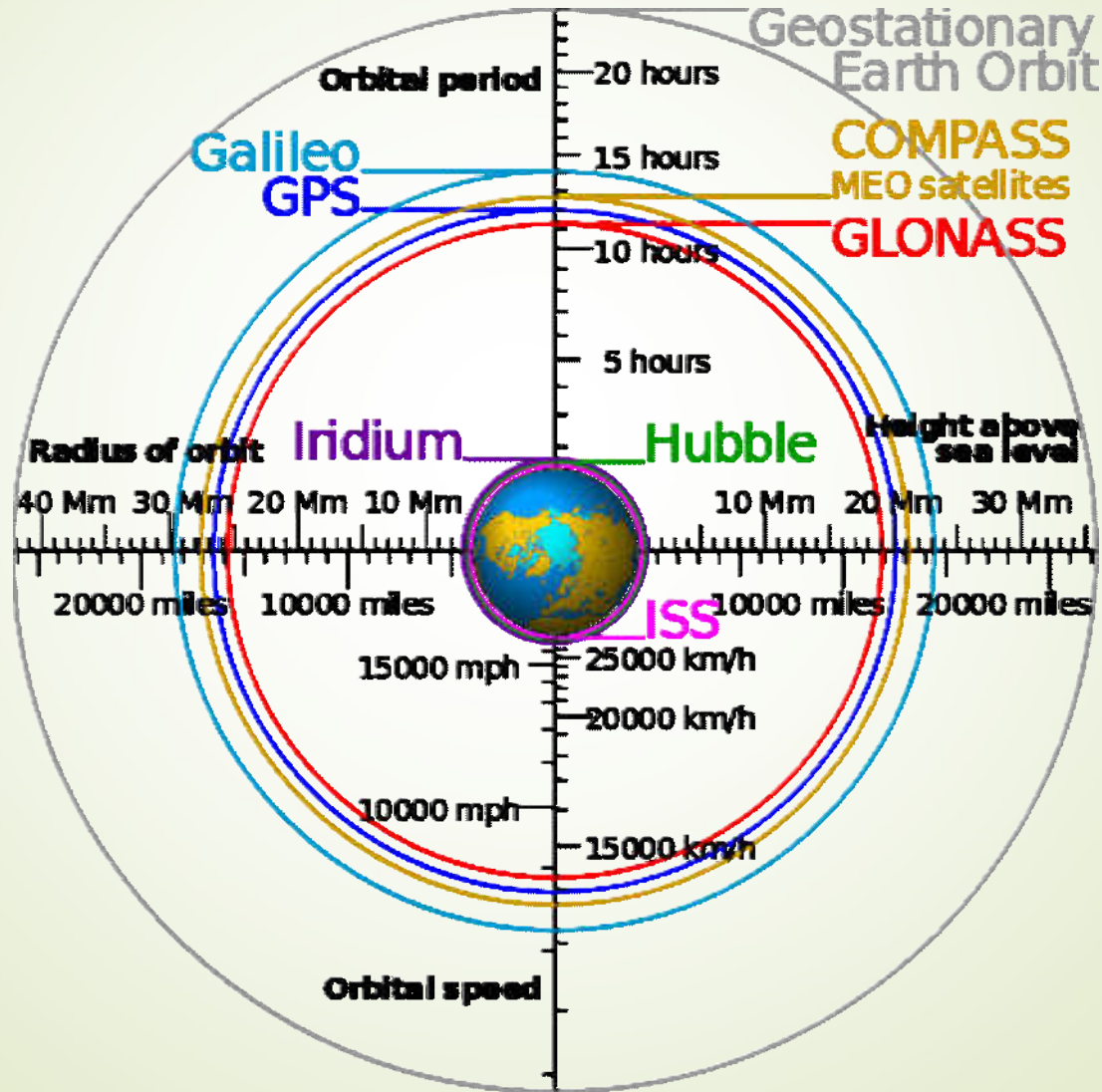




**IX. Технологии за
навигационни услуги
по позициониране
и локализиране
на мобилни обекти**

СПЪТНИКОВИ НАВИГАЦИОННИ СИСТЕМИ



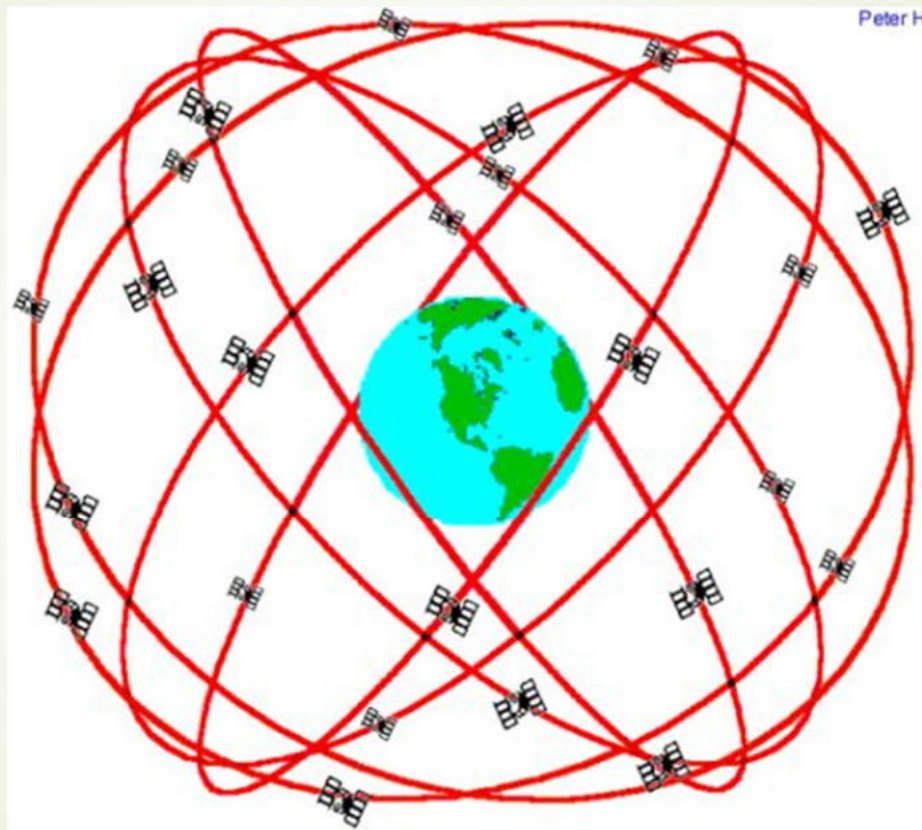
1. GPS (Global Positioning System)

- Глобална система за позициониране (Global Positioning System) или GPS (Джи Пи Ес) е името на спътникова радионавигационна система за определяне на положението, скоростта и времето с точност до 1 наносекунда във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време.
- Американските военни наричат системата „NAVSTAR GPS“ — „Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System“.

1. GPS

- Системата се състои от минимум 24 спътника, разположени на 6 орбити на височина около 20 000 километра и наземен контролен център с наблюдателни станции, разположени в различни точки на Земята.
- Принципът на действие се базира на измерването на разстоянието от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати са точно определени и известни. Разстоянието се пресмята на базата на времето за разпространение на радиосигнала от спътника до потребителя.

1. GPS



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination



1. GPS

- Глобалната система за позициониране е проектирана и контролирана от Министерството на отбраната на САЩ. Тя може да бъде използвана безплатно от всеки.
- Глобалната система за позициониране е разделена на три сегмента: космически, контролен и потребителски.

1. GPS

1.1. Космически сегмент

- Космическият сегмент се състои от минимум 24 оперативни GPS-спътника, разположени в 6 геоцентрични орбитални равнини, съдържащи по 4 спътника с наклон на орбитата спрямо екватора под ъгъл 55° .
- Спътниците са разположени така, че във всеки момент и във всяка точка на Земята да се виждат най-малко 4 от тях.
- Всеки спътник има на борда 4 атомни часовника и извършва една пълна обиколка на своята орбита за 11 часа и 58 минути (половин звезден ден).

1. GPS

1.1. Космически сегмент

- GPS-спътниците излъчват сигнал на две носещи честоти: L1 (1575,42 MHz) и L2 (1227,60 MHz), които са кратни на стандартната честота (10,23 MHz) на атомните часовници на борда и са модулирани с C/A- („coarse acquisition“) и P- („precise“) кодове.
- Делта на използването на две честоти е елиминирането на грешката, получена от закъснението на сигнала при преминаването му през йоносферата.
- От тези честоти и кодове единствено L1 и C/A-код са достъпни за цивилните потребители, останалите са запазени за военни цели.



1. GPS

1.2. Контролен сегмент

- Контролният сегмент се състои от 5 наблюдателни наземни станции, разположени по целия свят, наземни антени и един главен контролен център в Колорадо Спрингс, които контролират работата на всеки спътник и са отговорни за измерване параметрите на орбитите на спътниците и на отклонението на часовниците, прогнозиране на параметрите на орбитите, синхронизирането на атомните часовници, подаване на данни за препредаване от сателитите.

1. GPS

1.3. Потребителски сегмент

- ▶ Потребителският сегмент се състои от GPS-приемници, използващи се както за военни, така и за цивилни приложения. GPS-приемникът декодира времеви сигнал, подаван от атомните часовници на няколко сателита, и изчислява позицията си с помощта на трилатерация (сходен, но различен от триангулацията метод).
- ▶ GPS-приемници се използват главно за навигация в пътния, морския и авиационния транспорт, в селското стопанство, както и за точно определяне на времето и синхронизация в някои области на индустрията.

1. GPS

1.4. Принцип на действие

- Принципът на действие на GPS се базира на т. нар. метод на трилатерация, чрез който позицията на една точка се определя като пресечената точка на няколко окръжности (или сфери) с известен радиус и известни координати на центъра.
- В контекста на GPS, всеки спътник може да се определи като център на сфера с координати - позицията на спътника и радиус - разстоянието от спътника до приемника. За да се определи положението на един приемник, то той трябва да разполага с разстоянието до спътниците и техните точни координати.

1. GPS

1.4.1. Определяне на разстоянието до приемника

- Разстоянието от всеки спътник до потребителя се пресмята като времето, за което сигналът изминава разстоянието от спътника до приемника, се умножи по скоростта на светлината (скоростта, с която се разпространяват електромагнитните вълни).
- Времето, за което сигналът достига до потребителя, е разликата във времето на приемане и на изпращане на сигнала.
- Поради няколко причини, разстоянието изчислено в приемника съдържа грешки и не е реалната стойност. То се нарича псевдоразстояние и се използва за определяне на позицията.



1. GPS

1.4.1. Определяне на разстоянието до приемника

- За да се изчисли времевия интервал за разпространение на радиосигнала от спътника до потребителя, приемникът и спътникът генерират еднакъв код, синхронизиран по време.
- Тъй като GPS-спътниците изпращат известен, повтарящ се 1023-битов, псевдо-случаен код, приемниците са способни да генерират същия този код. В този случай, измерването на времето за пътуване на сигнала се свежда до измерване на закъснението на приетия код спрямо генерирания в приемника.

1. GPS

1.4.1. Определяне на разстоянието до приемника

- Точността на направеното измерване зависи основно от стабилността на бордовия еталон на честота.
- Приемниците и спътниците се нуждаят от изключително точни часовници, за да могат да генерират синхронизирани сигнали.
- Затова като основен елемент на спътниковата навигационна апаратура се използва генератор на честота с много голяма стабилност, реализиран с атомен часовник.

1. GPS

1.4.1. Определяне на разстоянието до приемника

- ▶ Поради високата им цена обаче, в приемниците се използват по-евтини, но и по-неточни кварцови часовници.
- ▶ Ако часовниците на приемника и спътника бяха идеално синхронизирани, то всички сфери с център - позициите на спътниците и радиус - разстоянията до тях щяха да се пресичат в една точка, която е и търсената позиция.
- ▶ При непрецизни часовници, тези сфери не се пресичат в една и съща точка, поради грешката в определянето на радиусите им.

1. GPS

1.4.2. Определяне на положението на спътниците

- За да могат да се определят координатите на обектите, освен с разстоянието до спътниците, е необходимо да се знае и тяхното точно текущо местоположение.
- Информация за това се съдържа в излъченото от тях навигационно съобщение, чрез което се предават орбиталните параметри необходими за определяне на точното местоположение, параметрите за точността на часовниците, за корекциите им и оценка за точността на положението.
- Координатите на всеки спътник се пресмятат в приемника въз основа на тези параметри.

1. GPS

1.4.3. Определяне на положението на приемника

- Позицията на всеки приемник се определя като точка в тримерното пространство на земята и се състои от три координати - географска ширина, географска дължина и надморска височина.
- За да определи точното си положение, всеки приемник трябва да реши уравнение с три неизвестни, наречено навигационно уравнение.
- Към тези неизвестни се прибавя и грешката на часовника в приемника, за да се избегне проблема с недостатъчната му прецизност.

1. GPS

1.4.3. Определяне на положението на приемника

- По този начин GPS-приемникът се нуждае от не много прецизен, но достатъчно стабилен часовник, като алгоритъмът за определяне на позицията компенсира грешката на часовника и позволява да се коригират разстоянията за изчисляването на точната позиция.
- При използване на този метод за определяне на положението на приемник в тримерното пространство, при четири неизвестни са необходими най-малко четири GPS-спътника.
- Използването на повече от четири допринася за по-голяма точност на позицията.

1. GPS

1.5. Приложение

- GPS е система, проектирана от американските военни, и основно се употребява за военни цели. Тя се използва на всяко място, където е разположена американската армия, за определяне на позицията на бойните единици, управление на бойни ракети и др.
- Освен за военни цели, системата се използва широко и от цивилни потребители, тъй като дава възможност да се определя положението и времето с много висока точност. Важна характеристика на системата е възможността тя да бъде използвана безплатно, което я прави полезна за потребителския пазар.

1. GPS

1.5. Приложение

- Някои от основните области на приложение на GPS са:
 - Навигация в транспорта - използва се за навигация в пътния, морския и въздушния транспорт, оптимизация на маршрути. В момента съществува голям брой сравнително евтини приемници и приложения, които се използват за навигация в автомобилите.
 - GPS проследяване и контрол на транспортни средства, хора и животни
 - В науката и изследователската дейност - в географията, картографията, геологията, геодезията, археологията и др.



1. GPS

1.5. Приложение

- ▶ В селското стопанство - за планиране на терени, навигация на селскостопански машини и др.
- ▶ При комуникациите - за синхронизиране на комуникационни системи
- ▶ За туризъм и спорт - ориентиране, планински спасителни служби
- ▶ За определяне на точното време и др.

2. ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система)

- Руската система ГЛОНАСС използва същия принцип за определяне на позиция, както американската система. През октомври 1982 г. първият спътник ГЛОНАСС е изведен в орбита около Земята, но системата е пусната в експлоатация едва през 1993 г.
- Спътниците на руската система непрекъснато излъчват сигнали със стандартна точност (СТ) - в диапазона 1,6 GHz и с висока точност (ВТ) - в диапазона 1,2 GHz.
- Приемът на сигнал със СТ е достъпен за всеки потребител на системата и осигурява определяне на хоризонталните и вертикални координати, вектора на скоростта, както и на времето.

2. ГЛОНАСС

- ▶ Например, за точно посочване на координатите и времето трябва да се приеме и да се обработи информация не по-малко от четири спътника от системата ГЛОНАСС.
- ▶ Цялата система ГЛОНАСС се състои от двадесет и четири спътника, които се намират в кръгови орбити на височина около 19100 км. Периодът на завъртане на всеки един от тях е 11 часа и 15 минути. Всички спътници са разположени в три орбитални плоскости – във всяка по 8 апарата. Конфигурацията на разполагането им осигурява глобално покритие на навигационното поле не само на повърхността на земята, но и в околоземното пространство.

2. ГЛОНАСС

- ▶ В системата ГЛОНАСС влизат Център за управление и мрежа от станции за измерване и контрол, които са разположени по цялата територия на Русия.
- ▶ Всеки потребител, приемащ навигационен сигнал от спътниците ГЛОГАСС, трябва да има навигационен приемник и апаратура за обработка, която позволява да се изчислят собствените координати, време и скорост.
- ▶ За внедряване на системата ГЛОНАСС и за осигуряване на финансирането ѝ апаратурата от тази навигационна система се монтира на всички пускани в експлоатация транспортни средства: самолети, кораби, наземен транспорт и др.

ГЛОНАСС



GPS+ГЛОНАСС

GPS + ГЛОНАСС = взаимодополняющая глобальная система позиционирования

Недостатки GPS

- нестабильный прием в высоких широтах
- политические риски (США могут огрубить или вообще на неопределенное время отключить сигнал для отдельных территорий)



В системе GPS+ГЛОНАСС точность позиционирования может быть увеличена до нескольких сантиметров (сейчас точность GPS – 1-3 м)

Выгоды одновременного приема сигнала от двух систем

Типичное количество доступных потребителю спутников



Улучшение определения местоположения в системе GPS+ГЛОНАСС по отношению к GPS, %



Конечному потребителю выгодна интеграция двух систем, которые создавались как конкуренты

3. Galileo

- Галилео (Galileo) - е европейски проект на спътникова система за навигация, замислен като алтернатива на контролираните съответно от САЩ GPS и от Русия ГЛОНАСС. Проектът стартира през 2003 и е съвместно начинание на Европейския съюз и Европейската космическа агенция.
- Освен страните от Европейския съюз в проекта имат участие и Китай, Израел, Мароко, Саудитска Арабия, Южна Корея. Освен това се водят преговори с представители на Аржентина, Австралия, Бразилия, Чили, Индия, Малайзия, Русия и Украйна.
- От 2016 г. системата Галилео предоставя услуги на потребителите.

3. Galileo

- GALILEO използва спътници, разположени в три орбитални равнини. Орбитите са на средни разстояния от земята, според класификацията на Международния съюз по далекосъобщения, от около 20000 км.
- Разстоянието от повърхността на Земята до всеки спътник (орбитите са кръгови) е 23222 км или малко повече.
- Орбиталните равнини са с голям наклон (56°) спрямо равнината на земния екватор и помежду си.
- Това позволява много точно определяне на мястото при навигация във високите ширини.

3. Galileo

- Точността, с която се определят съответните координати в цялата система, независимо от мястото, е около 1 m.
- Предвижда се сателитите да бъдат общо 30 (към момента има 26, от които 22 работещи). Оперативните спътници трябва да са 27. Останалите три трябва да са резервни (за всяка орбита по един), но активни и готови без забавяне да заместят някой от основните.

3. Galileo

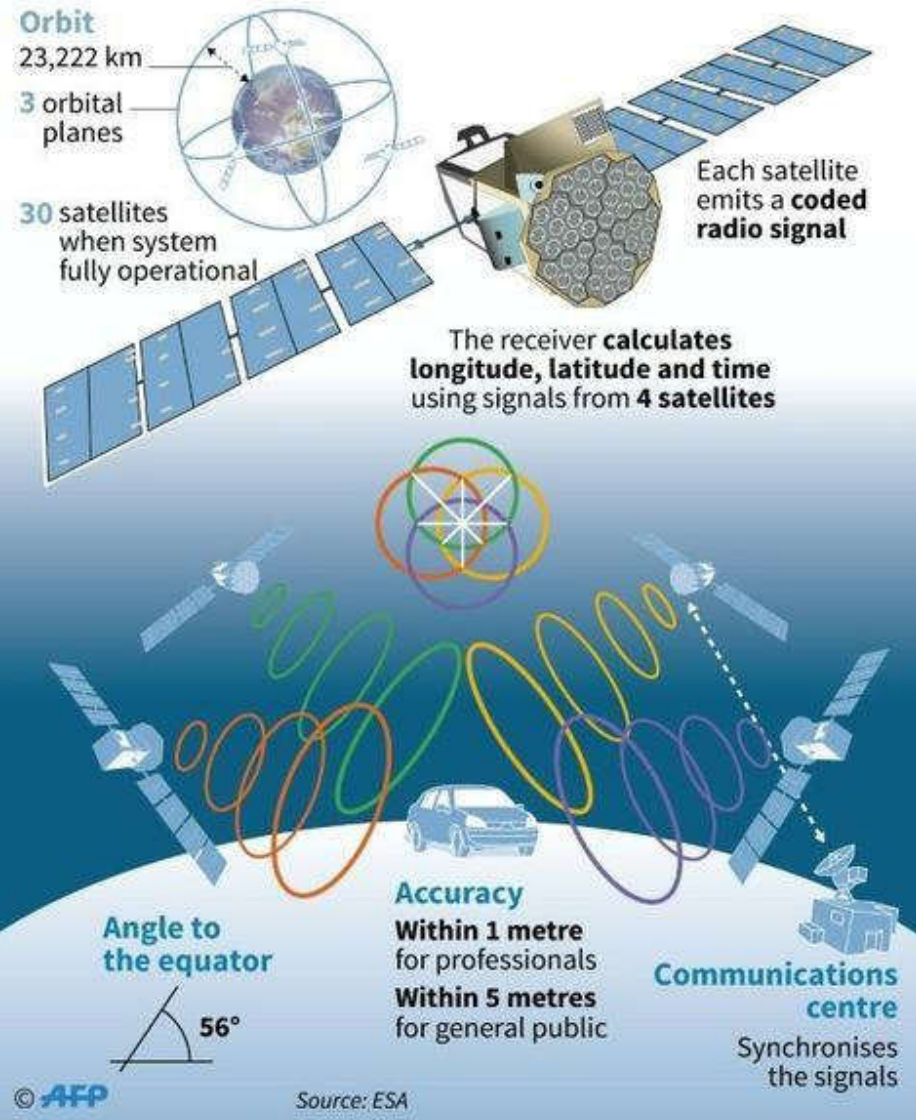
- Системата има два наземни контролни центъра - Galileo Control Centers (GCC). Те получават информацията от двадесет земни базови станции, наричани сензорни станции - Galileo Sensor Stations (GSS).
- Основните задачи на контролните центрове са две:
 - Първата е определяне на цялостта и валидността на получената от сензорните станции спътникова информация.
 - Втората задача е от изключително значение за работата на системата – синхронизиране на сигналите за точното време на всички сателити и часовниците на земните станции.

3. Galileo

- ▶ Честотните ленти, в които работи GALILEO са 1,2 GHz и 1,5 GHz.
- ▶ Точните честотни ленти за услугите, които са свободно достъпни (Open Service – OS) са 1164–1214 MHz и 1563–1591 MHz.
- ▶ За комерсиалните платени услуги (Commercial Service – CS) се ползват и честоти в лентата 1260–1300 MHz.
- ▶ Приемниците могат да бъдат съвместими с тези на системата GPS. Има сключено споразумение със САЩ за съвместно използване и терминали, които работят едновременно в двете системи, т.е. ще могат да се използват повече от 50 спътника.

Galileo

The Galileo satellite navigation system





4. Beidou

- Китайската навигационна система Beidou струва 10 милиарда долара и е изградена от 35 сателита, които осигуряват глобално навигационно покритие.
- През 2000 година спътниците Beidou-1 осигуряват покритие на Китай, а второто поколение Beidou-2 обхваща Азиатско-тихоокеанския район през 2012.
- Извеждането в орбита на сателитите от Beidou-3, която осигурява глобално покритие, започват през 2015 година и завършват през 2020 г.

4. Beidou

- От 35 сателита - 5 са в геостационарна орбита, 3 са в наклонена геостационарна орбита, а останалите 27 са в средна околоземна орбита (в три равнини с номинална надморска височина от 21 528 км и номинален период от 12 часа и 53 минути, наклонена при 55° спрямо екватора).
- Наземният сегмент използва класическа централизирана схема, включваща мрежа от еднопосочни измервателни станции, които непрекъснато наблюдават навигационните сигнали на всички спътници и предават всички наблюдения на всички спътници за обработка на системния контролен център, който генерира прецизните данни за орбитата и часовника за всеки сателит.



4. Beidou

- ▶ Подобно на GPS и другите системи, Beidou се използва за военни цели, но може да се използва и от бизнеса и крайните потребители.
- ▶ Вече поне 70% от смартфоните в и от Китай поддържат Beidou. В Китай системата е задължителна за автобусите и камионите.

Beidou

Beidou satellite navigation network

29 satellites launched between 2000 and November 2017, including



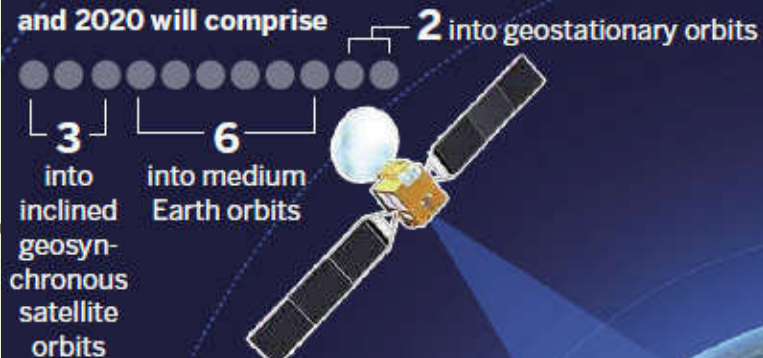
2 third-generation satellites launched Nov 5.



16 satellites to be launched by end of 2018



Launches in 2019 and 2020 will comprise



By end of 2020: Network will consist of more than **30** satellites (several now in orbit will be decommissioned) to give global coverage.

*** Third-generation satellites:** They are more accurate, stable and with better signal clarity, and also more compatible with GPS, GLONASS and Galileo systems.

5. IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)

- През 2006 г. Индия също взема решение за създаване на собствена навигационна система IRNSS. Планира се извеждането в геосинхронни орбити на седем спътника. Работата по разработката на индийската система се реализира от държавната фирма ISRO. Всички апаратни средства на системата се разработват само от индийски фирми.
- През 2013 г. е изведен в орбита първия от планираните седем спътника, които са в основата на индийската навигационна система IRNSS. Три от седемте спътника са разположени на геостационарна орбита, а останалите четири - на геосинхронна.

5. IRNSS

- IRNSS е предназначена да покрива индийския регион и 1500 км около континенталната част на Индия.
- Освен военна навигация, IRNSS предоставя и граждански услуги, свързани с управлението на транспорта, мониторинга и позиционирането на различните транспортни средства. Сигналите, предназначени за военни цели са шифровани.
- Цената на проекта възлиза на приблизително 237 милиона USD.

IRNSS

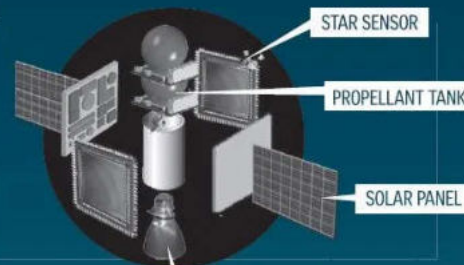
PROVIDES INDIA WITH ASSURED NAVIGATION SERVICE FOR VITAL CIVILIAN & MILITARY APPLICATIONS WITHOUT HAVING TO DEPEND ON ANOTHER COUNTRY; FIRST SATELLITE TO BE LAUNCHED ON JULY 1; REMAINING 6 BY 2015

IRNSS: INDIAN REGIONAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

7
SATELLITES

3 GEOSTATIONARY
4 GEOSYNCHRONOUS

ORBIT ALTITUDE **36,000** KM
COST **₹ 1,420** CRORES



Covers India and up to **1,500** km beyond its borders

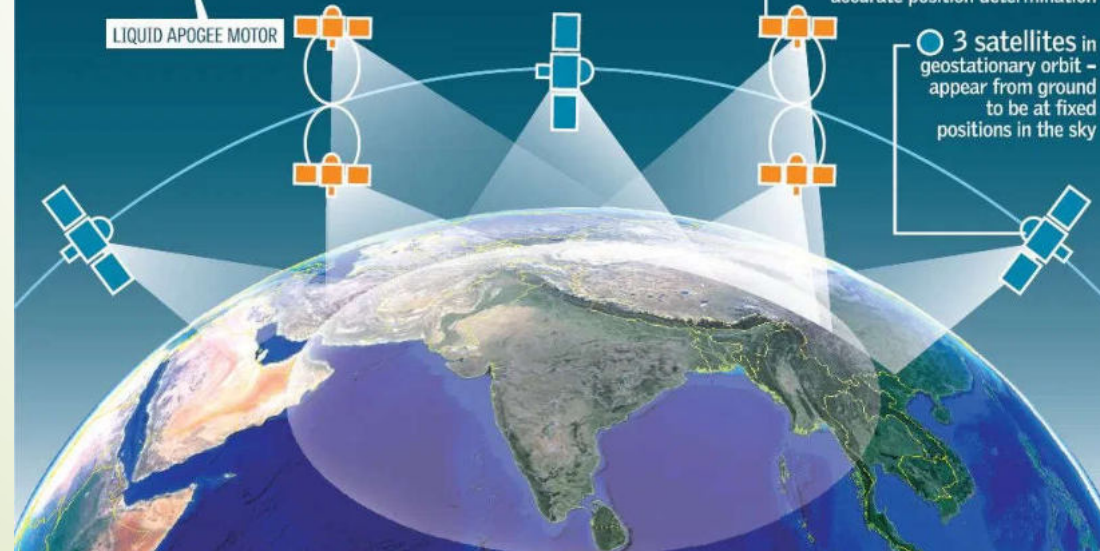
3 extremely accurate rubidium atomic clocks in each satellite

GPS receivers will not work; need special receivers (yet to be developed)

IRNSS provides Standard Positioning Service

Open to all users

Accuracy better than 20 metres



6. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

- QZSS е регионален проект за сателитна навигация, притежаван от правителството на Япония и управляван от QZS System Service Inc. (QSS).
- QZSS допълва системата GPS с цел подобряване на покритието в Източна Азия и Океания.
- В момента Япония разполага с 4 оперативни спътника, като е планирано те да станат 7 до 2024 г.
- Наземният сегмент QZSS включва основната контролна станция в Цукуба, две станции за контрол на проследяването и комуникацията в Окинава и осем станции за наблюдение, чиито местоположения са избрани да осигурят максимално наблюдение.

Quasi-Zenith Satellite System



7. Помощен GPS (A-GPS)

- Помощната Глобална Позиционираща Система (A-GPS) помага на мобилните устройства в намирането на сателити.
- В случаите, когато се използва A-GPS, устройството получава полезна сателитна информация от помощен сървър за данни през клетъчната мрежа.
- При положение, че устройството не получава помощни данни, тогава то се опитва да открие достъпни сателити.

7. Помощен GPS (A-GPS)

- Посредством помощните данни устройството може да улови група сателити, на които си заслужава да се обърне внимание, това са сателитите, които се намират от същата страна на планетата, където е и устройството.
- A-GPS увеличава значително скоростта на пресмятане на местоположението.
- A-GPS е достъпен във всички страни и не зависи от специфичните услуги на доставчика. A-GPS използва 3G и 2G връзка в клетъчната мрежа, и GPRS и EDGE връзка за пренос на пакет данни.
- Безжичните LAN (WLAN) точки за достъп не се поддържат при използването на A-GPS.