

# مستقبل الملاحة بالأقمار الصناعية وتأثيرها على سلامة الملاحة البحرية

## دراسة مقارنة بين أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية

إعداد الربان : محسن فكرى

كلية النقل البحري والتكنولوجيا

### مستخلص

في الوقت الحالي، هناك نظام واحد للملاحة بالأقمار الصناعية جاهز تماما للعمل في العالم وهو نظام جي بي اس ، ومن المتوقع أن يكون هناك ثلاثة أنظمة جاهزة للعمل بحلول عام 2010 وهي نظام جي بي اس و نظام جلوناس ونظام جاليليو والتي توفر خدمات الملاحة والتوقيت الدقيق حول العالم. بالإضافة إلي نظام الكويزي الياباني فلقد أصرت اليابان على إطلاق بعض الأقمار الصناعية لكي تزيد من كفاءة نظام جي بي اس وأطلقت عليه اختصارا QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) هذا النظام مخططة أن يوفر تغطية اكبر للمستخدمين المدنيين في اليابان، كذلك أستراليا كتغطية إضافية.

ومع وجود ثلاثة أنظمة عامله للملاحة بالأقمار الصناعية - على الأقل - فسيكون محور هذه الورقة البحثية تحليل الاختلافات والتشابه بين هذه الأنظمة وتفهم كيفية عمل الأنظمة الثلاثة ومدى الدقة في الموقع والوقت عند استخدام الأنظمة الثلاث معا .

### ABSTRACT

At the present moment, there is only one fully operational Global Navigation Satellite System (GNSS) in the world. It is known as NAVSTAR - GPS. It is expected that by 2010, there will be 3 fully operational GNSS in the world (GPS – GLONASS – Galileo) providing navigation and timing services. Japan has recently decided to launch some satellites to augment the capabilities of NAVSTAR GPS called QZSS (short for Quasi-Zenith Satellite System). This system is planned to provide greater coverage for commercial users in the urban areas of Japan but will also provide Australia with additional coverage as well. With at least 3 GNSS in operation, the focus of my paper would be to analyze the differences and similarities of these systems and in the process, gain a good understanding of how the 3 systems work. This would provide a basis for using the 3 systems together simultaneously giving extremely precise timing and positioning data.

### 1. مقدمه

بدأت فكرة إنشاء أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية في أوائل الستينيات من القرن الماضي عندما أطلقت الولايات المتحدة الامريكه أقمار نظام ترانزت الملاحية وظل استخدامه في تحديد الموقع حتى أوائل التسعينات ويعتمد على قياس فارق الدوبلر في تحديد موقع الراصد، وبدأت فكرة إنشاء أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية التي تعتمد

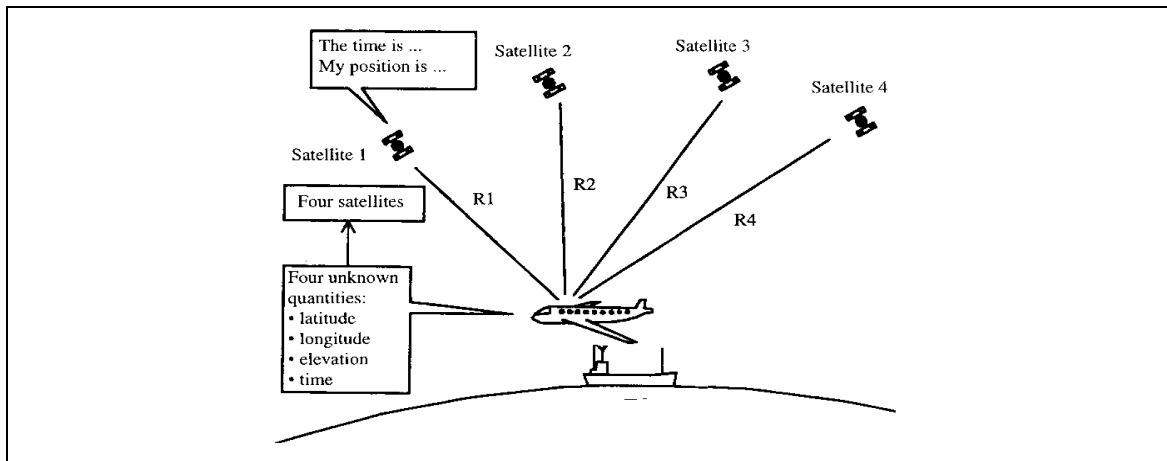
على قياس المدى والوقت في تحديد موقع المستخدم منذ أوائل السبعينات من القرن الماضي عندما بدأت الولايات المتحدة بإنشاء نظام جي بي اس واستخدمة لتحديد الموقع في بداية التسعينات في نفس الوقت بدأت روسيا الاتحادية في إنشاء نظام جلوناس وأعلنت رسميا عن بدء استخدامه في أوائل التسعينات أيضا، واكمل نظام جي بي اس تماما في عام 1995 وأصبح النظام الدقيق الوحيد الذي يتميز بتحديد الموقع والوقت بدقة كبيرة ويتم تحديثه باستمرار بغرض زيادة دقة الموقع بينما حالت الظروف الاقتصادية من تحديث نظام جلوناس الروسي، ثم ظهر نظام جاليليو للملاحة بالأقمار الصناعية الاوربية ليضيف إلى المستخدم المدني خدمات جديدة عن ما قدم نظام جي بي اس أو نظام جلوناس وسوف تشارك اليابان بنظام الكوزي ضمن النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية. تناقش هذه الورقة أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية، وكذا مستقبل هذه الأنظمة مع إجراء مقارنة بينهم ثم تستعرض دقة الموقع وفرته والأنظمة الحالية وما ستوفره من دقة في الموقع وتأمين سلامة الملاحة.

## 2. أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية ومميزاتها

تشمل أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية نظام جي بي اس الأمريكي ونظام جلوناس الروسي والنظامين يشتركان في نفس مبادئ نظرية العمل والمعلومات المرسله لإيجاد موقع المستخدم والسرعة والوقت الدقيق؛ كما يوفر النظامان نفس القدر من دقة الموقع.

### 1.2 فكرة عمل أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية

يرسل القمر الصناعي شفرة المدى من الفضاء ويستقبل جهاز الاستقبال GPS Receiver الموجود مع المستخدم هذه الشفرة المرسله من القمر ويقوم بمقارنة الشفرة المرسله من القمر بالشفرة المنتجة في جهاز الاستقبال ويتمكن المستخدم من التعرف على القمر وحساب المسافة بينه وبين القمر، والرسالة الملاحية تحدد موقع القمر الصناعي ووقت خروج الاشاره من القمر حيث تستلزم عملية تحديد موقع المستخدم أربعة أقمار وذلك لإيجاد موقع ثلاثي الأبعاد والوقت الدقيق (3 - D Position).



شكل (1) الموقع والوقت باستخدام أربعة أقمار صناعية

المصدر: (Poseidon, 2005)

تتكون أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية من ثلاث قطاعات رئيسية وهي:

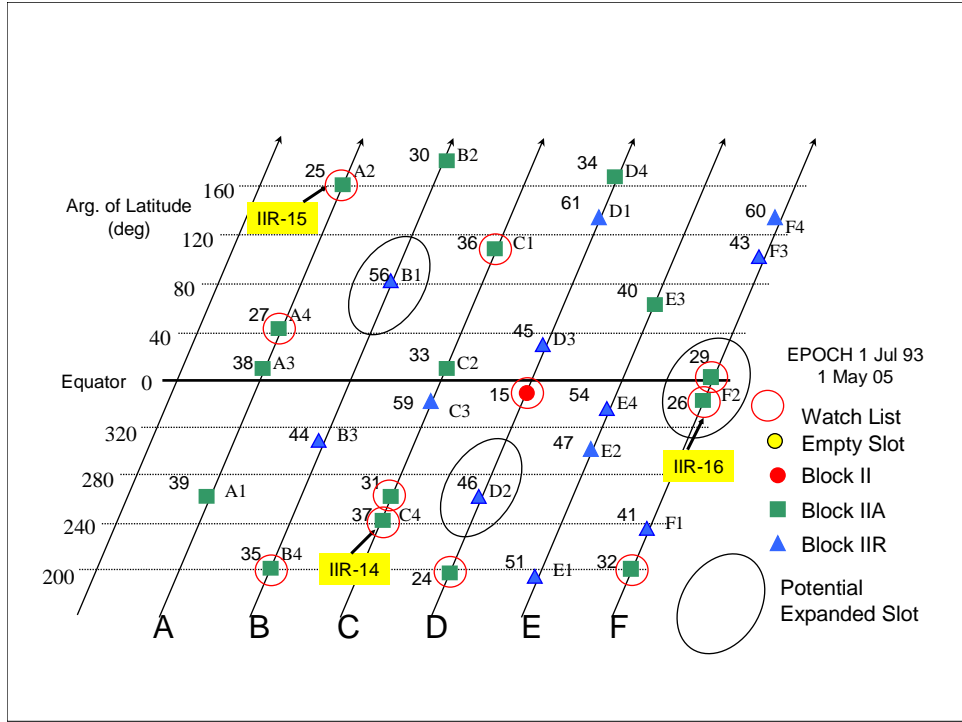
**قطاع الفضاء** والذي يتكون من مجموعة الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات حول الكرة الأرضية وتقوم هذه الأقمار بإرسال إشارات الراديو التي تحتوى على معلومات ملاحية للمستخدمين، و**قطاع المتابعة والتحكم** الذي يتكون من محطة تحكم رئيسية ومحطات متابعة أرضية للتحكم ومتابعة الأقمار وإرسال معلومات ملاحية للأقمار في الفضاء، و**قطاع المستخدمين** وهم مستلمو المعلومات الملاحية من الأقمار من خلال أجهزة الاستقبال والتي تقوم بتحليل إشارات الراديو ومعالجة المعلومات للحصول على موقع المستخدم والسرعة والوقت الدقيق.

## 2.2 نظام الملاحة بالأقمار الصناعية الأمريكية جى بى اس (NAVSTAR (GPS)

هو نظام الملاحة بالأقمار الصناعية GNSS الوحيد الجاهز للعمل تماما الآن ومتوفر إلى المستخدمين، صمّم النظام بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية (DOD) لتحديد الموقع الدقيق وتقديم معلومات عن السرعة والوقت الدقيق إلى المستخدمين العسكريين، ومع ذلك تستعمل خدمات GPS بازدياد بواسطة المستخدمين المدنيين وفقا لضوابط معينه توفر دقة اقل في تحديد الموقع مقارنة بالدقة التي يوفرها النظام للمستخدمين العسكريين، كما يمكن استخدامه مع أنظمة الملاحة الأخرى لزيادة دقة الموقع مثل النظام الفرقى (DGPS) أو نظام لوران سي أو مع أنظمة الملاحة الجوية مثل TACAN. كما أستخدم النظام جى بى اس في تحديد الموقع جزئيا في بداية التسعينات إلا انه كان جاهزا للعمل تماما منذ يوليو 1995 بقطاع فضائي يتكون من 24 قمرا صناعيا تدور في 6 مدارات حول الأرض

### 1.2.2 مكونات قطاع الفضاء في نظام جى بى اس

يتكون قطاع الفضاء من 24 قمرا صناعيا تدور في 6 مدارات حول الأرض ويحتوي كل مدار على أربع أقمار على ارتفاع حوالي 20183 كيلومتر من سطح البحر لضمان وجود ستة أقمار على الأقل في سماء الراصد في أي مكان وأي وقت على سطح الأرض وتميل هذه المدارات على مستوى خط الاستواء بمقدار 55 درجة وتبلغ فترة دورانها دوره كاملة في مداراتها حوالي 12 ساعة لنتيح بقاء الأقمار لفترة طويلة فوق أفق الراصد، حيث تم إطلاق هذه الأقمار علي مراحل زمنية فقد تم إطلاق 11 قمرا من الجيل الأول Block I في الفترة من 1978 إلى 1985 وقد أصبحت خارج التشغيل بانتهاء عمرها الافتراضي، تلاها تسعة أقمار من الجيل الثاني Block II والتي تحمل أرقامها أرقام (13- 21) والتي تم تحديثها بأقمار الجيل الثاني المتقدمة Block IIA حيث أطلق منها إلى الفضاء تسعة عشر قمرا والتي تحمل أرقامها أرقام (22 – 40) وقد تم إطلاقها بين فبراير 1989 وفبراير 1997 حيث يحمل كل قمر أربعة ساعات ذرية دقيقة للمحافظة على الوقت الدقيق وتوليد التردد الأساسي وهذه الأقمار مزودة بنظام الإتاحة المختارة (Selective availability) ونظام ضد التشويش (Anti-Spoofing) والتي تتيح التحكم في دقة الموقع، وفي أكتوبر 1999 تم إطلاق أول أقمار الجيل الثاني Block IIR حيث يقصد بالرمز R Replenishment التي تعنى إحلال، وهي أقمار مزودة بإمكانية قياس المسافة بينها وبين الأقمار الأخرى لحساب إحداثيات كل أقمار المجموعة وإرسالها إلى محطات المتابعة والتحكم لتصحيح مسار القمر في حالة انحرافه عن مداره. وقد تم إطلاق 12 قمرا على المدارات المختلفة من هذا الجيل حتى نهاية عام 2005



شكل (2) توزيع أقمار جي بي اس على المدارات في 31 أغسطس 2005

المصدر: (GPS Joint Program Office 2006)

### 2.2.2 مكونات الإشارة التي ترسلها أقمار جي بي اس

تقوم أقمار نظام جي بي اس وحتى الجيل الثاني إحلال Block IIR بإرسال إشارتها على ترددتين حيث يبلغ تردد الإشارة الأولى (L1) 1575.42 ميغاهرتز وطولها الموجي 19 سم والتي يتم تحميلها بالكود العادي (Coarse Acquisition - C/A code) والذي يبلغ تردده 1.023 ميغا هرتز وطوله الموجي 293 مترا والكود الدقيق (Precise code – P Code) الذي يبلغ تردده 10.23 ميغا هرتز وطوله الموجي 29.3 متر والإشارة الثانية (L2) والتي يبلغ ترددها 1227.6 ميغاهرتز وطولها الموجي 24.5 سم حيث يتم تحميلها بالكود الدقيق فقط (P code) ، كل من الكود العادي والكود الدقيق تردد شفرات عشوائية زائفة منتجة بواسطة الأقمار الصناعية نتيج للمستخدم قياس المسافة الزائفة بينه وبين القمر المستخدم وتحديد هوية القمر

### 3.2.2 الخدمات التي يقدمها نظام جي بي اس ودقة الموقع

المستوي الأول يعرف بخدمة الموقع الدقيقة (Precise Positioning Service – PPS) حيث تعتمد عملية قياس المسافة بين القمر والمستخدم في هذه الخدمة على التعرف على الكود الدقيق (P code) والمحمل على الإشارتين L1، L2 وتقدم هذه الخدمة إلى المستخدمين العسكريين والحكومة الأمريكية والمجهزون بأجهزة استقبال تستطيع أن تستقبل الإشارتان L1، L2 وان تتعرف على الكود العادي والكود الدقيق وحساب قيمة التأخير الناشئ عن مرور الإشارة في الطبقة المتأينة من الغلاف الجوي، وتوفر هذه الخدمة دقة عالية جدا في الموقع والوقت والسرعة حيث تصل دقة الموقع إلى 21 مترا في المستوى الأفقي و 27.7 متر في المستوى الرأسي بينما تصل الدقة في الوقت إلى 197 نانوثانية.

والمستوى الثاني يعرف بخدمة الموقع المعيارية (Standard Positioning Service - SPS) وهي الخدمة التي تصل إلى المستخدم المدني عن طريق الكود العادي (C/A code) فقط حيث لا تتمكن أجهزة الاستقبال التي توجد مع المستخدم المدني من استقبال الاشارة الثانية أو التعرف على الكود العسكري المحمل على الإشارتين الأولى و الثانية، إلا إن الدقة التي توصلت إليها أجهزة الاستقبال في تحديد الموقع بواسطة الكود العادي واستقبال إشارة واحده فقط كانت تقترب من دقة الموقع للكود الدقيق حيث بلغت 25 مترا في المستوى الافقى و30 مترا في المستوى الرأسي و200 نانو ثانية في الوقت، مما دعي وزارة الدفاع الامريكه إلى اعتماد نظام يعمل على تقليل الدقة عند استخدام الكود العادي وحماية الكود الدقيق من التداخل وهما طريقة ضد التشويش Anti Spoofing (AS) وطريقة الاتاحية المختارة Selective Availability (SA) وكلا الطريقتين ينتج عنهما أخطاء متعمده في الموقع والوقت حيث تصل دقة الموقع في المستوى الافقى إلى 100 متر والى 156 متر في المستوى الرأسي بينما تصل دقة الوقت إلى 340 نانوثانية، وكان الغرض منهما حصر الاستخدام الدقيق للاستخدامات العسكرية الامريكه فقط، وقد أمكن التغلب على الخطأ المتعمد عن طريق استخدام النظام الفرقى Differential GPS . وقد تم إلغاء نظام الاتاحية المختارة وجعل النظام متاح للجميع اعتبارا من مايو 2000، إلا إن إمكانية العودة للعمل به مازال قائما عند رغبة الولايات المتحدة في ذلك.

### 3.2 نظام الملاحة بالأقمار الصناعية الروسية جلوناس ( GLONASS )

كلمة GLONASS مشتقة من المصطلح Global Navigation Satellite System وهو النظام الروسي المكافئ للنظام جى بي أس الامريكى وكلا النظامين يشتركان في نفس مبادئ العمل والمعلومات المرسله لإيجاد موقع المستخدم والسرعة والوقت الدقيق، صمّم النظام بواسطة حكومة روسيا الاتحادية للاستخدام في الأغراض العسكرية ثم اتيح استخدامه للأغراض المدنية، هذا النظام لم يكن جاهز للعمل بسبب الظروف الاقتصادية و نقص التمويل في روسيا إلا إنه مخطّط أن يكون جاهزا للعمل تماما عام 2010

#### 1.3.2 مكونات قطاع الفضاء في نظام جلوناس

يتكون قطاع الفضاء في نظام جلوناس من 24 قمرا صناعيا موزعين على 3 مدارات كل مدار عليه 8 أقمار صناعية، يحتوي المدار الأول على الأقمار من (1 – 8) والمدار الثاني على الأقمار من (9 – 16) والمدار الثالث يحتوي على الأقمار من (17 – 24) تدور على ارتفاع 19100 كم من سطح البحر وتميل المدارات على مستوى خط الاستواء بمقدار 64.8 درجة وفترة دورانها في مداراتها دوره كاملة 11 ساعة و15 دقيقه و44 ثانيه، حيث يوفر هذا التصميم تغطيه شامله للكره الارضيه، حيث تم إطلاق أول قمر في 1982 ورغم إعلان روسيا عن استخدام النظام في أوائل التسعينات إلا إن عدم اكتمال الأقمار في الفضاء يؤثر سلبا على تغطية النظام الشاملة للكره الارضيه .

جدول (1) حالة أقمار نظام جلوناس في 20 يوليو 2004

GLONASS Number	Cosmos Number	Plane/slot	Frequency channel	Launch date	Intro Date	Status
794	2402	1/02	04	10/12/2003	02/02/2004	Operating
789	2381	1/03	12	01/12/2001	04/01/2002	Operating
795	2403	1/04	06	10/12/2003	30/01/2004	Operating
711	2382	1/05	02	01/12/2001	15/04/2003	Operating
701	2404	1/06		10/12/2003		
787	2375	3/17	05	13/10/2000	04/11/2000	Operating
783	2374	3/18	10	13/10/2000	06/01/2001	Operating
792	2395	3/21	05	25/12/2002	31/01/2003	Operating
791	2394	3/22	10	25/12/2002	10/02/2003	Operating
793	2396	3/23	11	25/12/2002	31/01/2003	Operating
788	2376	3/24	03	13/10/2000	21/11/2000	Operating

المصدر: (MIT Lincoln Laboratory GLONASS Group 2005)

### 2.3.2 مكونات الإشارة التي ترسلها أقمار نظام جلوناس

تقوم أقمار نظام جلوناس بإرسال إشارتها على ترددتين حيث يبلغ النطاق الترددي للإشارة الأولى (L1) 1602-1615.5 ميغا هرتز بينما يبلغ النطاق الترددي للإشارة الثانية (L2) 1246-1256.5 ميغا هرتز، كما في نظام جي بي اس يستخدم نظام جلوناس شفرتين لإرسال بيانات الأقمار الصناعية وتسمى الشفرة الأولى بالكود العادي (C/A code) والتي يبلغ ترددها 0.511 ميغا هرتز وطولها الموجي 586.7 مترا والكود الثاني يعرف بالكود الدقيق (P code) والذي يبلغ تردده 5.11 ميغا هرتز وطوله الموجي 58.67 مترا والاختلاف الرئيسي بين نظام جلوناس الروسي ونظام جي بي اس الأمريكي إن نظام جلوناس يستخدم تقنية Frequency Division Multiple Access (FDMA) حيث تتيح هذه التقنية إن يرسل كل قمر صناعي على تردد مختلف عن باقي الأقمار، حيث يرسل القمر إشارته الأولى على تردد  $0.5625 + n$  1602 ميغا هرتز بينما يرسل إشارته الثانية على تردد  $0.4375 + n$  1246 ميغا هرتز، حيث n رقم قناة الإرسال (0 و1 و2.....24) كما تتيح هذه التقنية إرسالات متزامنة مع نفقات ثابتة منخفضة، يصعب الشوشرة عليها بواسطة ترددات الشوشرة الاعراضية Jamming ولكن من عيوب هذه التقنية ارتفاع ثمن أجهزة الاستقبال لتقليل التداخل بين قنوات جهاز الاستقبال.

### 3.3.2 الخدمات التي يقدمها نظام جلوناس ودقة الموقع

يوفر تصميم نظام جلوناس تحديدا دقيقا للموقع للمستخدم العسكري والمدني ونظرا لعدم اكتمال عدد الأقمار في الفضاء فان ذلك يؤثر سلبا على التغطية الكلية للكرة الأرضية، كذلك أجهزة الاستقبال الخاصة بهذا النظام ليست متوفرة مثل نظام جي بي اس لنقص تمويل المشروعات الخاصة بأجهزة الاستقبال لذلك يبدو النظام وكأنه قاصر على الاستخدامات الروسية العسكرية .

ويتميز نظام جلوناس بعدم وجود أخطاء متعمده مثل الاتاحيه المختارة (SA) كما كان في نظام جي بي اس. كما انه يتيح استخدام تردددين L2،L1 للمستخدم المدني منذ عام 2006 وذلك لمعادلة تأثير تأخير الاشارة في طبقة الايونوسفير حيث تصل دقة الموقع من 10 إلى 20 مترا وتحاول روسيا التعاون مع الاتحاد الاوربي في تطوير نظام جلوناس للعمل ضمن منظومة الملاحة بالأقمار الصناعية العالمية GNSS

### 3. أخطاء الموقع في أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية

من أهم العوامل التي يتوقف عليها دقة الموقع في أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية هي دقة قياس المسافة بين القمر والمستخدم والدقة الناشئة عن التوزيع الهندسي للأقمار في سماء الراصد وتعرض الأنظمة الحالية لنفس الأخطاء التي تؤثر في دقة قياس المسافة بين الراصد والقمر وتتأثر بالتوزيع الهندسي للأقمار فوق الراصد :

#### 1.3 أخطاء في قياس المسافة Range Measurement Errors

تنتج أخطاء قياس المسافة عن أربعة عوامل رئيسية هي: أخطاء ناتجة من الأقمار الصناعية وأخطاء ناتجة عن مرور موجات الراديو في الغلاف الجوي وخطأ المسار المتعدد والأخطاء الناتجة عن أجهزة الاستقبال

#### 1.1.3 الأخطاء الناتجة عن الأقمار الصناعية

تتضمن أخطاء الأقمار الصناعية كل من أخطاء المدار Ephemeris Errors وأخطاء ساعة القمر Clock Errors وأخطاء الاتاحية المختارة عند العمل بها

#### أولاً: أخطاء المدار

وهي الأخطاء الناتجة عن انحراف القمر عن مداره - الفرق بين إحداثيات القمر الفعلية أثناء لحظة قياس المسافة وإحداثيات القمر التقويمية التي من المفروض أن يكون عليها أثناء لحظة قياس المسافة - ومن المؤكد أن الخطأ في إحداثيات القمر تسبب خطأ في قياس المسافة بين الراصد والقمر.

#### ثانياً: أخطاء ساعة القمر

وهي الأخطاء الناتجة عن انحراف ساعة القمر الصناعي عن ساعة المحطة المركزية - الفرق بين ساعة القمر وساعة المحطة المركزية - فبالرغم من أن الأقمار الصناعية تحتوي على ساعات ذرية ذات دقة عالية جدا تقوم بتوليد التردد الأساسي وحساب الوقت إلا إنها معرضة لبعض الأخطاء ومع إن هذه الأخطاء يتم تصحيحها بواسطة المحطة المركزية إلا إنه يظل هناك اختلاف بسيط في توقيت ساعة القمر الصناعي يسبب خطأ في المسافة المقاسه بين الراصد وبين القمر. وتقدر الأخطاء الناتجة عن الأقمار الصناعية في حدود 3 متر .

#### 2.1.3 الأخطاء الناتجة عن انحراف موجات الراديو في الغلاف الجوي

وهي الأخطاء الناتجة عن انكسار موجات الراديو التي ترسلها الأقمار الصناعية في الطبقة المؤينة من الغلاف الجوي حيث تتأثر موجات الراديو ذات الترددات العالية عند مرورها في طبقة الايونوسفير والتروبوسفير وتتناسب درجة انكسار موجات الراديو طرديا مع كثافة التأين وعكسيا مع مربع التردد المستخدم. أي انه يحدث تأخير لإشارة

الراديو عند مرورها في طبقتي الايونوسفير والتروبوسفير وهذا التأخير يتناسب عكسيا مع مربع التردد أي انه كلما قل تردد الإشارة كلما زاد تأخيرها لذلك يكون تأخير الإشارة الثانية في الغلاف الجوى اكبر من تأخير الإشارة الأولى. حيث يسبب هذا التأخير خطأ في قياس المسافة بين الراصد والقمر تصل قيمته إلي 6 متر ولكن تتمكن أجهزة الاستقبال ثنائية التردد من استخلاص قيمة التأخير في الغلاف الجوى بمقارنة وقت وصول الإشارتين المختلفين. وتتغير كثافة التأين في الجو باختلاف أوقات اليوم فهي بالنهار اعلي منها بالليل واعلي ما يمكن وقت الظهيرة كذلك تتغير كثافة التأين باختلاف فصول السنة وباختلاف خط العرض فكثافة التأين عند المنطقة الاستوائية اعلي منها عند القطبين.

### 3.1.3 خطأ المسار المتعدد

وهي الأخطاء الناتجة عن استقبال إشارة القمر غير المباشرة والمنعكسة من الأجسام المحيطة بجهاز الاستقبال كالجبال أو المنشآت الساحلية أو الأبنية أو منشآت السفينة نفسها والتي تصل إلي جهاز الاستقبال بعد وصول الإشارة الأساسية المباشرة ويسبب استقبال مسار موجات الراديو المتعددة خطأ في قياس المسافة بين الراصد والقمر لا يتجاوز 1 متر.

### 4.1.3 الأخطاء الناتجة عن أجهزة الاستقبال

وهي الأخطاء الناتجة عن أجهزة الاستقبال من تشويش خارجي وخطأ ساعة أجهزة الاستقبال التي تكون اقل دقة من ساعة القمر ويمكن إزالة خطأ ساعة جهاز الاستقبال بقياس المسافة بين الراصد والقمر الرابع لإيجاد قيمة الفرق بين ساعة الراصد وساعة القمر وقيم هذه الأخطاء تختلف من جهاز إلي آخر حسب طريقة الصنع ونوعية مكوناته والتي تسبب خطأ في المسافة المقاسه بين الراصد والقمر لا تتجاوز عدة أمتار.

## 2.3 أخطاء ناتجة عن التميع أو التوزيع الهندسي للأقمار في سماء الراصد (DOP)

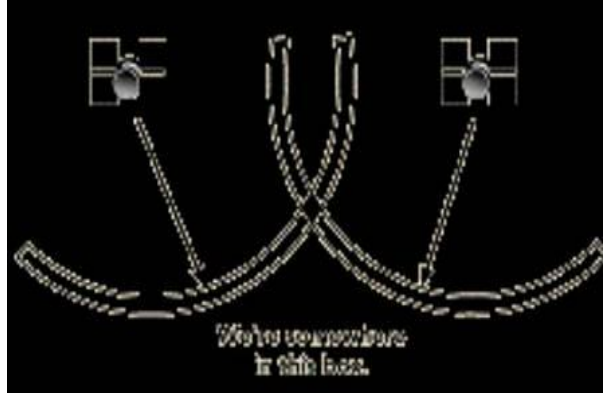
يبقى أن نضيف أن من اهم العوامل التي يتوقف عليها دقة الموقع هي التوزيع الهندسي للأقمار في سماء الراصد وهو ما نطلق عليه التميع أو التخفيف في دقة الموقع (DOP) "Geometric Dilution of Precision" or (DOP) وهي عملية تبدو معقدة لكن المبدأ بسيط تماما. هناك عادة عدد من الأقمار الصناعية المتوفرة في سماء الراصد أكثر مما يحتاجه لإيجاد الموقع مما يتيح للراصد اختيار أفضل الأقمار وتجاهل الباقي، فاختيار أقمار قريبه من بعضها في الفضاء وهو ما يطلق عليه التوزيع الهندسي غير الجيد (Poor GDOP) ينتج عنه زيادة في التميع أو التخفيف (High DOP) وتقل درجة الدقة في تحديد الموقع



شكل (5) توزيع جيومتري غير جيد للأقمار



ان يختار جهاز الاستقبال أقمارا صناعية متباعدة عن بعضها وهو ما يطلق عليه التوزيع الهندسي الجيد (GOOD GDOP) والذي تقل معه درجة التميع (Low DOP) فتزداد معه دقة الموقع وتتمكن أجهزة الاستقبال من تقدير قيمة التميع أو التخفيف بحساب حجم الفراغ (V) المحصور بين الراصد والأقمار الصناعية المستخدمة فعندما يكون حجم الفراغ صغيرا تزداد درجة التخفيف وتقل دقة الموقع والعكس صحيح عندما يكون حجم الفراغ كبيرا تقل درجة التميع أو التخفيف وتزداد دقة الموقع.



شكل (6) توزيع جيومتري جيد للأقمار

مع ملاحظة أن خطأ التوزيع الهندسي يعبر عن الخطأ في لحظة معينة للراصد يتغير باستمرار نتيجة دوران الأقمار حول الأرض. فيجب مراقبة قيمة التميع (DOP) على جهاز الاستقبال ومن ثم إيجاد الخطأ الكلي في الموقع من العلاقة الرياضية

الخطأ الكلي = قيمة التميع أو التخفيض الهندسي (DOP) X الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ في قياس المسافة  
فكلما كان عدد الأقمار في الفضاء أكثر يتيح لأجهزة الاستقبال اختيار أقمار ذات توزيع جيومتري جيد مما يزيد من دقة الموقع.

### 3. مستقبل أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية ومميزاتها

لقد قدمت أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الحالية التغطية الشاملة للكرة الأرضية ووفرت للملاح الحصول على الموقع والوقت الدقيق بطريقه سهله في البحار المفتوحة والمحيطات ولكن لم تستطع الأنظمة الحالية تأمين الملاحة في القنوات والممرات الملاحية الضيقة والملاحة داخل الموانئ والتي تمثل خطورة حقيقية على السفينة وسلامة الملاحة، كما لم تستطع الانظمة الحالية من تحقيق المتطلبات العالية للملاحة الجوية والتي تضعها المنظمة الدولية للطيران المدني (ICAO) بسبب قصور الانظمة الحالية في الاستمرارية وصحة واستقامة النظام (Integrity Service) ; وهي الفترة الزمنية بين حدوث عطل في احد مكونات النظام وبين إعادة التشغيل والتي تتطلب الملاحة البحرية ألا تزيد هذه الفترة عن عدة دقائق وإلى عدة ثوان في الملاحة الجوية، ولكن أمكن التغلب على هذه المشاكل بالتكامل مع أنظمة تحديد الموقع الفرقية DGPS ، هذا بالإضافة إلى السيطرة العسكرية لحكومات اجنبيه على الانظمة الحالية. من هنا كان هناك ضرورة لتحديث الأنظمة الحالية لتفي بمتطلبات الملاحة البحرية في الممرات والقنوات الضيقة ومتطلبات الملاحة الجوية العالية ووجود نظام للملاحة بالأقمار الصناعية يدار بواسطة القطاع المدني ، ولقد قامت الولايات المتحدة بتحديث نظام جي بي اس ويقدم الاتحاد الأوروبي نظام جاليليو كما تقدم اليابان نظام الكويزي وتمثل هذه الأنظمة مستقبل الملاحة بالأقمار الصناعية وتأثيرها على سلامة الملاحة التي

حددها المنظمة البحرية الدولية IMO - وهي الجهة المسؤولة عن وضع المعايير وحدود الأداء للأنظمة والأجهزة على سطح السفن - في توصياتها الصادرة تحت رقم {IMO Resolution A.953(23)} كالتالي:

- دقة الموقع يجب أن لا تقل عن 10 متر
- التغطية متوفرة في جميع مراحل الرحلة
- الإشارة متاحة بنسبة 99.8% لمدة سنتين على الأقل
- تحديث الموقع مرة كل 10 ثواني (ومرة كل 2 ثانية عندما يستخدم الموقع مع جهاز التعريف الآلي ( AIS
- يوفر النظام اعتمادية لا تقل عن 99.97% لمدة 3 ساعات على الأقل
- يعطى إنذار في حالة وجود عطل في النظام (عدم توفر النظام - عدم استمرارية النظام) خلال 10 ثواني على الأكثر.

جدول (2) يوضح المتطلبات الحالية لأنظمة الملاحة بالراديو كما حددها المنظمة الدولية البحرية

الدقة بالمتري (95%)	الإنذار عند وجود عطل بالثانية	الاتاحية لمدة سنتين (%)	الاعتمادية لمدة 3 سنوات (%)	معدل تحديث الموقع بالثانية
100	---	99.8	----	10
10	10<	99.8	99.97 <	10
10	10<	99.5	99.85	10

### 1.3 نظام الملاحة بالأقمار الصناعية الأوربي جاليليو GALILEO

هو المشروع الأوربي للملاحة بالأقمار الصناعية، والذي صمّم بواسطة دول الاتحاد الأوربي لتحديد الموقع الدقيق وتقديم معلومات عن السرعة والوقت الدقيق إلى المستخدمين المدنيين ومستقلا عن التحكم العسكري ومن المنتظر أن يكون جاهزا للعمل بحلول عام 2010 ونظام جاليليو مصمّم أن يعمل كنظام ملاحة منفرد قائم بذاته أو أن يعمل في ارتباط مع نظام جي بي اس الأمريكى مع تحسّن في الدقة عن نظام جي بي اس الأمريكى وكذلك يقدم خدمات إضافية عن النظامين جي بي اس وجلوناس.

#### 1.1.3 مكونات قطاع الفضاء في نظام جاليليو

ويتكون قطاع الفضاء في نظام جاليليو من 30 قمرا موزعين على 3 مدارات على 10 أقمار على كل مدار. تدور حول الأرض على ارتفاع 23222 كم ويميل مدارها على خط الاستواء بزاوية مقدارها 56 درجة وفترة دورانها حوالي 14 ساعة ليضمن التغطية الشاملة للكرة الأرضية بالإضافة إلي ثلاث أقمار ثابتة على ارتفاع 36000 كم لإذاعة التصحيحات ومتابعة استقامة وأداء النظام. (رشاد، 2006)

### 2.1.3 الخدمات التي يقدمها نظام جاليليو

يوفر نظام جاليليو خدمة تحديد الموقع للمستخدمين المدنيين وفقا لضوابط معينه تضمن تحقيق الدقة المطلوبة على النحو التالي:

#### أولا الخدمة المفتوحة (The Open Service - OS):

وتقدم هذه الخدمة مجانا إلى جميع المستخدمين حيث ترسل إشارات الخدمة المفتوحة على ترددين "E2-L1-E1-OS" الاشاره الأولى على النطاق الترددي 1164 - 1214 هيجا هرتز والاشاره الثانية على النطاق الترددي 1563 – 1591 هيجا هرتز وسوف تصل دقة الموقع لمستخدم الخدمة المفتوحة الذي يستقبل الإشارتان إلى 4 متر في المستوى الافقى و 8 متر في المستوى الرأسي أما أجهزة الاستقبال التي تستقبل اشاره واحدة فقط تصل دقة الموقع إلى 15 متر في المستوى الافقى و 35 مترا في المستوى الرأسي وهي تقترب من دقة موقع المستخدم المدني لأقمار الجيل الثاني أحلال Block IIR في نظام جي بي اس ولكن لن توفر هذه الخدمة التحذير في حالة وجود خلل في إرسال احد الأقمار.

#### ثانيا الخدمة التجارية (The encrypted Commercial Service - CS):

توفّر خدمه مؤمنه مدفوعة الأجر مشفره حيث يتمكن مستخدمى هذه الخدمة من استقبال اشارتى الخدمة المفتوحة OS بالاضافه إلى الاشاره الثالثة المحمية "E6CS" التي تبث على الحيز الترددي 1260 – 1300 ميجا هرتز والتي ستصل دقة موقع المستخدم لهذه الخدمة إلى اقل من 1 متر وتصل الدقة إلى اقل من 10 سم بالتكامل مع النظام التفاضلي الفرقي DGPS

#### ثالثا الخدمة العامة المحكمة (The encrypted Public Regulated Service - PRS):

توفّر خدمه مؤمنه و مشفره مع ضمان استمرارية الخدمة في حالة تعطل الخدمة المفتوحة وترسل إشارات هذه الخدمة على 3 ترددات . "E6-PRS" و "E2-L1-E2-PRS" وهي خدمه مخصصة لاستخدامات السلطات الامنيه والحكومية لدول الاتحاد الاوربي مثل الشرطة وعربات الإسعاف ومتابعة عمليات نقل النفايات بالإضافة إلى الاستخدام في الأغراض العسكرية، وسوف تكون إشارات هذه الخدمة محمية من التداخل أو الشوشرة المتعمدة jamming

#### رابعا خدمة سلامة الأرواح (Safety of Life Service - SOL):

بالرغم من وجود قيود على هذه الخدمة إلا أنها تقدم مجانا لمستخدمي الطيران المدني . حيث تستخدم في تطبيقات مختلفه مثل (الهبوط الاتوماتيكي للطائرات – أبراج المراقبة الجوية ..... الخ) والملاحة البحرية والنقل البري وتقدم هذه الخدمة التحذيرات الأزمه في حالة وجود عطل بأحد الأقمار الصناعية.

#### خامسا خدمة البحث و الإنقاذ (Search and Rescue Service - SAR):

يوفر النظام خدمة البحث والإنقاذ في حالة الطوارئ عن طريق الاتصال المباشر بالأقمار المخصصة للبحث والإنقاذ المختلفة في العالم مثل COSPASSARSAT على ترددات الاستغاثة 406 – 406.1 ميجا هرتز مما يجعله جزء من منظومة الاستغاثة المعروفة باسم ( – Global Maritime Distress and Safety System)

GMDSS

### 2.3 تحديث نظام جي بي اس

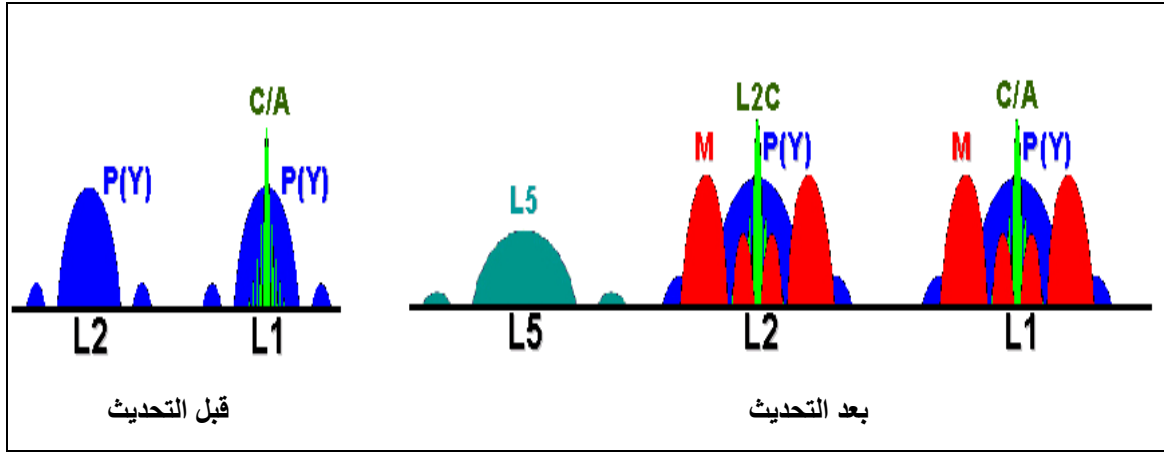
يتم تحديث نظام جي بي اس باستمرار من أجل زيادة دقة الموقع وضمان استمرارية واستقامة النظام ليفي بالمتطلبات المدنية والتحديات العسكرية ويتم ذلك عن طريق زيادة عدد الأقمار في الفضاء وبتحديث الإشاره التي ترسلها هذه الأقمار الى المستخدم .

#### 1.2.3 مكونات قطاع الفضاء في نظام جي بي اس بعد التحديث

لقد كان نظام جي بي اس جاهز للعمل تماما منذ يوليو 1995 بقطاع فضاء يتكون من 24 قمرا تدور في 6 مدارات ولكن عدد الأقمار يختلف من وقت لآخر بسبب انتهاء العمر الافتراضي للقمر أو بسبب وضع أقمار جديدة في المدارات تحديثا للأقمار العاملة وفي عام 2004 تم زيادة عدد الأقمار إلى 28 قمرا وفي يناير 2005 تم زيادة عدد الأقمار إلى 29 قمرا ومن المقرر إن يصل عدد الأقمار إلى 32 قمرا بحلول عام 2008، مما سيترتب عليه زيادة دقة الموقع، وفي نفس الوقت تقوم الولايات المتحدة بتطوير الأقمار الصناعية وقامت بإنتاج أقمار الجيل الثاني المعدلة Block IIR-M وقد تم إطلاق ثلاثة أقمار منها خلال عام 2006 بالإضافة إلى إن هناك 5 أقمار أخرى في مراحل تصنيع مختلفة بين الشركة المنتجة Lockheed Martins والقوات الجوية الأمريكية Air Force حيث من المقرر إطلاق هذه الأقمار الخمس خلال عام 2007 ومن المخطط أن يتم إطلاق أقمار الجيل الثاني اللاحقة Block IIF بحلول عام 2008 حيث يشير الحرف F اختصارا إلى (Follow on) أي المجموعة اللاحقة والتي تحمل إمكانيات متطورة بالإضافة إلى تقوية الترددات المرسله من الأقمار لضمان وصولها إلي أجهزة الاستقبال كذلك زيادة عمر الأقمار الافتراضي إلى 15 عاما.

#### 2.2.3 مكونات الإشارة التي ترسلها أقمار جي بي اس المعدلة

قامت الولايات المتحدة بتحديث الإشارات التي ترسلها أقمار الجيل الثاني المعدلة Block IIR-M وذلك بإضافة الكود المدني الجديد L2C على الإشاره الثانية L2 والذي يمكن المستخدم المدني من استقبال الإشاره الثانية ويتمكن من حساب قيمة الخطأ الناتج عن تأخير إشارات الراديو في طبقة الايونوسفير. بالإضافة إلي إشارة مدنيه جديدة على الموجه الحاملة L5 التي يبلغ ترددها 1176.45 ميغا هرتز والتي ترسلها أقمار الجيل الثاني Block IIF بغرض زيادة دقة الموقع وتأمين وصول الإشاره للمستخدمين المدنيين، حيث تستخدم الإشارتان L2C&L5 استخدام مماثل لنظام جاليليو، حيث تستخدم الإشاره الجديدة L5 لسلامة الأرواح حول العالم كذلك زيادة دقة موقع المستخدم المدني عندما تستخدم مع الكود العادي C/A المحمل على الإشاره L1 ، وكذلك إشارة إضافية للمستخدمين العسكريين حيث يتم تحميل الإشاره الثانية بالكود العسكري الجديد L2M



شكل (7) تركيب الإشارة في نظام جي بي اس قبل وبعد التحديث

المصدر: GPS Joint Undertaking Office 2006

### 3.2.3 مميزات نظام GPS بعد التحديث

أدى تحديث نظام جي بي اس إلى زيادة دقة الموقع لكل من المستخدم المدني والمستخدم العسكري وأصبح دقة موقع المستخدم المدني مماثلة لدقة موقع المستخدم العسكري اليوم وبعد أن يكتمل إطلاق الجيل Block IIF ويتمكن المستخدم المدني من الحصول على ثلاث إشارات ستصل دقة الموقع إلى اقل من واحد متر ويمكن زيادة هذه الدقة إلى 10 سم باستخدام النظام الغرقى DGPS ، كما أصبح النظام أكثر استمرارية ومقاومة للتداخل وطاقة إرسال أعلى أربعة أضعاف مما يضمن وصول الإشارة إلى المستخدم وكذا تحسين المعلومات الملاحية وتقليل خطأ المسار المتعدد وتصحيح الخطأ الناتج عن تأخير الإشارة في طبقة الأيونوسفير.

### 3.3 نظام الملاحة بالأقمار الصناعية اليابانية الكويزي (Quasi-Zenith Satellite System) QZSS

أحد أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية GNSS تم تصميمه بواسطة حكومة اليابان بغرض زيادة دقة الموقع لمستخدمي نظام جي بي اس فهو ليس مصمم أن يقدم معلومات دقيقة كنظام منفرد لكن يوفر خدمة محدودة لتحسين دقة الموقع حول الجزر اليابانية وتغطية اضافية لشرق آسيا وأستراليا، يستخدم نفس بناء إشارات نظام جي بي اس ويرسل إشاراته على الترددات L1, L2 & L5 وهي نفس ترددات نظام جي بي اس

## 4. الخلاصة

أدى التقدم التكنولوجي الكبير في مجال الملاحة بالأقمار الصناعية وتحديث نظام جي بي اس وانضمام نظام جاليليو ونظام الكويزي الياباني وإتاحة ثلاث ترددات مفتوحة للاستخدام المدني وأضافه خدمه جديدة لسلامة الأرواح واستقامة أداء الانظمه إلى تحقيق الدقة العالية من ثم تفعيل استخدام الخرائط الالكترونية (ECDIS) عند الاقتراب من الموانئ والممرات الضيقة والتي توفر للربان سرعة تداول المعلومات في مكان واحد بالتكامل مع أنظمة التعريف الآلي (AIS) مما يحقق سلامة الملاحة البحرية . وفي بالمتطلبات الحالية التي حددتها المنظمة الدولية البحرية.

كما أضاف وجود نظام جاليليو كنظام مدني تجارى بعدا جديدا لدقة الموقع وسلامة الملاحة بعيدا عن السيطرة العسكرية للانظمة الحالية بالإضافة إلي الخدمات الكثيرة التي سيقدمها النظام في مجال حماية البيئة وفي أعمال المساحة وعمليات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) و تقديم خدمة البحث والإنقاذ (SAR) كقيمة مضافة للملاحة البحرية ، وتأمين هبوط الطائرات والمراقبة الجوية.

وسوف تتحقق الفائدة الأعظم بالتكامل بين الانظمة الثلاثة معا وبوجود أجهزة استقبال قادرة على استقبال إشارات الانظمة الثلاثة حيث يكون في سماء الراصد أكثر من 80 قمرا صناعيا مما يتيح اختيار أفضل الأقمار توزيعا لتحديد الموقع الأكثر دقة.

## References

1. A.Brown, Y.Lu, and J.Nordlie, (2005) “Integrated GPS/TOA Navigation using a Positioning and Communication Software Defined Radio, ”Proceedings of ION GNSS 2005, Long Beach, California, September 2005
2. Bandemer, B., Denks, H., Hornbostel, A.and Konovaltsev, A., (2006) “Performance of acquisition methods for Galileo SW receivers” European Journal of Navigation, Vol.4, No. 3, pp 17-9, July 2006
3. Seeber, Gunter (2003) .Satellite Geodesy (2ndEdition). Walterde Gruyter Inc. ISBN:31101
4. Tetley, L. and Calcutt, D. (2001); electronic navigation system, Butterworth-Heinemann
5. GPS World Periodicals. Proceedings of ION, GPS, (2002) .Portland, Oregon, USA Sept.2002.
6. *International Symposium on GPS/GNSS proceedings* (2005); Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong , Hong Kong Polytechnic University. December 2005
7. Alan Cameron, (2006) New Signal, New Show, GPS World, (cited 5 December 2006) available from the internet, <http://www.gpsworld.com/gpsworld/>
8. Galileo Services (cited 27 March 2007) available from the internet, <http://www.esa.int/esaNA/index.html>

المراجع العربية

1. رشاد، رفعت (2006). الأقمار الصناعية والملاحة الالكترونية، منشأة المعارف