الدقة لنظام GPS

يستخدم نظام GPS في المساحة التطبيقية والمساحة الجيوديسية كنظام لإيجاد إحداثيات النقاط الجيوديسية بدقة عالية ولكن يواجه النظام عدة أخطاء تنقسم إلى أخطاء في تحديد القمر الصناعي وأخطاء تحدث للإشارة المرسلة من القمر الصناعي أثناء مرورها من القمر الصناعي وحتى وصولها للمستقبل الأرضي وأخطاء في المستقبلات الأرضية، وفي هذا الفصل نستعرض هذه الأخطاء وكيفية التغلب عليها للوصول الى الدقة المطلوبة في إيجاد الإحداثيات .

٣-٢ مصادر الخطأ

مصادر الأخطاء في نظام الـ GPS تقسم إلى ثلاثة أقسام [٢٢]:

- أخطاء صادرة من القمر الصناعي
- أخطاء الإشارة المرسلة من القمر إلى المستقبل
- أخطاء صادرة من المستقبل.

٣-٢-١ أخطاء صادرة من القمر الصناعي

❖ **اخطأ موضع القمر في مساره**

ينتج هذا الخطأ نتيجة حيود القمر الصناعي في مساره عن المدار المحدد له في الفضاء وهذا نتيجة لتأثير جاذبية القمر مع جاذبية الكرة الأرضية وجاذبية الأجسام في الفضاء الخارجي التي قد تؤثر على جاذبية الأرض والأجسام التابعة لها.

يتم اكتشاف قيمة حيود القمر الصناعي عن مساره عن طريق نقاط المراجعة الأرضية المنتشرة على الكرة الأرضية والتي من وظيفتها اكتشاف ومتابعة حركة القمر الصناعي ويتم ارسال رسالة الى القمر الصناعي لتعديل مساره في الفضاء على مداره الطبيعي، ويتم أيضا إرسال قيمة الخطأ في الأرصاد الناتجة عن حيود القمر الصناعي كرسالة ملحقة بالرسالة الملاحية المرسلة مع الإشارة من القمر الصناعي إلى الأجهزة الأرضية (المستقبلات) [٢٣].

❖ **خطأ الانتقاء**

جميع الأخطاء الناتجة عن ساعة القمر الصناعي ومدارات الأقمار وتأثير الغلاف الجوي وتعدد المسار والمستقبل تأثيرها على المسافة المحسوبة يقل ١٠ أمتار أي إن أقصى خطأ يمكن أن يحدث في المسافة المحسوبة يكون بين ١٠ - ٢٠ متر، ولم ترغب الولايات المتحدة الأمريكية المطورة لنظام الرصد العالمي GPS في توفير هذا القدر من الدقة لعامة المستخدمين. لذلك تعمدت وزارة الدفاع الأمريكية إحداث خطأ متعمد يؤدي الى نتائج ذات دقة أقل بكثير في حدود ١٠٠ متر ولذلك أصدرت ما يسمى بخطأ الانتقاء حيث يتم إرسال معلومات مدارية خاطئة عن الأقمار الصناعية ضمن الإشارات التي ترسلها ويتم بواسطتها حساب الموقع مما يؤدي الى حساب الموقع بطريقة أقل دقة ويكون مقدار الخطأ الناتج كبير جداً ١٩[٢٤].

وفي نفس الوقت زودت الولايات المتحدة الأمريكية الأجهزة الأرضية المستخدمة للأغراض الحربية الأمريكية بقطع خاصة وشفرات تلغي تأثير خطأ الانتقاء لتعطي نفسها دائماً مميزات في التحديد الدقيق للمواقع .

❖ **خطأ الرسالة الملاحية**

ترسل الأقمار الصناعية ضمن إشارتها المرسلة للأجهزة الأرضية (المستقبلات) رسالة تعرف باسم الرسالة الملاحية وهي رسالة تتضمن معلومات خاصة تستخدم في تحديد الموقع وهذه المعلومات عبارة عن معلومات عن المدار وموقع القمر الصناعي وإحداثياته وزمن الإشارة ورقم تشفير القمر الصناعي وكود القمر الصناعي وبعض المعلومات عن خواص الغلاف الجوي اللحظي وهذه الرسالة لها الدور

الكبير في تحديد المواقع بدقة ولذلك فإن أي خطأ في معلومات الرسالة المرسلة تؤثر على دقة تحديد المواقع .

لذلك تقوم محطات الرصد الأرضية الموزعة على سطح الكرة الأرضية بتجميع معلومات دقيقة وتصحيح أي خطأ في رسالة المعلومات الملاحية وإرسالها بدقة إلى القمر الصناعي ليرسلها بدوره إلى الأجهزة الأرضية المستقبلات بدقة عالية [٢٥].

❖ ساعة القمر الصناعي

يحتوي القمر الصناعي على ساعة ذرية من الروبيديوم أو السيزيوم عالية الدقة حيث إن حساب الزمن بدقة عالية يعطينا حسابات دقيقة لتحديد المسافة من القمر الصناعي الى الأجهزة الأرضية (المستقبلات) وهو ما يعطينا الدقة العالية في تحديد المواقع، ولكن قد يحدث خطأ في الزمن بالقمر الصناعي بسبب خطأ بالساعة الذرية مع مرور الوقت.

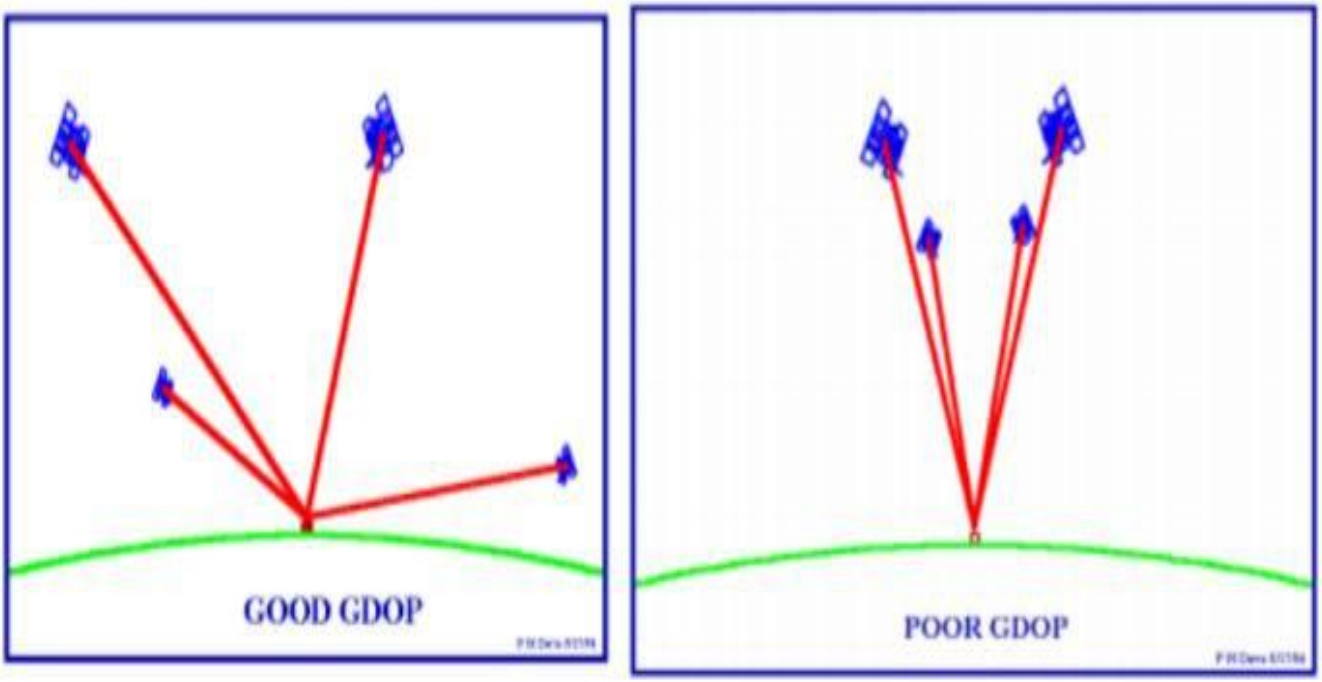
هذا الخطأ الناتج عن ساعة القمر الصناعي غير المصححة يمكن أن يتسبب بخطأ بقيمة ١ متر. يمكن التحكم بخطأ الساعة الذرية للقمر الصناعي وتصحيح قيمة هذا الخطأ عن طريق وحدات التحكم ومحطات المراجعة والمتابعة الأرضية وبالتالي تقوم تلك الوحدات والمحطات بتصحيح قيمة الخطأ وإرساله إلى القمر الصناعي مع الرسالة التي يتم إرسالها إلى القمر الصناعي من محطة التحكم الرئيسية.

❖ خطأ توزيع الأقمار

من أهم العوامل المؤثرة على دقة الرصد من الأجهزة الأرضية المستقبلات) هو توزيع الأقمار الصناعية في الفضاء توزيعاً جيداً وهو ما يعطي مزيداً من الدقة في تحديد المواقع وحساب الإحداثيات للنقاط. ولقد روعي عند إطلاق الأقمار الصناعية أن يكون توزيعها توزيعاً دقيقاً وأن تتوافر دائماً بشكل توزيعي يراعي الدقة المطلوبة في أي موقع [٢٦].

ولابد من أن يقوم المشغل من اختبار ودراسة توزيع الأقمار الصناعية في الفضاء في منطقة التشغيل قبل الرصد بالأجهزة الأرضية عن طريق فتح الجهاز الأرضي لبضع لحظات وتجميع بيانات عن الأقمار الصناعية المتواجدة في الفضاء الخارجي والذي سيتم الرصد عليها ومن هذه المعلومات تتم معرفة التوزيع الدقيق للأقمار وإذا كان توزيع الأقمار في الفضاء بشكل يتيح دقة عالية فإن المشغل يقوم ببدء الرصد على الأقمار الصناعية .

ومن حسابات تحديد المواقع يمكن القول أن العدد والتوزيع الهندسي للأقمار الصناعية المرصودة يؤثران بشكل كبير على القياسات، فمثلاً لو رصدت أربعة أقمار صناعية قريبة من بعضها وليست موزعة توزيعاً جيداً إذن متر واحد خطأ في قياس المسافة سوف يسبب من ١٥ الى ١٠٠ متر خطأ في تحديد الموقع، بينما لو كانت هناك أقمار صناعية موزعة توزيعاً جيداً في الفضاء فإن الخطأ سوف يكون أقل من ١.٥ متر لكل متر في قياس المسافة [٢٧].



الشكل (٨) يبين الفرق بين التوزيع الصحيح للأقمار الصناعية والتوزيع الخطأ[٢٨].

٣-٢-٢ أخطاء الإشارة المرسلة من القمر إلى المستقبل

١. أخطأ طبقات الغلاف الجوي

تعاني إشارة القمر الصناعي أثناء انتشارها من هوائي القمر الصناعي إلى هوائي الأجهزة الأرضية (المستقبلات) من تأثيرات الغلاف الجوي التالية:

١- تأخير الانتشار في طبقة الأيونوسفير

٢- تأخير الانتشار في طبقة التروبوسفير

- تأثير طبقة الأيونوسفير على إشارات نظام الـ GPS

طبقة الأيونوسفير هي طبقة من طبقات الغلاف الجوي والتي توجد بها الإشعاعات المؤينة مثل الموجة فوق البنفسجية والأشعة السينية وتكون نسبة الأيونات والإلكترونات فيها كافية للتأثير على انتشار الموجات الإلكترومغناطيسية. يبلغ ارتفاع طبقة الأيونوسفير من ٥٠ إلى ٢٠٠٠ كم عن سطح الأرض، وهذه الطبقة غير ثابتة الأبعاد بطبيعتها وتتراوح كثافة الالكترونات فيها من مكان لآخر وتزيد عند ارتفاع فوق ٨٠٠ كم طبقة البلازما سفير) ونظراً لأن ارتفاع الأقمار الصناعية في نظام الـ GPS أكبر هذه الارتفاعات ٢٠٢٠٠ كم لذلك فإن مستخدم أجهزة الـ GPS لتحديد المواقع أو للملاحة لا يحتاج لفصل تأثير طبقتي الأيونوسفير والبلازما سفير وتتم دراسة تأثير الطبقتين كمركب واحد العوامل الرئيسية المؤثرة دائماً في تكوينات طبقة الأيونوسفير هي النشاط الشمسي والحقل المغناطيسي [٢٩].

تتكون طبقة الأيونوسفير من الكترونات تتأثر بحيوية الشمس (الانفجارات الشمسية) وتتم دراسة توزيع الالكترونات و الأيونات بواسطة طريقتين :

- ❖ عمليات الكيمياء التصويرية
- ❖ عمليات النقل

ويتم قياس كثافة الألكترونات بعدد الإلكترونات في المتر المكعب. وعندما تمر موجات وإشارات الرصد بهذه الطبقات فإنها تأخذ مساراً منحنياً في الموجة المشفرة وأبسط في الموجة الحاملة .

يسمى الخطأ الناتج عن انتشار الإشارة في طبقة الأيونوسفير بالانكسار الأيونوسفيري ويتعلق بالتردد المستعمل والموقع الجغرافي والزمن .

يمكن إزالة تأثير طبقة الأيونوسفير بالرصد على أجهزة أرضية مستقبلات) ثنائية التردد حتى يتم حذف مقدار الخطأ الناتج عن تأخير الإشارة المرسلة .

- تأثير طبقة التروبوسفير على إشارات نظام الـ GPS

طبقة التروبوسفير هي الطبقة السفلى للغلاف الجوي وهذه الطبقة تبدأ من سطح الأرض الى ارتفاع يتراوح من ٨ كم الى ١٣ كم من الغلاف الجوي ومن خواصها التغيرات في درجة الحرارة والضغط الجوي والرطوبة وتحتوي على قيمة عالية من بخار الماء.

هذه الطبقة لديها القدرة على تقليل سرعة حامل الموجة كذلك لا يمكن إزالة تأثير طبقة التروبوسفير بالرصد على أجهزة أرضية مستقبلات) ثنائية التردد كما يتم في طريقة تقليل خطأ طبقة الأيونوسفير .

الطريقة الوحيدة لإزالة تأثير خطأ الرصد الناتج من تأثير طبقة التروبوسفير هي قياس مقدار بخار الماء ودرجة الحرارة والضغط وتطبيق نموذج رياضي والذي يمكنه قياس مقدار التأثير الناتج عن طبقة التروبوسفير [٢٩].

2. خطأ تعدد المسار

وهي الظاهرة المعروفة بوصول أكثر من إشارة أو عدة إشارات منعكسة إلى الهوائي الخاص بالأجهزة الأرضية (المستقبلات) بالإضافة إلى الإشارة المباشرة من القمر الصناعي. ويمكن أن يكون مصدر الموجات المنعكسة في تعدد المسار من سطح الأرض، شوارع، معابر مائية، عربات، أو أشياء أخرى. لذلك أخذ هذا بعين الاعتبار أثناء اختيار مواقع الأجهزة الأرضية (المستقبلات) .

يعتمد تأثير هذه الانعكاسات على قوة الإشارة المنعكسة وقيمة التأخير من الإشارة الأصلية والمستقبلة بواسطة المستقبل وكذلك طريقة القياس بواسطة المستقبل .

يؤثر تعدد المسار على كل من قياسات طور الموجة الحاملة والشفرة. إن تأثيره على قياسات الشفرة أكبر بمقدار الضعف من تأثيره على قياسات طور الموجة الحاملة. وتتراوح قيم هذه التأثيرات على الموجات بين ١.٣ متر و ٥ متر في بيئات قياس مختلفة.

يؤدي هذا التأثير في ظروف قياس سيئة لفقدان الاتصال مع القمر الصناعي ويسبب قفزات قياس عديدة تجب العناية بحساب تأثير تعدد المسار خاصة بإزدياد استعمال مستقبلات الشفرة الدقيقة في المسح الدقيق والمسح السريع. يسبب تأثير تعدد المسار على قياسات الموجة الحاملة تغيراً بالطور الذي يسبب تغيراً دورياً ملحوظاً بمقدار عدة سنتيمترات في قياسات خطوط القاعدة .

إن خطأ تعدد المسار لا يؤثر فقط على تحديد الموقع ولكن يؤثر أيضاً على الفترة الزمنية اللازمة لحل قيمة الغموض في أرصاد الموجة الحاملة. لذا فإنه من الضروري التقليل من خطأ تعدد المسار وبناء عليه لابد من اعتبار التوصيات التالية [٣٠]:

- تحسين نوعية المستقبل واستخدام دوائر ترددية عالية الدقة ومطورة
- تخفيف قيمة خطأ تعدد المسار في قياسات الموجة الحاملة باستخدام النماذج الرياضية .
- استخدام أنواع من المستقبلات المعدلة التي تقوم باكتشاف وحذف الموجات المنعكسة .

لإظهار قيمة الخطأ الناتج من تعدد المسار في الموجة الحاملة والشفرة نتبع الخطوات التالية :

- تحليل مجموعات المعلومات المأخوذة بواسطة المستقبل

- يتم تصحيح خطأ الغلاف الجوي بالنسبة للموجة الحاملة والشفرة

- ثم يتم فصل الموجتين

- يتم حساب قيمة الغموض للموجة الحاملة

- يتم اكتشاف خطأ قفزة القياس (Cycle Slips) وتصحيحه.

- الفرق بين قيمة الموجتين المتبقى يكون مكوناً من تشوش الشفرة وخطأ تعدد المسار وهكذا يكون من السهل معرفة قيمة خطأ تعدد المسار المتبقية وحذفها .

للعمل على تجنب تأثير خطأ تعدد المسار يمكن أخذ الاعتبارات الآتية أثناء الرصد [٣١].:

١- اختيار أماكن الرصد بعناية بتجنب الأماكن أو الأجسام المعاكسة
٢- استعمال هوائيات مصممة بعناية واستعمال صفيحة إضافية مخصصة لتقليل تعدد المسار
٣- استعمال مواد ماصة للإشارات جانب الهوائي الخاص بالمستقبل .

٣-٢-٣ أخطاء صادرة من المستقبل

يظهر هذا النوع من الأخطاء نتيجة الفرق في الدقة بين الساعة الذرية في القمر الصناعي والساعة العادية في الأجهزة الأرضية (المستقبلات) وهذا الفرق ينتج عنه عدم توافق زمني بين الساعتين وهو الأمر المؤثر بشكل كبير على دقة تحديد المدى الزمني الذي استغرقته الموجة الحاملة والإشارة المرسلة للوصول من القمر الصناعي إلى الأجهزة الأرضية (المستقبلات) .

❖ **خطأ توليد الترددات**

ينتج عن هذا الخطأ نتيجة مشكلة في توليد الترددات المماثلة للموجة الحاملة والشفرة الكونية المتوافقة مع الإشارة الصادرة من القمر الصناعي. هذا الخطأ نادراً ما يحدث وهو ينتج من ضعف إمكانيات الجهاز الأرضي (المستقبل) المستعمل، ويمكن حل هذا الخطأ باستعمال أجهزة أرضية على جودة وكفاءة عالية ودقة عالية وهذا يكون باختيار الجهاز الأرضي (المستقبل) بما يتوافق مع خواص الجهاز الأرضي القياسي .

٣-٣ عناصر الدقة

تتعلق عناصر الدقة التي يقدمها نظام الـ GPS في التطبيقات الجيوديسية بعدة شروط وهي [٣٢]:

- تشغيل مستقبل واحد أو مستقبلات متعددة
- قياسات ذات تردد واحد أو ذات ترددين
- وجود الشفرة الدقيقة P-Code أو عدمه

- فتح أو غلق خاصية الإنتقاء
- طريقة الرصد ثابتة أو متحركة
- الإخراج على شكل نتائج لحظية أو لاحقة
- دقة مدارات الأقمار الصناعية
- الرصد على عدد كاف من الأقمار الصناعية
- توزيع الأقمار الصناعية في الفضاء وزاوية ارتفاع القمر الصناعي عن المستوي الأفقي للجهاز
- مدى دقة النقطة المرجعية المثبت عليها الجهاز الأساسي
- مدى كفاءة الأجهزة المستخدمة للرصد
- مدى كفاءة المشغل للأجهزة الأرضية ومدى خبرته كمشغل للأجهزة الأرضية
- مساحة منطقة العمل ومسافة أكبر للأضلاع بالشبكة
- خواص منطقة العمل ومدى ملائمتها لنظام الرصد
- مدى دقة محطات التحكم الأرضية ومدى كفاءة المتابعة الأرضية
- مدى كفاءة القمر الصناعي وصلاحيته للعمل بمدى دقة مناسبة
- مدى ملائمة الظروف الجوية للعمل
- مدى كفاءة وحدة الإرسال والاستقبال في حالة الرصد المتحرك الآني
- مدى دقة المعلومات المستخرجة من محطة التحكم الرئيسة في العمل اللاحق المكتبي
- مدى ملائمة المرجع الجيوديسي كنظام مرجعي لمنطقة العمل [١].

٤-٣ مواصفات الجهاز الأرضي في نظام الـ GPS للاستخدامات الدقيقة

1- مستقبل جيوديسي ذو دقة عالية

2- عدد قنوات المستقبل ١٢ قناة

3- المستقبل ذو تردد ثنائي يرصد كلا الموجتين الحاملتين والشفرتين

4- ذاكرة داخلية كبيرة الحجم تكفي لعدد ساعات رصد كبيرة

5- بطاريات داخلية وخارجية تغطي تغذية كهربائية لمدى رصد كبير

6- شاحن البطارية يعمل على كافة أنظمة الكهرباء

7- كيابل التوصيل تكون معزولة تماماً وضد الماء وتكون ذا طول مناسب

8- شنطة حافظة للجهاز مضادة لماء والصدمات

9- الهوائي (اللاقط) ذو قدرات عالية على امتصاص الموجات المنعكسة غير الحقيقية

10- يحتوي الجهاز على كتيب للأخطاء التي يمكن أن تواجه المشغل للجهاز الأرضي (المستقبل) ومعنى كل رسالة من رسائل الأخطاء وكيفية حلها

11- الصيانة الدورية للجهاز وسهولة تحديث برنامجه الحسابي

12- شاشة الإظهار كبيرة وذات قدرة على إظهار الرسومات التوضيحية والتحليلات المختلفة

13- وحدة إرسال لاسلكية ووحدة استقبال مماثلة على درجة عالية من نقاء الإرسال والدقة

14- وافر قطع الغيار لمكونات الجهاز الأرضي بشكل يتوافق مع القطع الأصلية

15- التسامت يفضل أن يكون ليزرياً

16- يفضل وجود وحدة حساب دقيقة لارتفاع الجهاز وحدة الهوائي) عن سطح الأرضي

17- سهولة استخدام وظائف البرنامج الحسابي الخاص بالجهاز من قبل المشغل

18- التحديث المتتابع للجهاز بمكوناته بما يتوافق مع مستوى الدقة الطلوبة

19- وجود برنامج تحليلي للأعمال اللاحقة المكتبية على درجة عالية من الدقة والكفاءة في العمليات المختلفة الحسابية والتحليلية للأرصاد الملتقطة وسهولة إجراء التحويلات مختلفة المرجعية للأرصاد المحسوبة [٣٣].

References المصادر

[1] Bull FC, Armstrong TP, Dixon T, Ham S, Neiman A, Pratt M: Physical inactivity, in Comparative Quantification of Health Risks. Global and Regional Burden of Disease Attributable to SelectedMajor Risk Factors. Edited by: Essati M, Rodgers A, Murray CJL, Murray AD. 2004, World Health Organization: Geneva, 729-881.

[2] Welk GJ: Physical activity assessment for health-related research. 2002, Champaign Ill: Human Kinetics

[3] U.S. Government Info: Civilians Can Use Military GPS Data. 2000, [cited January, 2009. [

[4] Phillips M, Hall TA, Esmen NA, Lynch R, Johnson DL: Use of global positioning system technology to track subject's location during environmental exposure sampling. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 2001, 11 (3): 207-2015.

[5] Schlecht E, Hülsebusch C, Mahler F, Becker K: The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. Applied Animal Behavior Science. 2004, 85 (3-4): 185-202.

[6] Phillips K, Elvey C, Abercrombie C: Applying GPS to the study of primate ecology. American Journal of Primatology. 1998, 46 (2): 167-172.

[7] Porter M, Whitton M: Assessment of driving with global positioning system and video technology in young, middle-aged, and older drivers. Journals of Gerontology: Series A: Biological Sciences & Medical Sciences. 2002, 57A (9): M578-M582.

[8] Wolf J, Oliveira M, Thompson M: Impact of underreporting on mileage and travel time estimates: Results from global positioning system-

enhanced household travel survey. Transportation Research Record. 2003, 1854: 188-198.

[9] Stopher P, FitzGerald C, Xu M: Assessing the accuracy of the Sydney Household Travel Survey with GPS. Transportation. 2007, 34: 723-741.

[10] Larsson P: Global Positioning System and Sports-Specific Testing. Sports Medicine. 2003, 33 (15): 1093-1101.

[11] Rodríguez DA, Brown AL, Troped PJ: Portable global positioning units to complement accelerometery-based physical activity monitors. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2005, 37 (11 Suppl): S572-S581.

[12] Stopher PR, Fitzgerald C, Zhang J: Search for a global-positioning system device to measure person travel. Transportation Research-Part C Emerging Commercial Technologies. 2008, 42 (4): 418-420.

[13] Schutz Y, Chambaz A: Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth. European Journal of Clinical Nutrition. 1997, 51 (5): 338-339.

[14] Larsson P, Henriksson-Larsen K: Combined metabolic gas analyzer and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. Journal of Sports Sciences. 2005, 23 (8): 861-870.

[15] Edgecomb S, Norton K: Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. Journal of Science in Medicine and Sport. 2006, 9: 25-32.

[16] Pino J, Martinez-Santos R, Moreno MI, Padilla C: Automatic analysis of football games using GPS on real time. Journal of Sports Science and Medicine. 2007, 6-11. Suppl 10 .

[17] Peterson M, Froman N, Grollman M: Impact of DGPS post processing techniques and course mapping and on evaluation of outdoor athletic performance in walking golf. Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. 2005

[18] Larsson P, Henriksson-Larsén K: The use of dGPS and simultaneous metabolic measurements during orienteering. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2001, 33 (11): 1919-1924.

[19] Larsson P, Burlin L, Jakobsson E, Henriksson-Larsén K: Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system. Journal of Sports Sciences. 2002, 20: 529-535.

[20] Coutts AJ, Duffield R: Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. Journal of Science and Medicine in Sport. 2008, JSAMS-379

[21] Schutz Y, Herren R: Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2000, 32 (3): 642-646.

[22] Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouyé P, Saumet JL, Noury-Desvaux B: Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2007, 39 (9): 1570-1578.

[23] Le Faucheur A, Abraham P, Jaquinandi V, Bouyé P, Saumet JL, Noury-Desvaux B: Measurement of walking distance and speed in patients with peripheral arterial disease: A novel method using a Global Positioning System. Circulation. 2008, 117: 897-904.

[24] Witte TH, Wilson A: Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. Journal of Biomechanics. 2005, 38 (8): 1717-1722.

[25] Duncan MJ, Mummery KW, Dascombe BJ: Utility of Global Positioning System to measure active transport in urban areas. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2007, 39 (10): 1851-1857.

[26] Tan H, Wilson AM, Lowe J: Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. Journal of Biomechanics. 2008, 41 (7): 1398-1406.

[27] Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y: High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human location. Journal of Biomechanics. 2000, 33: 1717-1722.

[28] Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y: Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). Medicine & Science in Sports & Exercise. 2001, 33 (11): 1912-1918.

[29] Perrin O, Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y: Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altimetry, validated by satellite positioning. Medical and Biological Engineering and Computing. 2000, 38: 164-168.

[30] Maddison R, Exeter D, Hoorn Vander S, Jiang Y, Ni Mhurchu C, Dorey E, Bullen C, Utter J: Describing Patterns of Physical Activity in Adolescents using Global Positioning Systems and Accelerometry. Pediatric Exercise Science. 2009.

[31] Mackett R, Brown B, Gong Y, Kitazawa K, Paskins J: Built Environment. Children's independent movement in the local environment. 2007, 33 (4): 458-468.

[32] Wiehe SS, Hoch S, Liu G, Carroll A, Wilson J, Fortenberry J: Adolescent Travel Patterns: Pilot Data Indicating Distance from Home Varies by Time of Day and Day of Week. Journal of Adolescent Health. 2008, 42 (4): 418-420.

[33] Duncan JS, Badland HM, Schofield G: Combining GPS with heart rate monitoring to measure physical activity in children: A feasibility study. Journal of Science in Medicine and Sport. 2008, 12 (5): 583-585.