الفصل الرابع

نظـام تحـديد المـواقـع العـالمـي

Global Positioning System

نظام تحديد المواقع العالمي
Global Positioning System

F

منذ أن بدأ الإنسان البدائي في التجوال والترحال محاولا اكتشاف أرجاء الكرة الأرضية، وهو يبحث عن وسيلة تساعده في أمكانية تحديد موقعه من جهة، وتحديد اتجاهه، والى أين أخذه التجوال من جهة أخرى، فكان يعتمد على تعيين مساره بواسطة علامات من أكوام صغيرة من الحجارة، آلا أن الوسيلة يمكن ان تنجح في نطاق صغير، إضافة إلى أنها يمكن ان تزال بفعل عوامل عدة.

وحاول الانسان في العصر الحديث بكل امكانياته التقنية والتكنولوجية الاعتماد على نظم متقدمة، إذ شهدت جميع نواحي الحياة تطورات مذهلة من التكنولوجيا الحديثة الواعدة، أهمها تكنولوجيا الأقمار الصناعية التي نتج عنها ثورة الاتصالات. وما الـ GPS: نظام تحديد المواقع العالمي بواسطة الأقمار الصناعية إلا نتاج هذه الثورة والتقدم المذهل للنشاط الإنساني عبر العالم. ففي عالمنا اليوم ومع تطور التكنولوجيا والعلوم التي جعلت من العالم قرية صغيرة، أصبح الاختفاء عن الأنظار أمراً صعباً جداً، وغدا الضياع في الأماكن التي لا وجود فيها لنقاط علاَّم بارزة مثل البحار والصحارى لا مكان له بوجود أجهزة تحديد المواقع والتتبُّع ضمن منظومة الأقمار الصناعية. لقد مكننا هذا النظام من رؤية الكرة الأرضية بحجمها الهائل كما لو أنها الكرة الأرضية التي نضعها أمامنا على المكتب نستطيع تدويرها كما نشاء لرؤية أي بلد بتفاصيله وأبعاده ومكوناته من مدن وطرق ومطارات وموانئ ومحطات قطارات... إنه نظام يمكّننا من رؤية وتتبع حركة سفينة فقدت توازنها وأصبحت خارج التغطية الملاحية البحرية. فما أجمل أن نراقب حركة السير بحيث نستطيع أن نسلك الطريق الأسهل والأقصر للمكان الذي نريد الوصول إليه قبل أو أثناء قيادتنا للمركبة. واستخدامات كثيرة وفوائد جمة لهذا النظام العصري والمتطور جداً إنه نظام الـ (G.P.S Global positioning system) نظام تحديد المواقع العالمية.

نظراً لأهمية هذا النظام والفوائد التي يُحققها سواءً أكان للاستخدام العسكري أو للمراقبة الدائمة والدقيقة في تحديد المواقع، أم للاستخدام السلمي في تسخيره لخدمة المجتمع وما ينعكس ذلك على التطور والسرعة والدقة في تحديد المواقع وكل ما

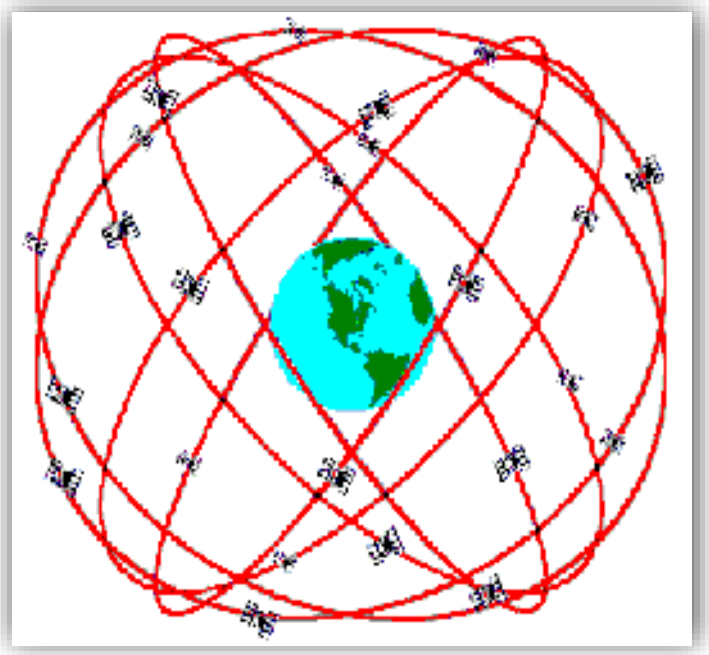
يرتبط بذلك كالسرعة في توجيه سيارة الإسعاف والإطفاء إلى موقع محدد عبر أقصر الطرق وأسرعها وبدقة عالية.

مفهوم نظام تحديد المواقع العالمي GPS

ان كلمة GPS هي اختصار لـــ Global Positioning System أي نظام تحديد المواقع العالمي. طُوِّرت هذه المنظومة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية عام ١٩٧٣م، وبكلفة مقدارها (١٢) مليار دولار أمريكي، لاستبدال نظام الملاحة بالاقمار الصناعية المعروف باسم Sat – Nav او Transit System، وذلك لتفادي عيوبه المتمثلة في تغطيته غير الكافية للاقمار الصناعية، وعملياته الملاحية غير الدقيقة لذا استحدث النظام الجديد ليوفر تغطية كاملة وبدقة عالية تغطي الاحتياجات العسكرية، ولكن في عام ١٩٨٠م سمحت الحكومة الأمريكية بأن يكون هذا النظام متاحاً للاستخدامات المدنية، إذ يعمل هذا النظام في كافة الظروف الجوية وفي كل مكان في العالم وعلى مدار ٢٤ ساعة في اليوم، ولا يُشترط الاشتراك من أجل الحصول على هذه الخدمة لأنها مجانية.

وقد تم إطلاق أول قمر صناعي من هذا النوع عام 1978، ويعتمد هذا النظام على شبكة مكونة من ٢٤ قمرا صناعيا تدور في مدارات على ارتفاع شاهق حول الكرة الارضية، وتبدو كأنها نجوم صناعية Man-Made Stars تحاول ان تحل محل النجوم الطبيعية التي كان يعتمد عليها في الملاحة كما هو في الصورة التالية **(٢٣)**:

شكل (٢٣)



وتتوزع هذه الأقمار في مداراتها المخصصة لها بزوايا ومسارات وزمن محدد لكل منها، بحيث يمكن الاتصال مع أربعة أقمار صناعية على الأقل في أي مكان من العالم.

ان الارتفاع الشاهق لهذا النظام جعلها تتفادى المشاكل والمصاعب التي كانت تواجه محطات التوجيه الأرضي، فضلا عن أنها تعطي نتائج عالية الدقة في تحديد المواقع على سطح الأرض على مدار ٢٤ ساعة يوميا، فضلا عن رخص أسعارها وصغر حجمها وسهولة الحصول عليها.

ان مهمة مستقبل الـ GPS هي تحديد موقع هذه الأقمار وحساب المسافة بينها وبين الأرض والاستفادة من هذه المعطيات لاستنتاج موقع المستقبل ومن ثم تحديد الإحداثيات على سطح الأرض.

إن مبدأ عمل مستقبلات الـ GPS ليس بالأمر المعقد وتكفي ٣ أقمار لتحديد اية موقع، وإنما الزيادة في عدد الأقمار هو لزيادة الدقة، بمعرفة بعدك عن أحد الأقمار فإنك ستكون على سطح كرة يبلغ قطرها مقدار هذه المسافة، وبمعرفة بعدك عن القمر الثاني سيتشكل لديك كرتان يتقاطعان في دائرة، وموقعك سيكون إحدى نقاط محيط هذه الدائرة، وبمعرفة بعدك عن القمر الثالث وإجراء التقاطع ستحصل على نقطتين إحداهما في الفضاء (هذه النقطة بالطبع لا تدل على موقعك)، والنقطة الأخرى تشير إلى موقعك على سطح الأرض أي كأننا استفدنا من الكرة الأرضية ككرة رابعة لتحديد الموقع.

يعتمد مستقبل آل GPS على الأمواج الراديوية – والتي هي عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تنتشر بسرعة الضوء – لحساب المسافة التي تفصله عن الأقمار الاصطناعية وذلك بحساب المدة التي استغرقتها هذه الأمواج لتقطع المسافة. ان عملية قياس المسافة عملية معقدة لأنها بحاجة لإتقان شديد وهي تتم على أساس المبدأ السابق –قياس زمن مسير الإشارة من القمر الاصطناعي وحتى مستقبل الـ GPS – ولكن كيف يتم ذلك ؟ في وقت محدد يبدأ القمر الاصطناعي بإرسال سلسلة رقمية طويلة ذات ترميز شبه عشوائي (PN) وسيبدأ مستقبل الـGPS بتوليد سلسلة مطابقة تماماً وفي نفس الوقت تماماً، وعندما تصل إشارة القمر الصناعي إلى مستقبل الـ GPS ستكون السلسلة المستقبلة متأخرة عن السلسلة المولدة بمقدار زمن مسير الإشارة. عندها يقوم المستقبل بضرب الزمن بسرعة الضوء لتحديد المسافة على افتراض انتشار الإشارة بشكل مستقيم وناتج الضرب هو بعد القمر الاصطناعي عن مستقبل الـ GPS، وللقيام بعملية قياس بهذه الدقة فإن كلاً من المستقبل والقمر الاصطناعي بحاجة لمؤقتات (clocks) يمكن مزامنتها من رتبة الـ Nanosecond، ويتم تحديد الموقع بدقة كما ذكرت وتجاوز مشكلة التأخير او عدم المزامنة الدقيقة بنسبة ١٠٠ %، باستخدام أربع أقمار لتحديد الموقع بدقة بالغة فمن المستحيل أن

تتقاطع في نقطة واحدة إن لم يكن القياس دقيقاً واعتماداً على ذلك يقوم المستقبل بإعادة ضبط مؤقتة باستمرار للحصول على أعلى دقة. الممتع في الـ GPS أنه لا يحدد لك فقط موقعك وإنما يمكنه أن يحدد لك أفضل طريقة يمكنك بها بلوغ وجهتك وذلك باستخدام خرائط رقمية مخزنة في ذاكرة المستقبل، فما عليك سوى أن تحدد له إحداثيات خط الطول والعرض للنقطة التي تريد الذهاب إليه وسيرشدك إلى وجهتك بأقصر طريق ممكن مع إعطاءك قيمة ارتفاعك في كل لحظة بالإضافة إلى ذلك يمكنه تحديد سرعتك الآنية والمتوسطة والوقت المتوقع للوصول لوجهتك إذا ما حافظت على نفس السرعة.

/www.qariya.com/vb/showthread.php?t=8916#ixzz21XMAun2V

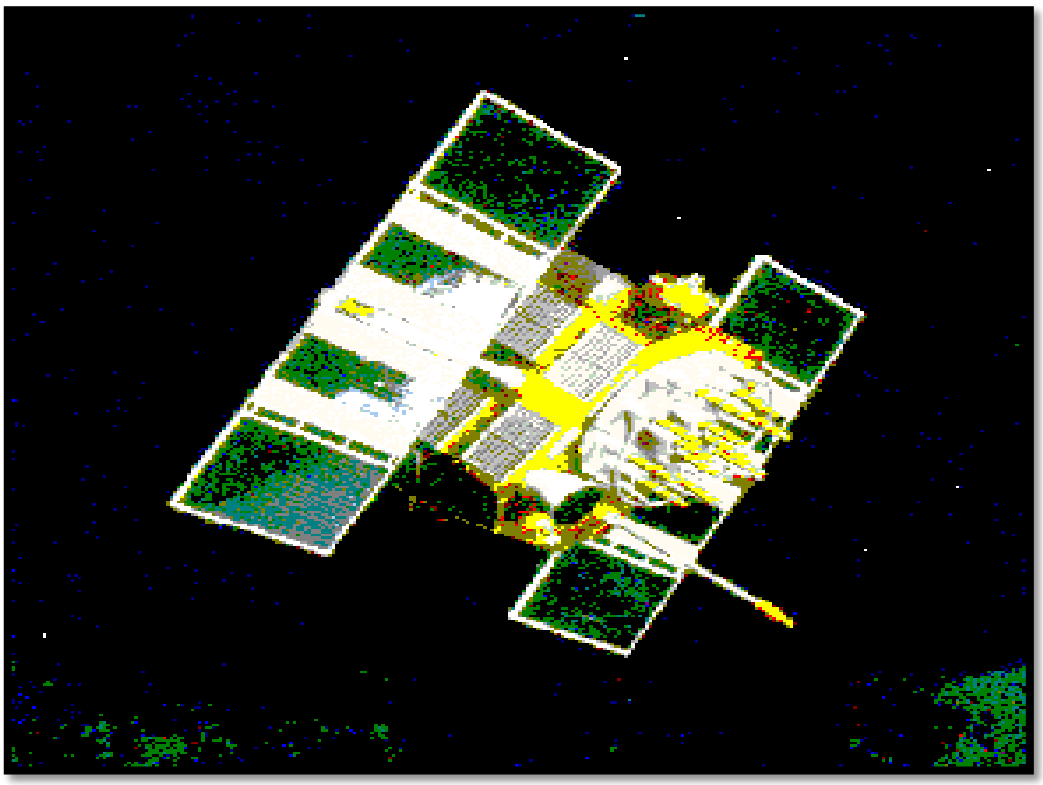
أجزاء نظام تحديد المواقع GPS

يتكون نظام الرصد العالمي GPSمن عدة مكونات مشغلة للنظام ويؤدي كل مكون دوره الأساسي في تحديد المواقع بدقة عالية، ويعتمد كل مكون على أرصاد وإشارات مستقبلة من باقي المكونات وهذا يقودنا إلى ان هذه المكونات مرتبطة ببعضها و يكون كل مكون على اتصال لحظي ودوري بباقي المكونات عن طريق الإشارات المستقبلة والمرسلة وهو ما يؤدي إلى ارسال اي خطا في احد المكونات فوريا ولحظيا لمستخدمي النظام، ويتم العلاج بنفس الوقت مما يؤدي في النهاية إلى دقة عالية لتحديد المواقع والإحداثيات، ويتكون نظام GPS من ثلاثة أقسام رئيسة:

أ- **الجزء الفضائي (Space Segment):** هو عبارة عن مجموعة من الأقمار الاصناعية (عددها ٢٤ قمراً) موزعة في (ستة) مدارات وكل مدار يحتوي (أربعة) أقمار صناعية، ورتبت المدارات بحيث يمكن مشاهدة الأقمار الصناعية الأربعة في السماء بآن واحد في أي وقت ومن أي نقطة على سطح الأرض. وقد وجد بالتجربة إنه في أي مكان ليس فيه عوائق على سطح الأرض يمكن للمستخدم مشاهدة عدد من الأقمار يتراوح عددها ما بين ستة إلى عشرة أقمار طوال اليوم. وتُرسل الأقمار إشاراتها على ترددين من النطاق الترددي (L)، حددهما الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunications Unionوهما:التردد الأول1575.42 :L1 ميجا هرتز. والتردد الثاني :L2 1227.6 ميجا هرتز.

تعمل الأقمار الصناعية في نظام GPS على استقبال وتخزين البيانات المرسلة من محطة التحكم، والحصول على التوقيت الدقيق عن طريق ساعات الروبيديوم، وإرسال المعلومات للمستخدم عن طريق أشارات مختلفة، وأخيرا المناورة لتعديل المدار عن طريق التحكم الأرضي.

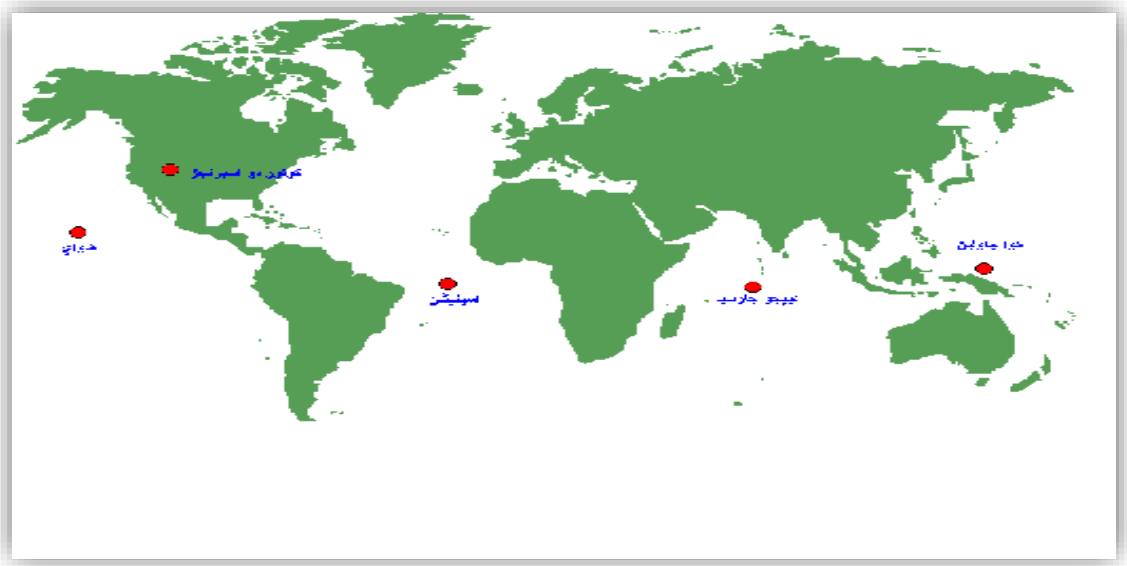
صورة (١٥) القمر الصناعي



ب- جزء التحكم والسيطرة (Control Segment): يتكون هذا الجزء من كل الوسائل المطلوبة للوقوف على مدى صلاحية إشارة الأقمار الصناعية والاتصال بها عن بعد وتتبُّع مساراتها وحساب مواقعها وتصحيح الساعات المحملة عليها والتحكم فيها.

فكرة عمل جزء التحكم الأرضي: تقوم نقط التتبُّع الأرضي بتتبُّع إشارات كل الأقمار الصناعية المتاحة في مجال رؤيتها كل ١,٥ ثانية وباستخدام بيانات طبقة الأيونوسفير الجوية المتأينة وبيانات الأرصاد الجوية التي تجمع كل خمس عشرة دقيقة، ونقلها إلى محطة التحكم الأرضية الرئيسة عبر وصلات اتصال أرضية. شكل (٢٤).

الشكل (٢٤) محطات التحكم الأرضية الرئيسة



وتقوم محطة التحكم الأرضية الرئيسة بالكثير من المهام المهمة منها:

- ❖ تجميع البيانات التي ترسل إليها من محطات التتبُّع، الأرضية.
- ❖ رصد حركة الأقمار، وتحديد مدار كل قمر (أي حساب إحداثيات موضعه)، وحساب بيانات مداره ثم إرسالها إلى كل قمر على حدة.
- ❖ الوقوف على حالة ساعات كل، الأقمار الصناعية وتوقع أدائها ومعرفة مقدار انحرافها عن الوقت الصحيح.
- ❖ تصحيح الخطأ والانحراف في ساعات الأقمار الصناعية.
- ❖ تقوم محطات الاتصال الأرضية بإرسال واستقبال البيانات من وإلى الأقمار الصناعية باستخدام ترددات (S-band) فتقوم الأقمار الصناعية بتحديث مواضعها في مدارها وضبط ساعاتها، ثم ترسل هذه البيانات في إشاراتها إلى المستخدم من خلال ترددات (L-band).

ج- جزء المستخدمين للنظام (User Segment): يتكون جزء المستخدمين من جهاز مُستقبل يسمى وحدة الاستقبال لنظام الـ (GPS)، ومهمته استقبال الإشارة من مجموعة الأقمار الصناعية وعرضها جاهزة للاستخدام المطلوب.

www.jeddah.gov.sa/Business/Masaha\Workshops/.../workshop5_1.pd

صورة (١٦) يوضح جهاز GPS

كيفية عمل منظومة GPS

تدور الأقمار حول الكرة الأرضية في مدارات محددة ودقيقة جداً مرتين في اليوم الواحد (٢٤ ساعة) وخلال دورانها تبث إشارات تحمل معلومات إلى الأرض. فيقوم جهاز الاستقبال (جهاز GPS) باستقبال هذه المعلومات ويجري بعض العلميات الحسابية ليحدد بالضبط موقع المستخدم. كما تستقبل المحطات الأرضية هذه المعلومات أيضاً من القمر الصناعي، وعلى أساسها تقوم هذه المحطات بتزويد القمر بالمعلومات اللازمة من أجل أن يعمل على الوجه الأفضل، مثل التوقيت والمدار والموقع.. وهذا يعني أن الاتصال مزدوج بين المحطات الأرضية والأقمار الصناعية.

ملاحظة هامة:

الاتصال بين الأقمار الصناعية والمحطات الأرضية ثنائي الاتجاه بينما الاتصال بين الأقمار ومستقبل GPS أحادي الاتجاه.

أ- الموجتان الحاملتان Carrier Wave Signals: وهما أساس إشارة جهاز مستقبل الـ GPS وترددهما داخل حزمة L-Band من الطيف الكهرومغناطيسي. تبث كل أقمار نظام الـ GPSالموجتين الحاملتين بنفس التردد. إن هاتين الإشارتين

موجهتان بشكل عالٍ، وقادرتان على الانتقال عبر طبقات الغلاف الجوي لمسافات كبيرة، ومعرضتان للانعكاس والحجب بواسطة الأجسام الصلبة.

ب- أساسيات تحديد الإحداثيات على الأرض: الفكرة الأساسية تكمن في استخدام الأقمار الصناعية في الفضاء كنقطة معلومة الإحداثيات لتحديد الإحداثيات على الأرض.

ينبغي على جهاز الاستقبال (جهاز GPS) أن يعرف شيئين أساسيين ومهمين:

١. أين تقع هذه الأقمار الصناعية ؟ الموقع.
٢. كم تبعد هذه الأقمار عن الجهاز ؟ المسافة.

- **الموقع:** يستطيع الجهاز المستقبل تحديد الموقع من خلال المعلومات الملتقطة من القمر الصناعي والموجودة ضمن الرسالة الملاحية، وهذه المعلومات يُرسلها القمر باستمرار ويخزنها الجهاز المُستقبل في ذاكرته كما تُحدَّث بشكل مستمر من المحطات الأرضية.
- **المسافة:** بعد أن قام المستقبل بتحديد مواقع الأقمار في الفضاء بدقة، يستطيع الآن تحديد بُعد هذه الأقمار عنه، وذلك عن طريق إيجاد حاصل الضرب بين الفترة الزمنية التي تستغرقها إشارة GPS للانتقال من القمر الصناعي إلى موقع المستقبل وبين سرعة الضوء:

بعد القمر عن موقع المستقبل (كم) = زمن انتقال الإشارة من القمر للمستقبل(ثا) × سرعة الضوء(كم/ثا)

معرفة المسافة لقمر واحد مازالت غير كافية لحساب موقع المستقبل ثلاثي الأبعاد، لذلك يحتاج المستقبل إلى أربعة رصدات لأربعة أقمار مختلفة كي يستطيع تحديد موقعه بدقة.

ملاحظة:

تكفي ثلاثة أقمار لتحديد الموقع (خط الطول، دائرة العرض والارتفاع)، وإنما الزيادة في عدد الأقمار هو لزيادة الدقة.

قياس المسافة من القمر الصناعي

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

المســـافــة = الســرعـــة *
الــزمـــن

ويعني هذا ان النظام يعتمد على حساب الزمن الذي تستغرقه أشارة راديوية فردية Radio Singal من القمر إلى المرصد، ومن ثم المسافة من خلال الزمن، خاصة وان الموجات الراديوية تسير بسرعة الضوء نفسها (١٨٦ ألف ميل / ثانية)، 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.

المسافة بين موقع والقمر الصناعي = المدة التي تستغرقها الإشارة من القمر الصناعي إلى الموقع × ١٨٦،٠٠٠

ومما سبق يتضح ان معرفة الزمن هو الأساس في معرفة المسافة، وبالتالي ستكون ساعة اليد وسيلة تقديرية لا تتفق والسرعة الفائقة للضوء، خاصة اذا كان القمر الصناعي في وضع مسامت للموقع تحديده، فان موجاته التي يبثها سوف تستغرق زمنا لا يزيد عن ستة أجزاء من مائة من الثانية كي تصل إلى الراصد، ومن ثم يتيح نظام تحديد المواقع للراصد أمكانية التعامل مع الوقت بصورة متقدمة.

www.uwed.ucsb.edulnicol.comp.get-dem.htm

٢- الحصول على تزامن مثالي

تبلغ سرعة الضوء حوالي ١٨٦ ألف ميل في الثانية ـ 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 والسينيزيوم، 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 .

ولتفسير ذلك نفترض أن ساعة جهاز الاستقبال ليست دقيقة مثل ساعة القمر الصناعي، فضلاً عن أنها غير مطابقة تماماً للتوقيت العالمي، على سبيل المثال ـ إذ كانت الساعة تشير إلى الثانية عشر ظهراً، وهي في الواقع الحادية عشر وتسع وخمسون دقيقة وتسع وخمسون ثانية (٥٩ث ٥٩ق ١١س) قبل الزوال، أي أنها تسبق

التوقيت العالمي بثانية واحدة. وسوف تُستخدم المسافة الزمنية ـ كي يتم التعرف على أخطاء التوقيت ـ بدلاً من المسافة الطويلة بالميل أو كم.

وقد تم برمجة الحواسب الآلية المثبتة في أجهزة الاستقبال، بحيث أنه عندما تستقبل قياسات خاطئة لا تتقاطع في نقطة واحدة، ومن ثم ستقوم بحذف أو إضافة وقت للقراءات الثلاث حتى تتجمع وتتلاقى في نقطة واحدة، أي أنها ستعمل تلقائياً بحذف ثانية واحدة ـ بالنسبة للحالة السابقة ـ من القياسات الثلاثة حتى تُمكن الدوائر من التقاطع في نقطة الموقع المراد تحديده.

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 ـ ذات القناة الواحدة ـ 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.

ويمثل جهاز الاستقبال ثلاثي القنوات الحل الأكثر شيوعياً، 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 ـ تُعرف في الغالب باسم مدبر المنزل Housekeeping ـ 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.

٣. تحديد موقع القمر الصناعي في الفضاء

يُفترض منذ البداية المعرفة الدقيقة بموقع الأقمار الصناعية في الفضاء، وذلك لسهولة إجراء العمليات الحسابية من جهة، وتحديد المواقع بالنسبة لها من جهة أخرى. لكن كيف يتم التعرف على القمر الصناعي وهو على ارتفاع يبلغ نحو ١١ ألف ميل عن سطح الأرض. وهذا الارتفاع يفيد الأقمار الصناعية في أن تتخلص من جو

الأرض وملوثاته، وبالتالي يتم التنبؤ بمداراتها بصورة دقيقة حيث أنها نادراً ما تغيرها، وهي في ذلك تحاول أن تشبه القمر تابع للكرة الأرضية الذي يدور حولها منذ ملايين السنين دون تغير يذكر في مداره.

وتقوم القوات الجوية بالإطلاق كل قمر صناعي في مدار دقيق يتوافق مع الخطة الرئيسية لنظام تحديد المواقع، وهذه المواقع محسوبة ومعلومة مقدماً، وتحتوي بعض أجهزة الاستقبال على سجل مبرمج في حواسبها الآلية تقوم بتحديد مدار أي قمر صناعي في الفضاء في أية لحظة.

وتقوم وزارة الدفاع الأمريكية بالمراقبة المستمرة لأقمار نظام تحديد المواقع الصناعية، حتى لا تنحرف عن مداراتها من جهة، وقياس ارتفاعاها من جهة أخرى، ويعد هذا أحد الأسباب التي جعلت مداراتها شاهقة الارتفاع وبعيدة عن المدارات الجغرافية المتزامنة Synchronous - Geo التي تمثل مدارات الأقمار الصناعية الخاصة بالتليفزيون.

وتدور أقمار نظام تحديد المواقع الصناعية حول الكرة الأرضية مرة كل ١٢ ساعة، ومن ثم تمر فوق محطات الرصد الخاصة بوزارة الدفاع الأمريكية مرتين يومياً، مما يعطي الفرصة لقياس ارتفاعاتها، ومتابعة مواقعها وسرعتها بصورة دقيقة، ومراقبة الأخطاء التي قد تنجم عن جاذبية كل من القمر والشمس وتأثير الإشعاع الشمسي عليها، وهي أخطاء طفيفة للغاية وتعرف باسم أخطاء الزيج أو أخطاء التوقيت الفلكي Ephemeris Errors.

وعندما تنتهي وزارة الدفاع الأمريكية من قياسات موقع القمر الصناعي، تقوم بإرسال هذه المعلومات إلى القمر نفسه، الذي يقوم بدوره بإرسال هذه التصحيحات ضمن بياناته إلى الراصد عن طريق جهاز الاستقبال. ويعني هذا أن الأقمار الصناعية لا تقوم بإرسال الشفرات فقط، لكنها تضيف عليها رسالة تحتوي على معلومات دقيقة عن مداراتها والحالة العامة لأنظمتها. وتستخدم كل أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع هذه البيانات إلى جانب قوائم المعلومات الموجودة بداخلها عن الأقمار الصناعية لتحديد مواقعها بدقة. www.arabic-military.com .

مصادر الأخطاء وعناصر الدقة لجهاز GPS

يستخدم نظام الرصد العالمي لتحديد المواقع GPS في المساحة الجيوديسية كنظام لإيجاد إحداثيات النقاط الجيوديسية بدق عالية، ولكن يواجه النظام عدة أخطاء منها:

١-أخطاء في تحديد موقع القمر الصناعي:

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

يتم اكتشاف مثل الأخطاء عن طريق نقاط المراجعة الأرضية المتابعة لحركة المر الصناعي، إذ ترسل رسالة تتضمن معلومات عن المدار وموقع القمر الصناعي و احدثياته وزمن الاشارة ورقم تشفير القمر وكود القمر وبعض المعلومات عن خواص الغلاف الجوي اللحظي، ثم إرسال رسالة قصيرة إلى القمر لتصحيح مساره.

فضلا عن وجود اخطاء ناتجة عن الزمن الناتجة عن ساعة القمر والتي يمكن التحكم بها عن طريق وحدات التحكم والمتابعة الارضية، ومن ثم ارسالها إلى القمر الصناعي، اما اخطاء توزيع الأقمار الصناعية في الفضاء توزيعا جيدا من إذ العدد والتوزيع الهندسي فانه يؤثر على دقة القياسات بشكل كبير.

٢- أخطاء في الإشارة المرسلة من القمر الصناعي إلى المستقبل:

وتتنوع مابين أخطاء الغلاف الجوي التي تتمثل بتأخير الانتشار في طبقة الأيونوسفير و التروبوسفير، إذ عندما تمر أشارات الرصد بهذه الطبقات فأنها تأخذ مسارا منحنيا في الموجه المشفرة وابطء في الموجه الحاملة، وأخطاء تعدد المسار أي وصول أكثر من إشارة منعكسة إلى الهوائي الخاص بالأجهزة الأرضية(المستقبلات)، ويعتمد تأثير هذه الانعكاسات على قوة الإشارة المنعكسة وقيمة التأخير من الإشارة الأصلية والمستقبلة وطريقة القياس بواسطة المستقبل.

ان خطأ تعدد المسار لا يؤثر فقط على تحديد الموقع، ولكن يؤثر على الفترة الزمنية اللازمة لحل قيمة الغموض في أرصاد الموجة الحاملة، لذا من الضروري التقليل من الخطأ في تعدد المسار.

٣-أخطاء في المستقبلات الأرضية:

وتتمثل بخطأ ساعة المستقبل نتيجة الفرق في الدقة بين الساعة الذرية في القمر الصناعي والساعة العادية في المستقبلات (الأجهزة الأرضية) وهذا ناتج عن عدم التوافق بين الساعتين وهو الامر المؤثر بشكل كبير على دقة تحديد المدى الزمني الذي استرقته الموجه الحاملة والإشارة المرسلة للوصول من القمر الصناعي إلى الأجهزة الأرضية (المستقبلات)، وهنالك خطأ توليد الترددات ناتج عن توليد الترددات المماثلة للموجة الحاملة والشفرة الكودية المتوافقة مع الإشارة الصادرة من القمر الصناعي، ويحدث مثل هذا الخطأ نتيجة ضعف في إمكانيات المستقبلات المستعمل.

١-**أخطاء فادحة:** فضلاً عن الأخطاء السابقة فهنالك أخطاء كبيرة يصل مقدار الخطأ فيها مئات الكيلو مترات ومنها أخطاء شخصية من مشغلي النظام ومشغلي أجهزة الحاسب المتحكمة في الإشارات المنبعثة للأقمار الصناعية، ويمكن لهذا الخطأ أن يسبب خطأ في تحديد الموقع يتراوح بين المتر والمئات الكيلومتر، وأخطاء من مستخدمي الجهاز الأرضي (المستقبلات) من خلال اختياره العدادات غير المناسبة مثل اختيار طريقة الرصد المستعملة، توزيع الأقمار الجيد، الفترة الزمنية بين الرصدات المتتابعة، والتوافق المبدئي في أول العمل لضبط الجهاز للعمل.

٢- **أخطاء في اختيار المرجع الجيوديسية**، وأخطاء الأجهزة الأرضية (المستقبلات) سواء كان في البرامج او المكونات نتيجة الاختيار السيئ للجهاز ذي المواصفات المناسبة لحجم الدقة المطلوبة.

مقارنة بين تقنية **GPS** للتتبُّع وتقنية **GPS** للملاحة

إنَّ كلاً من التقنيتين تستفيد من الإشارات المرسلة من أقمار منظومة GPS التي تدور حول الأرض. وكلاً منهما لها استخداماتها وأهدافها، فبينما يكثر استخدام تقنية GPS للملاحة من قبل سائقي المركبات بهدف معرفة موقعهم الحالي فضلاً عن إرشادهم إلى الوجهة الصحيحة وغير ذلك من المعلومات المفيدة، فإنه يكثر استخدام تقنية GPS للتتبُّع بشكل خاص من قبل شركات النقل والشحن بهدف متابعة ومراقبة المركبات التابعة لأسطولها أو قد تُستخدم هذه التقنية في حالات التتبُّع الشخصي.

يمكن القول إن تقنية GPS للملاحة تجيب على السؤال التالي: "أين أنا؟" Where I am?، بينما تجيب تقنية GPS للتتبُّع على السؤال التالي: "أين أنت؟" "Where are you؟".

أ - **تقنية الملاحة GPS Navigation:** إنَّ جهاز GPS للملاحة (جهاز GPS الذي يؤدي وظيفة الملاحة Navigation) هو عبارة عن مستقبل الـ GPS الذي يقوم باستقبال الإشارات المرسلة من أقمار نظام الـ GPS الصناعية ومن ثم إجراء الحسابات اللازمة لتحديد إحداثيات الموقع على الأرض. ومن هناك تستخدم البرمجيات اللازمة لِيقوم بإظهار الإحداثيات كنقاط على شاشة الجهاز.ولا تقتصر المعلومات التي يستطيع جهاز الـ GPS للملاحة تحصيلها على إحداثيات الموقع فحسب،وإنما يمكنه أيضاً تحصيل معلومات أخرى مثل الطريق، الاتجاه والسرعة.

ب- **تقنية التتبُّع GPS Tracking:** يتألف أي جهاز GPS للتتبُّع (جهاز GPS الذي يؤدي وظيفة التتبُّع Tracking) من قسمين هما:

١. جهاز GPS للملاحة أي مستقبل GPS.
٢. مودم هاتف خلوي (يستخدم شبكة الهواتف الخلوية) أو مودم لاسلكي فضائي (يستخدم شبكة أقمار صناعية) يسمح بإرسال المعلومات المحصَّلة بواسطة جهاز GPS إلى الجهة التي تريد الحصول على هذه المعلومات.

ومن مجالات تطبيق تقنية **GPS** للتتبُّع هو:

- تقنية GPS لتتبُّع المركبات GPS Vehicle Tracking: وتطبق هذه التقنية في قطاع النقل من أجل تتبُّع جميع أنواع المركبات من: سيارات، شاحنات، مقطورات، عربات سكك حديدية، حاويات، وقوارب.
- تقنية GPS للتتبُّع الشخصي GPS Personal Tracking: وتطبق من أجل تتبُّع الأشخاص أما بهدف حمايتهم وأمنهم مثل: الأطفال، كبار السن، فاقدي الذاكرة أو ذوي الاحتياجات الخاصة، وكذلك من أجل الموظفين. أو بهدف متابعة تحركات أشخاص معيَّنين ومراقبتهم.

اما اهم فوائد استخدام تقنية **GPS** لتتبُع المركبات **Tracking GPS Vehicle**:

يمكن الوصول إلى الفوائد التالية عند تطبيق تقنية الـ GPS لتتبُّع المركبات:

١. تخفيض تكاليف الوقود.
٢. تحسين الإنتاجية وتقديم خدمة أفضل للعملاء.
٣. رصد سرعة المركبة وبالتالي زيادة السلامة الشخصية والمرورية.
٤. الرقابة ومساءلة السائقين.
٥. الحدّ من السرقة.
٦. أرشفة سلسلة نشاطات الأسطول، وذلك من خلال حفظ نتائج التتبُّع في قاعدة بيانات خاصة بالشركة المالكة للأسطول بهدف العودة إليها لاحقاً عند الحاجة.

تطبيقات نظام تحديد المواقع العالمي GPS.

١. **في مجال الطيران والملاحة الجوية**: تستخدم الطائرات نظام الـ GPS لتحديد الطرق الجوية، ومناطق الاقتراب من المطار، وعملية الهبوط الآلي على الممرات. ويُستخدم كذلك في المطارات ذات الأجواء الضبابية، وانعدام الرؤية، وتم اعتماده بشكل كلي في المطارات الأمريكية للدقة العالية، وتفادياً للأخطاء البشرية. كما أفاد هذا النظام شركات الطيران إذ وفر لها كثيراً من نفقات التشغيل لرحلاتها الجوية، إذ إنه يعطي أقصر الطرق الجوية لمطارات الوصول.
٢. **في مجال الملاحة البحرية:** لقد غيَّر نظام GPS من الطريقة التي كان يسير بها العالم. وهذا ينطبق بوجه خاص على العمليات البحرية التي تشمل عمليات البحث والإنقاذ. كما يوفر أسرع وأدق وسيلة للملاحة البحرية في ما يتعلق بقياس السرعة وتحديد موقع السفينة. وهو الأمر الذي يوفّر مستويات أعلى من السلامة والكفاءة للبحارة في جميع أرجاء العالم.

يهتم قبطان السفينة خلال الملاحة البحرية بأن يكون على علم بموقع سفينته عندما تكون في عرض البحر، وأيضاً في الموانئ المزدحمة والمعابر المائية. ويحتاج القبطان عندما يكون في عرض البحر إلى تحديد دقيق لموقع سفينته وسرعتها ووجهتها، لضمان أن تصل السفينة إلى وجهتها بأعلى درجات السلامة، وبأقل التكاليف، وفي الوقت المحدد حسبما تسمح الظروف. وتكتسب الحاجة إلى معلومات دقيقة حول الموقع الذي تكون السفينة فيه أهمية أكبر عند مغادرة السفينة للميناء وعند العودة إليه.

يَستخدم البحارة بصورة متزايدة البيانات التي يوفرها نظام الـ GPS في مسح الأعماق وتثبيت العوامات وتحديد مواقع الخطورة الملاحية ورسم الخرائط. وتستخدمه أساطيل الصيد التجاري في الإبحار إلى أفضل مناطق الصيد، وفي تتبُّع هجرات الأسماك، وفي ضمان الالتزام بالقوانين المعمول بها في هذا الشأن. وكذلك يُستخدم هذا النظام للاستدلال على أماكن السفن المفقودة في البحار، وتقوم

شركات النقل البحري بمتابعة حركة سفنها، ومساراتها في البحار، كما يُستخدم في قوارب النزهات أيضاً.

٣. **في مجال النقل البري:** توفر الإنتاجية والدقة اللتان تنجمان عن استخدام نظام الـ GPS فعاليات متزايدة وسلامة مرتفعة لوسائل النقل ومستخدميه وهي التي تستخدم الطرق السريعة وأنظمة النقل العام. وقد انخفضت المشاكل المرتبطة بتحديد المسارات ومتابعة وسائل النقل التجارية بصورة ملحوظة بمساعدة هذا النظام. إنه ينطبق أيضاً على إدارة أنظمة النقل العام وأطقم صيانة الطرق ومعدات الطوارئ.

هذا ويساعد نظام الـ GPS المسؤولين في مهمة رسم استراتيجيات فعالة تستطيع أن تحافظ على مواعيد وصول وانطلاق عربات النقل العام وفقاً للجداول المعروفة، وأن تُخبر المسافرين بمواعيد الوصول الدقيقة. كما تستخدم أنظمة النقل العام هذه الإمكانية في تتبُّع خطوط الباصات، وسائر الخدمات لتحسين الأداء، كما يساهم في رفع مستوى السلامة المرورية من خلال تتبع حركة المركبات وتوجيهها. إنَّ استخدام تكنولوجيا نظام الـ GPS في التتبُّع والتنبؤ بحركة شحنات البضائع ساهم في تطبيق ما يسمى بالتسليم في وقت محدد سلفاً. وفي إطار هذا التطبيق تستخدم شركات الشحن نظام GPS في تتبع المسارات حتى تضمن التسليم في الموعد المحدد سواء على بعد مسافة قصيرة أو عبر مناطق شاسعة.

تستخدم بلدان كثيرة حول العالم هذا النظام للمساعدة في مسح شبكات الشوارع والطرق السريعة في أراضيها. وهذه الشبكات تشمل محطات الخدمة والصيانة والطوارئ والتموين وممرات الدخول والخروج والعطب الذي يصيب الشبكة الخ.. وتضاف هذه البيانات إلى المعلومات التي يجمعها "نظام المعلومات الجغرافية" (GIS) وتساعد هذه القاعدة المعلوماتية وكالات النقل في تخفيض تكاليف الصيانة والخدمة، وتعزز سلامة السائقين الذين يستخدمون هذه الطرق. يُعد نظام الـ GPS أيضاً عنصراً أساسياً في مستقبل "نظم النقل الذكية" Intelligent Transportation System واختصاراً (ITS). وتضم نظم النقل الذكية نطاقاً واسعاً من المعلومات التي تستند إلى المواصلات والتكنولوجيا الإلكترونية. ويجري حالياً بحث في مجال النظم المتقدمة لمساعدة السائقين، والتي تشمل نظم الانحراف عن الطريق وتجنب الاصطدام عند تغيير السائق للحارة التي يقود فيها سيارته أو شاحنته. وتحتاج هذه النظم إلى تقدير موقع السيارة أو الشاحنة بالنسبة للحارة وحافة الطريق بدرجة من الدقة لا تترك هامشاً للخطأ أكثر من عشرة سنتيمترات.

يُستخدم أيضاً نظام GPS لتوجيه سائقي السيارات وخصوصاً عند قيادتهم في أماكن يجهلونها. إذ أُدخل هذا النظام في الكثير من السيارات المصنعة حديثاً والتي توفر للسائقين خرائط تفصيلية للأماكن والشوارع المتواجدين فيها، وأفضل الطرق وأقصرها والتي ينبغي سلوكها أثناء تنقلاتهم.

٤. **في مجال السكك الحديدية:** يمكن لشبكات السكك الحديدية أن تستخدم نظام GPS بالتضافر مع أجهزة استشعار وأجهزة كمبيوتر، ونظم اتصال من أجل تحسين

مستوى السلامة والأمان وكفاءة التشغيل. كما تساعد هذه التقنيات في تخفيض عدد الحوادث والتأخيرات وتكاليف التشغيل، وكذلك تساهم في زيادة قدرة الخطوط الحديدية وتوفير الراحة للمسافرين وتخفيض ما ينفق من أموال. ثم إنها توفّر جملة من المعلومات الدقيقة والفورية حول مواقع القاطرات وعربات السكك الحديدية ومعدات الصيانة المستخدمة على القضبان والمعدات المتمركزة بجانب الخطوط الحديدية يتكامل مع التشغيل الكفء لشبكات السكك الحديدية.

يُعد ضمان مستويات عالية من السلامة، وتحسين كفاءة تشغيل السكك الحديدية، وتوسيع قدراتها أهدافاً أساسية لصناعة مسارات السكك الحديدية اليوم. إن معظم شبكات السكك الحديدية تتكون من امتدادات طويلة من مجموعة منفردة المسار، ولذلك فالقطارات التي تسير إلى وجهات تُعد بالآلاف، يتعيَّن عليها أن تتشارك في وقتٍ متزامن في استخدام هذه المسارات المنفردة الخط. تنطوي المعرفة الدقيقة للموقع المحدد للقطار على أهمية قصوى لمنع وقوع الاصطدامات، والحفاظ على التدفق السلس لحركة السير، وتقليل حالات التأخير إلى أدنى حدٍ ممكن. لذلك من المهم، ولأسباب تتعلَّق بالسلامة والكفاءة، أن نعرف موقع هذه القطارات وأداءَها بصورة فردية وكذلك على مستوى الشبكة ككل. إنَّ التحسين الذي دخل على الإشارة الرئيسية لـ "نظام المواقع العالمي"، وهو التحسين المعروف باسم "نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي"Differential Global Positioning System، واختصاراً (DGPS) يعزز درجة الدقة والسلامة داخل نطاق المناطق التي يغطيها النظام. ثم أن المعلومات التي تتوفر عن الموقع تمكِّن مسؤول الإشارة من تحديد على أي من المسارين المتوازيين يقع أي قطار. وعندما نضيف "نظام المواقع العالمي التفاضلي" إلى الوسائل الأخرى للملاحة، وتحديد الموقع في حساب الوقت داخل الأنفاق، وخلف التلال، ومختلف العوائق الأخرى فإن هذا النظام (DGPS) يستطيع توفير قدرة دقيقة يعتمد عليها في تحديد الموقع عند إدارة حركة سير قطارات السكك الحديدية. يعد "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) عنصراً أساسياً في مفهوم "التحكم الإيجابي في مسار القطارات" Positive Train Control واختصاراً (PTC)، وهو المفهوم الذي يجري حالياً تبنيه في كثير من مناطق العالم. ويشتمل المفهوم على تقديم معلومات دقيقة عن موقع كل قطار على امتداد خط السكك الحديدية إلى نظم تحكم وقيادة عالية الكفاءة في سبيل وضع أو إنتاج أفضل خطة تشغيل ممكنة: سرعات متنوعة للقطارات، حركة تسيير مرنة لا ترتبك لتغيير المسارات، وأطقم صيانة تنتقل من هنا إلى هناك بأمان سواء على خطوط السكك الحديدية أو خارجها. يستطيع نظام "التحكم الإيجابي في القطارات" (PTC) تتبُّع موقع قطار ما وسرعته بصورة أدق مما كان عليه الحال في الماضي، كما يستطيع توفير معلومات عن حركة القطار لمسؤولي إدارة السكك الحديدية الذين يستطيعون عندئذٍ أن يعززوا السرعات وحدود الأوزان حسب الضرورة. وعن طريق توفير تتبُّع أفضل لموقع القطارات وسرعتها،

فإن نظام (PTC) يزيد من كفاءة التشغيل، ويتيح مقدرة أعلى لخط السكة الحديدية ويعزز قدرات أطقم القيادة ويوفر الراحة للمسافرين والسلامة للشحنات، كما ينتج عنه توفير بيئة طبيعية أكثر أماناً للأشخاص العاملين في الخط.

يستطيع "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) أيضاً أن يساعد في مسح ورسم الخرائط لهيكل خطوط السكك الحديدية لأغراض الصيانة والتخطيط المستقبلي للنظام. وعن طريق استخدام "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) يستطيع المرء أن يحدد بدقة موقع الأعمدة التي ستحمل أرقام الأميال (أو الكيلو مترات)، وصواري الإشارات ونقط الإبراق والجسور، ونقط التقاطع مع الشوارع، ومعدات الإشارة الخ... كما يستطيع "نظام المواقع العالمي" أن يرتفع إلى المستوى العالي من الدقة الذي يحتاج إليه التشغيل في مناطق المحطات النهائية، وفي أفنية السكك الحديدية (مخازن القطارات) إذ نجد أنه من الممكن أن تسير عشرات الخطوط بشكلٍ متوازٍ.

www.tkne.net\vb\t834.html