

LE GPS

1. Principe de fonctionnement du GPS

1. La constellation GPS

24 satellites défilant (24 actifs + 3 en réserve) répartis sur 6 orbites : la configuration spatiale des satellites vus par un navire change en permanence, modifiant en permanence la précision du point calculé.

Les satellites sont appelés « space vehicle » (SV) :

Période 11 h 58 min ; altitude moyenne = 20 180 km (rayon terrestre 6370 km)

Chaque satellite est équipé :

- de propulseurs de correction d'orbite (énergie fournie par batteries et panneaux solaires) ;
- d'horloges atomiques ;
- d'un élément de stockage des données de navigation ;
- d'un émetteur bande L (UHF) sur les fréquences L_1 et L_2 . (antennes hélicoïdales pour une émission polarisée circulairement à droite) ; chaque satellite possède son propre code C/A et son propre code P ;
- d'un émetteur-récepteur en bande S (SHF) pour les communications avec les stations terrestres de contrôle.

Contenu du message de navigation (nav-msg) émis par un satellite :

- les éphémérides du satellite : paramètres permettant de calculer sa position (X_s , Y_s , Z_s) ;
- des modèles de correction des effets ionosphériques ;
- l'état de fonctionnement du satellite ;
- le temps GPS ;
- la correction à l'horloge satellite pour obtenir le temps GPS ;
- le décalage entre le temps GPS et le temps UTC ;
- les données d'almanach : ensemble des paramètres permettant une détermination grossière de la position de tous les satellites de la constellation.

2. Les stations terrestres

Les stations terrestres sont toutes situées sur des territoires (militaires) américains :

- station principale de commande (Master Control Station, MCS) : Colorado Springs centralise les données envoyées par les autres stations de poursuite puis calcule les erreurs d'horloge, les retards de propagation, les éphémérides des satellites, etc..
- stations de poursuite (Monitor Stations, MS) : Colorado Springs, Hawaï, Kwajalein, Diego Garcia et Ascension. 80% de l'orbite des satellites est ainsi couverte. Elles mesurent les paramètres de l'orbite réelle du satellite et effectuent des mesures météo pour permettre à la station principale de Colorado Springs de déterminer les erreurs de propagation.
- station de chargement (Up Load Station, ULS) : Kwajalein, Diego Garcia et Ascension. Elles envoient au moins une fois par jour à chaque satellite (en bande S) les éléments mis à jour au sein du nav-msg : éphémérides du satellite, almanach de la constellation, corrections à apporter aux horloges atomiques, etc..

3. Le récepteur GPS

Le récepteur choisit les quatre satellites les mieux disposés dans le ciel (cinq satellites ou plus sont toujours « visibles » simultanément par le récepteur). Il calcule la position à l'aide des messages reçus : durée de propagation du message et corrections de propagation contenues dans le message. Au démarrage du récepteur GPS, le temps total pour obtenir la 1^{ère} position est variable et dépend aussi des qualités intrinsèques du récepteur. Il est de l'ordre de quelques minutes à 30 minutes au maximum. Ensuite, la cadence de calcul/rafraîchissement de la position est inférieure à la seconde.

Les satellites émettent sur 2 fréquences dans la bande L :

- $L_1 \approx 1\,575,42$ MHz ($\lambda \approx 19$ cm), pour les récepteurs civils et militaires ;
- $L_2 \approx 1\,227,60$ MHz ($\lambda \approx 24,4$ cm), pour les récepteurs militaires seulement.

La précision horizontale à 95% :

- 100 mètres avec la fréquence L1 et avec dégradation volontaire (Selective Availability) ;
- 20 à 30 mètres avec la fréquence L1 et sans dégradation volontaire ;
- 15 mètres avec L1 et L2 lors d'une dégradation volontaire ;
- 8 mètres avec L1 et L2 sans dégradation volontaire.

La SA (Sélective Availability = "accès sélectif" ou "disponibilité sélective") est une dégradation volontaire du signal par l'armée américaine afin de diminuer la précision du point GPS, aussi bien pour les récepteurs civils (décodage du code C/A) que militaires (décodage des codes C/A et P). Elle n'est plus en fonction depuis mai 2000, mais est susceptible d'être réactivée à tout moment, sans préavis, dans n'importe quelle région du globe. Seul le DGPS permet de corriger cette dégradation.

Le code C/A ("Coarse Acquisition", acquisition grossière) est transporté par la fréquence L_1 et propre à chaque satellite, ce qui permet de l'identifier et de le poursuivre. Le code C/A permet de calculer un point de précision « standard » (service SPS, « Standard Precision Service »).

Le code P ("Precise", acquisition précise) combine les fréquences L_1 et L_2 . Il permet aux possesseurs de récepteurs militaires accrédités d'obtenir un point précis (service PPS, « Precise Positioning Service »).

Il existe 2 procédés de calcul de la vitesse fond du récepteur (donc du navire) :

- à partir de points successifs passés : méthode peu précise utilisée sur les récepteurs GPS à bon marché de la plaisance ;
- par mesure de l'effet Doppler sur les fréquences L_1 et/ou L_2 : méthode très précise mais qui augmente le prix du récepteur.

La position peut être calculée selon plusieurs modes :

- avec 4 satellites ou plus, mode « 3D + T » : 3 Dimensions + Temps ;
- avec 3 satellites, mode « 2D + T » : 2D et Temps pour un récepteur connaissant son altitude ;
- avec 3 satellites, mode « 3D » : 3D pour un récepteur dont l'horloge est déjà calée sur le GPS ;
- avec 2 satellites, mode « 2D » : 2D avec une altitude fixe et une horloge déjà calée sur le GPS.

2. La précision du GPS

1. Les indices de précision

Le récepteur GPS calcule des indices d'erreur ou de précision sur la position.

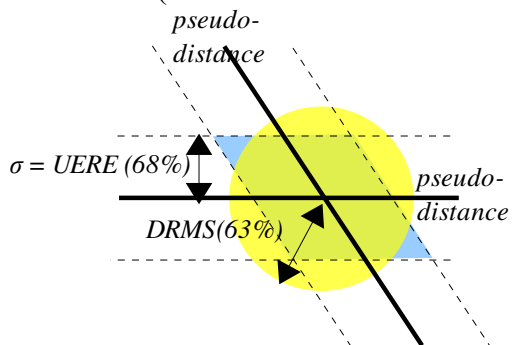
L'UERE (User Equivalent Range Error) est l'écart type σ sur la pseudo-distance pD mesurée entre un satellite et le récepteur GPS : le navire se trouve à une pseudo-distance $pD \pm \sigma$ avec une probabilité de 68%. L'UERE intègre les sources d'erreur :

- dégradation volontaire (SA) ;
- erreurs de propagation ;
- erreurs de trajets multiples ;
- erreurs de trajectoire des satellites ;
- erreurs d'horloge des satellites ;
- erreurs imputables au récepteur.

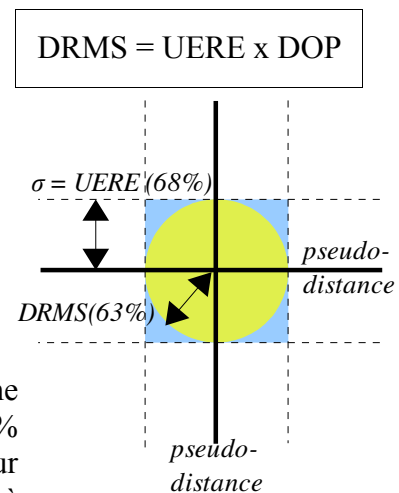
L'UERE mesure de 4 à 7 m pour un récepteur civil depuis mai 2000 (arrêt de l'accès sélectif SA), environ 25 m avant.

L'erreur causée par une mauvaise répartition spatiale des satellites n'est pas intégrée dans l'UERE mais évaluée avec des coefficients DOP (Dilution Of Position).

Le DRMS (Distance Root Mean Square) est l'erreur radiale à 63% sur la précision du point GPS mesurée avec plusieurs satellites. Le DRMS correspond au rayon du cercle d'incertitude centré sur la position GPS (ou cercle Probable d'Erreur CEP).



Le DRMS donne une erreur de distance à 68% de probabilité. Pour connaître la probabilité à 95%, on multiplie l'erreur totale par 2 (2.DRMS). Il reste 5 % de probabilité pour que l'erreur soit supérieur, ce qui oblige à rester prudent dans les passages étroits : chenaux, ports, proximité de hauts fonds.



2. Les sources d'erreurs

Les anomalies de propagation atmosphérique

La traversée des couches atmosphériques (ionosphère et troposphère) cause :

- une diminution de la célérité c ;
- une courbure du trajet de l'onde radio (réfraction).

Les corrections ionosphériques dépendent de :

- l'état d'ionisation, selon saisons et l'heure (cycle diurne) ;
- la fréquence du signal.

Ceci augmente le temps de parcours satellite-récepteur et la pseudo-distance (jusqu'à 50 m).

- un récepteur militaire reçoit L_1 et L_2 et compare les erreurs de propagation ; il calcule ainsi les corrections ionosphériques avec précision. Après correction, l'erreur résiduelle estimée (contribution à l'UERE) est de l'ordre de 0,1 m.
- un récepteur civil corrige ces erreurs avec des modèles basés sur des observations antérieures (fréquence, date et heure). Cette correction est transmise par le satellite dans le nav-msg. Après correction, l'erreur résiduelle estimée (contribution à l'UERE) est de l'ordre de 7 m.

Les corrections troposphérique varient selon :

- l'élévation du satellite (hauteur angulaire H) ;
- les conditions météorologiques.

Il n'est pas possible d'effectuer des mesures d'erreurs sur L_1 et L_2 et on utilise des modèles de corrections. Ces modèles sont peu fiables lorsque la hauteur du satellite est inférieure à 15° .

Cet angle limite (elevation mask angle = mask angle) est un seuil de rejet des satellites : on peut le paramétrer. Les corrections troposphériques sont peu fluctuantes et sont stockées en mémoire dans le récepteur. L'erreur résiduelle après correction (contribution à l'UERE) est de l'ordre de 2 m.

Les erreurs de trajets multiples

Les réflexions sur des obstacles situés à proximité de l'antenne (superstructures du navires, bâtiments, relief, mer) causent une erreur sur le pseudo-temps de parcours mesuré pT car le même message d'un satellite arrive au récepteur par des trajets multiples. L'erreur résiduelle après correction (contribution à l'UERE) est de l'ordre de 1,5 m.

Plusieurs solutions permettent d'éviter les erreurs de réflexion :

- antenne hémisphérique (radôme hémisphérique de 10 cm de rayon) : la polarisation est modifiée par les réflexions ;
- installation de l'antenne le plus haut possible dans la mâture ;
- installation de l'antenne sur un plan absorbant qui masquera les ondes réfléchies sur l'eau ;
- calculateur filtrant les ondes ayant un long temps de parcours ;
- choix des satellites les plus hauts sur l'horizon.

Les erreurs de trajectoire des satellites (erreurs d'éphéméride)

La modélisation de l'orbite d'un satellite est imparfaite et les coordonnées des satellites (X_s , Y_s , Z_s) contenues dans le nav-msg sont faussées, causant une imprécision sur la pD. La contribution à l'UERE de l'ordre de 2 m.

Les erreurs d'horloge des satellites (décalage et erreur relativiste)

L'horloge atomique d'un satellite n'est pas toujours parfaitement synchronisée avec celle du récepteur GPS (décalage) ni avec celles de la terre car elle se déplace à grande vitesse par rapport aux horloges atomiques terrestres. Le décalage est mesuré par des stations terrestres puis envoyée dans le nav-msg via les satellites.

Les erreurs imputables au récepteur

Selon la qualité de fabrication du récepteur et de l'installation à bord (antenne, câblage), un bruit électromagnétique et des erreurs internes peuvent dégrader la précision des informations calculées. La corrélation avec un autre moyen de positionnement aussi précis permet d'estimer cette erreur.

Les erreurs de géométrie des satellites

Un nombre entier est calculé selon la répartition des satellites utilisés pour le calcul dans le ciel :

- DOP pour Dilution Of Precision ;
- PDOP pour Position Dilution Of Precision ;
- VDOP pour Vertical Dilution Of Precision (altitude) ;
- HDOP pour Horizontal Dilution Of Position Precision (latitude et longitude) ;
- TDOP pour Time Dilution Of Precision (horloge) ;
- GDOP pour General Dilution Of Precision.

On appelle « effet de canyon » la réduction du ciel "visible" à un cône limité, ce qui entraîne une mauvaise géométrie des satellites : satellites masqués par une cheminée, satellites utilisés pour le calcul très groupés.

DOP = 1 pour 2 satellites à 90° alors l'erreur est égale à l'UERE.
DOP entre 1 et 3 : excellente précision.
DOP = 10 : mauvaise précision, point à rejeter

$$\text{DRMS} = \text{UERE} \times \text{DOP}$$

Exemples de HDOP (indice sur l'erreur horizontale) :

HDOP = 1 précision = 25 m
HDOP = 3 précision = 75 m
HDOP = 6 précision = 150 m
HDOP = 12 précision = 300 m

Les pertes de signal GPS dans les zones intertropicale ou polaires

Pendant les nuits d'été dans les zones tropicales, une couche de bulles se forme dans l'ionosphère. Ces bulles apparaissent après le coucher du soleil d'octobre à mars (plus fréquentes de novembre à janvier entre 21h 30 et 2h 00 du matin). Comme tous les phénomènes ionosphériques en général, ces bulles sont en relation avec l'activité solaire : orages ou tempêtes solaires (ou magnétiques). Cette couche fait écran ou interfère avec les signaux radioélectriques.

Dans les zones équatoriales, tropicales et polaires, entre 18h00 et 00h00 locales, la variation brusque de densité en électron dans l'ionosphère cause une atténuation partielle voire totale du signal GPS. On parle de scintillement.

Les messages d'information nautique (Avurnav, NAVTEX...) signalent parfois des pertes de signal : Pseudo Random Noise PRN est le Bruit Pseudo Aléatoire émis par le satellite et contenant le nav-msg.

Le signal émis par le satellite n° 5 est inopérant à partir du 01 Nov à 08 h 01 min.

ZCZC AJ91
010801 UTC NOV 08
GPS SATELLITE SYSTEM
PRN 05 UNUSABLE UNTIL FURTHER NOTICE
NNN

Les interférences du signal GPS

Les signaux GPS sont facilement brouillés par les interférences d'autres signaux : antenne INMARSAT, antenne UHF. Le signal GPS est alors faible voire inexploitable. Certains constructeurs proposent des masques permettant de protéger l'antenne du GPS dans les secteurs des antennes perturbatrices.

3. Les antennes GPS

L'antenne GPS est abritée par dôme et cohabite parfois avec l'antenne DGPS et / ou Loran C. La même antenne GPS peut servir à exploiter d'autres systèmes de positionnement par satellite (EGNOS, WAAS, MSAS...).

Un radôme hémisphérique de 10 cm de rayon est souvent une antenne hélicoïdale permettant de limiter les ondes réfléchies (erreurs de trajets multiples).



3. Les corrections DGPS

1. Principe de la correction différentielle

Un récepteur GPS est placé à une position connue avec précision. Il peut ainsi mesurer l'erreur du système GPS due à la propagation dans l'atmosphère et éventuellement à la dégradation volontaire par l'armée américaine.

Les erreurs du système GPS (détaillées plus haut)

- erreur de calage des horloges due a une mauvaise corrélation temporelle entre les horloges du récepteur du satellite ;
- erreur sur les éphémérides diffusées par le satellite ;
- erreur relativiste des horloges de précision situées au sol et sur les satellites orbitant autour de la Terre et soumises à des comportements quantiques différents ;
- erreurs de propagation ionosphérique et troposphérique.

Dans un rayon de 100 M ces erreurs sont à peu près constantes.

La dégradation volontaire par l'armée américaine

L'information exacte est évidemment un secret militaire pour les États Unis. Le système GPS permettrait d'introduire une erreur :

- fixe (par exemple 3 M au $Z_v = 129^\circ$) ;
- dérivante (la position GPS se décale à chaque minute de 0,05 M vers le $Z_v = 267^\circ$) ;
- limitée dans le temps (de une heure jusqu'à la dégradation permanente) ;
- limitée dans l'espace à une zone d'environ 80 M de largeur.

Calcul des corrections d'erreurs

Des mesures de pseudo-distance sont effectuées :

- au même instant ou à des dates et heures différentes ;
- sur un ou plusieurs satellites ;
- avec un ou plusieurs récepteurs GPS.

La différence des pseudo-distances élimine peu à peu les erreurs :

- la simple différence : un satellite et deux récepteurs au même instant permettent d'éliminer les erreurs d'éphéméride, relativiste, ionosphérique et troposphérique ;
- la double différence (différence des simples différences) : deux satellite et deux récepteurs au même instant permettent d'éliminer l'erreur de calage d'horloge ;
- la triple différence (différence des doubles différences) : deux satellite et deux récepteurs à des instants différents permettent de mesurer une dérive des corrections dans le temps.

Enfin la comparaison de la position GPS et de la position réelle permet de calculer la correction à une éventuelle dégradation du système par l'armée américaine. Après toutes ces corrections, la précision du point est de 1 à 10 m.

2. Les émetteurs terrestres des corrections DGPS

Les calculateurs et émetteurs de corrections DGPS sont placés sur le balisage existant :

- les radiophares maritimes émettent sur une porteuse de 285 à 325 KHz avec une portée moyenne de 50 à 200 M (max 300 M ; liste des stations et cartes de couverture DGPS dans le SH 91.1) ;
- les émetteurs Loran C émettent avec le codage du système EUROFIX (corrections différentielles de plusieurs systèmes de positionnement satellitaires).

3. Les émetteurs satellitaires des corrections DGPS

Les corrections peuvent aussi être calculées à terre puis émises depuis un satellite géostationnaire (WADGPS = "Wide Area Differential GPS") :

- EGNOS en Europe (40 stations terrestres, 3 satellites, précision : 2 m) ;
- WAAS aux États Unis (25 stations terrestres, 3 satellites, précision : 3 m) ;
- MSAS au Japon (Multifunction transport Satellite Augmentation System);
- Starfire (précision 60 cm) et Omnistar (satellites Inmarsat) : service commercial fournissant les corrections moyennant un abonnement.

La couverture des satellites géostationnaires s'étend entre les latitudes 75° Nord et Sud mais la précision de la position GPS après correction DGPS dépendra de la distance du récepteur à la station de calcul DGPS la plus proche : la correction de chaque station terrestre est pondérée selon sa distance avec la position du récepteur.

GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

1 PPM - 1 Pulse Per Minute	AOM - Aircraft Operating Manual	C - Centigrade
1 PPS - 1 Pulse Per Second	AOPA - Aircraft Owners And Pilots Association	C&A - Certification and Accreditation
14AF - 14th Air Force, USAF	AOR - Area of responsibility	C/A - Course Acquisition Code
1-D - One-dimensional	AORP - Airfield Obstruction Reduction Program	C/No - Carrier to Noise Ratio
1SOPS - 1st Space Operations Squadron, USAF	AP - Acquisition Plan	C/PD - Cost/Pricing Data
2-D - Two Dimensional	APA - Airline Pilots Association	C2 - Command and Control
2DRMS - Two times the standard deviation or Twice Distance Root Mean	APMS - Automated Performance Measurement System	C3 - Command, Control, and Communications
2SOPS - 2nd Satellite Operations Squadron, USAF	APPR - Approach/Approach Mode	C3I - Command, Control, Communications, and Intelligence
3-D - Three Dimensional	APPS - Analytical Photogrammetric Positioning System	CAD - Computer Aided Design
4-D - Four Dimensional (3-D plus time)	APU - Auxiliary Power Unit	CASE - Computer Aided Software Engineering
A/C - Aircraft	AQP - Advanced Qualification Program	CCW - Continuous carrier wave
A/D - Analog to Digital	ARGO - Automatic Ranging Grid Overlay	CCW - Coded Continuous Wave
A/J - Anti-Jamming	ARNS - Aeronautical Radio Navigation Service	CCZ - Coastal And Confluence Zone
ABAS - Aircraft-based Augmentation Systems	ARR - Arrival	CDMA - Code Division Multiple Access
ABM - Abeam	ARTS - Automated Remote Tracking Station	CDU - Control Display Unit
ACI - Allocated Configuration Identification	AS - AntiSpoofing	CDMA - Code Division Multiple Access (GPS)
ACU - Antenna Control Unit	ASCII - American Standard Code for Interface and Interchange	CEP C - ircular error probable
ACSM - American Congress on Surveying and Mapping	ASF - Additional Secondary Factor (Loran-C)	CG - Center of Gravity
A/D - Analog To Digital	ASIC - Application Specific Integrated Circuit	CGS - Centimeter-gram-second
ADC - Analog to digital converter	ASPRS - American Society of Photogrammetry and Remote Sensing	CI - Cost Index
ADF - Automatic Direction Finder	ATCSCC - Air Traffic Control System Command Center	CLR - Clear
ADI - Attitude Director Indicator	ATON - Aids To Navigation	CMOS - Complementary Metal Oxide Semiconductor
ADIU - Advanced Digital Interface Unit	ATS - Automatic Throttle System	CMC - Central Maintenance Computer
ADP - Automated Data Processing	AUG - August	CMP - Configuration Management Plan
ADR - Accumulated Delta Range	Autonav - Autonomous Navigation	CMS - Command Management Seminar
ADS - Automatic Dependent Surveillance	AVL - Automatic Vehicle Location	COP - Circle Of Position
AE - Antenna Electronics	AVL - Automatic Vehicle Location - Navigation	CONUS - Continental United States
AECB - Atomic Energy Control Board	AVLN - Automatic Vehicle Location And Navigation	CORS - Continuously Operating Reference Station
AFI - Automatic Fault Indication	AVM - Automatic Vehicle Monitoring	CPU - Central Processing Unit
AGL - Above Ground Level	AWACS - Airborne Warning And Control System	CRPA - Controlled Radiation Pattern Antenna
AHRS - Attitude Heading Reference System	AWAS - Automated Weather Advisory Station	CRT - Cathode Ray Tube
AI - Artificial Intelligence	AWIPS - Advanced Weather Interactive Processing System	CRYPTO - cryptographic
AIAA - American Institute of Aeronautics and Astronautics	B - Billion	CS - Control Segment
AIS - Automated Information System	BBS - Bulletin Board Service	CTR - Center
AJ - Antijamming	BCD - Binary Code Decimal	CSAT - Constellation System Assessment Team
ALT - Alternate	BER - Bit Error Rate	CTRL - Control
ALT - Altitude	BIPM - International Bureau of Weights and Measures	CTS - Colorado Tracking Station
AM - Amplitude Modulation	BITE - Built-in Test Equipment	CUE - Common User Element
AM/FM - Automated Mapping and Facilities Management	BMCS - Backup Master Control Station (MCS)	CVNS - carrier navigation systems
AMCS - Alternate Master Control Station	Bps - Bits per second	CW - Continuous Wave
ANE - Autonomous Navigation Emulator	BPSK - Binary Phase Shift Keying	CY - Calendar Year
ANSI - American National Standards Institute	BRG - Bearing	D/A - Digital To Analog
ANTB - Advanced Navigation Test Bed	BRT - Brightness	D/D - Drift Down
 AoA - Analysis of Alternatives	BUMCS - Back-up Master Control Station	DAC - Digital to Analog Converter
AOA - Airport Operations Area		DATALINK - Digitized Information Transfer (air/ground)
AOA - Angle-of-Attack		dB - Decibel (X = 10 Log X dB)
AOC - Aeronautical Operation Control		DBS - Direct Broadcast Satellite
AOC - Auxiliary Output Chip		dBW - decibels per watt
AOC - Auxiliary Output Chip		DC - Direct Current Electricity
AOCS - Attitude and Orbit Control System		

DEL - Delete	EMS - Emergency Medical Services	FT - Feet
DEP - Departure	ENG - Engine	FY - fiscal year
DEV - Deviation	EOL - End of Life	
DF - direction finding	EOW - End of Week	
DGIC - Differential GPS Integrity Channel	EPR - Engine Pressure Ratio	
DGNS - Doppler GPS Navigation System	EPROM - Erasable Programmable Read-Only Memory	GA - General Aviation
DGPS - Differential Global Positioning System	EPS - Electric Power System	GA - Ground Antenna
DISCR - Discrepancy	ES - Electronic Support	GANS - global access, navigation and safety
DIST - Distance	ESGN - Electrically Suspended Gyro Navigator	GAO - General Accounting Office
DLL - Delay Lock Loop	ESM - Electronic Support Measures	GATM - Global Air Traffic Management
DLM - Data Loader Module	EST - Estimated	GBAS - Ground-based augmentation system
DLR - Data Loader Receptable	ETA - Estimated Time of Arrival	Gbps - Gigabits per second
DLS - Data Loader System	ETX - End of Transmission	GDOP - Geometric Dilution Of Precision
DLT - Data Link Terminal	EU - European Union	GEO - Geosynchronous Earth Orbit
DMA - Defense Mapping Agency	EW - Electronic Warfare	GEOREF - World Geographic Reference System
DME - Distance Measuring Equipment	EXEC - Execute	
DMU - Data Management Unit	Exp - Exponential Function	GHz - Gigahertz
DoD - Department Of Defense		GIAC - GPS Interagency Advisory Council
DOE - Department of Energy		GIB - GPS Integrity Broadcast
DOP - Dilution Of Precision		GIC - GPS Integrity Channel
DoT - Department Of Transportation	F - Fahrenheit	GIS - Geographic Information Systems
DR - Dead Reckoning	f - Frequency	GLONASS - Global Navigation Satellite System
DRMS - Distance Root Mean Square	FAA - Federal Aviation Administration	GMT - Greenwich Mean Time
DRS - Dead Reckoning System	FAATC - FAA Technical Center - Atlantic City, New Jersey	GNSS - Global Navigation Satellite Systems
DRU - Data Retrieval Unit	FADEC - Full Authority Digital Engine Control	GPS - Global Positioning System
DT&E - Development Test and Evaluation	FANS - Future Air Navigation Systems	GPSE - GPS Enhancement
DTG - Distance-to-go	FAR - Federal Acquisition Regulation	GPSIC - GPS Information Center
	FBO - Fixed Based Operator	GRAS - Ground-based regional augmentation system
	FCC - Federal Communications Commission	GRP - Geographical Reference Points
E - East	FCC - Flight Control Computer	GRS - Geodetic Reference System
EA - Electronic Attack; Evolutionary Acquisition	FCMDR - Flight Commander	GS - Glide Slope
ECDIS - Electronic Chart Display And Information System	FCU - Flight Control Unit	GS - Ground Speed
ECEF - Earth Centered, Earth Fixed	FD - Fault Detection	GSA - General Services Administration
EDM - Electronic Distance Measurement	FDE - Fault Detection Equipment; Fault Detection and Exclusions	GW - Gross Weight
EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service	FDMA - Frequency Division Multiple Access -	GYRO - gyroscope
EOS - Earth Orbiting System	FDR - Flight Data Recorder	
EPROM - Erasable Programmable Read-Only Memory	FEB - February	HADGPS - High Accuracy DGPS
EHF - Extremely High Frequency	FHWA - Federal Highway Administration	HANU - High Accuracy Navigational Users
ETA - Estimated Time Of Arrival	FLT - Flight	HD - High dynamic
ECE - Earth-Centered-Earth-Fixed	FI - Fault Isolation	HDG - Heading
ECEF - Earth Centered, Earth Fixed	FL - Florida	HDG - SEL - Heading Select
ECM - Electronic Countermeasures	FM - Frequency Modulation	HDOP - Horizontal Dilution of Precision
ECP - Engineering Change Proposal	FMEA - Failure Mode and Effects Analysis	HF - High Frequency
ECS - Environmental Control System	FMS - Flight Management Systems	HHA - Harbor And Harbor Approach
EDM - Electronic Distance Measurement	FO - First officer	HF - high frequency
EFIS - Electronic Flight Instrument System	FOC - Full Operational Capability	HIRS - High-Resolution Infrared Sounder
EHF - Extremely High Frequency	FOM - Figure Of Merit	HMI - Hazardously Misleading Information
EHSI - Electronic Horizontal Situation Indicator	FOIA - Freedom of Information Act	HR - relative height
EIU - Electronic Interface Unit	FOUO - For Official Use Only	HUD - Head-Up Display
EKMS - Electronic Key Management System	FPA - Focal Plane Array	HV - Host Vehicle
ELEV - Elevation	FPM - Feet Per Minute	Hz - Hertz (cycles per second)
ELT - Emergency Locator Transmitter	FQIS - Fuel Quantity Indicating System	
EM - Electro Magnetic	FR - From	
EMC - Electromagnetic Compatibility	FRA - Federal Railroad Administration	
EMCON - Emission Control	FRA - Flap Retraction Altitude	
EMI - Electromagnetic Interference	FREQ - Frequency	
EMP - Electromagnetic Pulse	FRP - Federal Radionavigation Plan	
	FRPA - Fixed Radiation Pattern Antenna	IALA - International Association Of Lighthouse Authorities
	FRPA-GP - FRPA Ground Plane	ICAO - International Civil Aviation Organization
	FSS - Federal Supply Schedule	

ICD - Interface Control Document	Radar System	MAG - Magnetic
ICS - Interim Control Segment	JTF - Joint Task Force	MAINT - Maintenance
ID - Identifier	JTIDS - Joint Tactical Information Distribution System	MAN - Manual
ICWG - Interface Control Working Group	JUL - July	MAR - March
IDD - Interface Design Document	JUN - June	MAX - Maximum
IEEE - Institute Of Electrical And Electronics Engineers		mB - Millibar
IERS - International Earth Rotation Service		Mbps - Mega bits per second
IF - Intermediate Frequency	K - Thousand	MC&G - mapping, charting, and geodesy
IFF - Identification Friend or Foe	Kbps - Kilo bits per second	MCA - Minimum Crossing Altitude
IFR - Instrument Flight Rules	KG - Kilogram	MCDU - Multipurpose Control Display Unit
IF - Intermediate Frequency	kHz - kilohertz	M-Code - Military Code
IGEB - Interagency GPS Executive Board	KHz - Kilohertz	MCS - Master Control Station
IG - Inspector General	km - Kilometer	MCT - Mean Corrective Maintenance Time
IGS - International GNSS Service	KT - (kts) - Knots	MCW - Modulated Continuous Wave
ILS - Instrument Landing System	kW - Kilowatt	MCW - modulated continuous wave
IMO - International Maritime Organization		MD - Maryland
		MDL - Multipurpose Data Link
INFO - Information		MEL - Minimum Equipment List
IFRB - International Frequency Registration Board	L - Link	MF - Medium Frequency
INIT - Initialization	L - Left	MGRS - Military Grid Reference System
INMARSAT - International Maritime Satellite	L1 - GPS Carrier Frequency, 1575.42 MHz	MHz - Megahertz
INR - Image Navigation and Registration	L2 - GPS Carrier Frequency, 1227.6 MHz	MIDAS - Multi-discipline Data Analysis System
INS - Inertial Navigation System	LAAS - Local Area Augmentation System	mil - unit of angular measurement equal to an angle having a tangent of 0.001
INTC - Intercept	LAN - Local Area Network	MILSPEC - Military Specifications
IOC - Initial Operational Capability	Lat - Latitude	MIN - Minimum
ION - Institute Of Navigation	Lat/Lon - Latitude/Longitude	MIN - Minutes
IOT&E - Initial Operational Test and Evaluation	LBS - L Band System	MLRS - multiple launch rocket system
IP - Instrumentation Port	L2C - Civil signal on L2	MLS - Microwave Landing System
IPT - Integrated Product Team	L2M - Military-code on L2	MLV - Medium Launch Vehicle
IRD - Interface Requirements Document	L5 - Link 5, carrier frequency = 1176.45 MHz	mm - millimeter
IRS - Inertial Reference System	LAAFB - Los Angeles Air Force Base	MMD - Mean Mission Duration
IRT - Independent Review Team	LAAS - Local Area Augmentation System	MMR - Multi-Mode Receiver
IRU - Inertial Reference Unit	LAN - Local Area Network	MN - Magnetic North
ISA - International Standard Atmosphere	LAT - latitude	MNP - Master Navigation Plan
ISO - International Standards Organization	LCD - Liquid Crystal Display	MNS - Mission Need Statement
	LCN - Local Communications Network.	MOA - Memorandum of Agreement
	LED - Light Emitting Diode	MOD - Modified/Modification
ITP - Integrated Test Plan	LEO - Low Earth Orbit	MODIS - Moderate-resolution Imaging Spectrometer
ITRF - International Terrestrial Reference Frame	LEP - Linear Error Probable	MOPS - Minimum Operational Performance Standards
ITS - Intelligent Transportation System	LED - Light emitting diodes	MOU - Memorandum of Understanding
ITU - International Telecommunication Union	LEO - Low Earth Orbit	MP - Master Plan
IV&V - Independent Verification and Validation	LEP - linear error probable	MS - Monitor Station
IVHS - Intelligent Vehicle Highway Systems IW Information Warfare	LF - low frequency	MSAS - MTSAT Augmentation System
	LFR - Low-frequency Radio Range	MSG - Message
	LIM - Limit	MSK - Minimum Shift Keying
	LIS - Land Information System	MSS - Mobile Satellite Service
	LF - Low Frequency	MSL - Mean Sea Level
	LO - Local Oscillator	MTBF - Mean Time Between Failures
	LO - Low	MTSAT - Multifunction Transport Satellite
	LOC - Localizer Beam	
J/S - Jamming to Signal Ration	Lon - Longitude	MU - Management Unit
JAN - January	LOP - Line Of Position	MWP - Meteorological Weather Processor
JCS - Joint Chiefs of Staff	Loran - Long Range Navigation	
JPALS - Joint Precision Approach and Landing System	LOS - Line Of Sight	
JPL - Jet Propulsion Laboratory	LRC - Long Range Cruise	
JPO - Joint Program Office	LRU - Line Replaceable Unit	
JROC - Joint Requirements Oversight Council		
JSRA - Joint Sponsored Research Agreement	M - Mach Number	N - North
JSST - Joint Space Support Team	m - Meter(s)	N/A - Not Applicable
JSTARS - Joint Surveillance, Target Attack	M - Million	NACA - National Advisory Committee for Aeronautics
	M/S - Meters per Second	NAD - North American Datum -
		NADU - Notice Advisory to DGPS Users

NAGU - Notice Advisory to Glonass Users	OBE - Overtaken by Events	PROM - Programmable Read-Only Memory
NANU - Notice Advisory to Navstar Users	OBS - Omni Bearing Select	PTTI - precise time and time interval
NAS - National Aircraft Standard	OCONUS - Outside the CONUS (Continental United States)	PVT - Position, Velocity and Time
NAS - National Airspace System	OCS - Operational Control Segment	PY - Prior Year
NASA - National Aeronautics and Space Administration	OEM - Original Equipment Manufacturer	
NATCA - National Air Traffic Controllers Association	OGE - Operational Ground Equipment	
NATO - North Atlantic Treaty Organization	OIS - Orbital Insertion System	QTY - Quantity
NAV - Navigation	OJT - On-the-Job Training	QUAD - Quadrant
NAVAID - Navigational Aid	OMB - Office of Management and Budget	
NAV-msg - . - Navigation Message	ONC - operational navigation chart	
NAVSTAR - Navigational Satellite Timing and Ranging	OP - Operational	
Navwar - Navigation Warfare	OPCON - operational control	RAD - Radial
ND - Navigation Display	OPSCAP - Operational Status Capability	RAIM - Receiver Autonomous Integrity Monitoring
NDB - Nondirectional Radio Beacon	OPT - Optimum	RAM - Random Access Memory
NDGPS - Nationwide Differential Global Positioning System	ORD - Operational Requirements Document	RAP - Reserve Auxiliary Payload
NDS Nuclear Detection Subsystem	ORRB - Operational Requirements Review Board	RCVR - Receiver
NESDIS - National Environmental Satellite, Data, and Information Service	ORWG - Operational Requirements Working Group	RDF - Radio Direction Finder
NGS - National Geodetic Survey	OS - Operational Stability	RDOP - Relative Dilution of Precision
NIMA - National Imagery and Mapping Agency	OSCARs - Optimum Satellite Constellation Assessment Report Summary	RDSS - Radio Determination Satellite Systems
NIST - National Institute of Standards and Technology	OSD - Office of the Secretary of Defense	REF - Reference
NI - Engine Revolutions per Minute (percent)	P-Code - Precision/Protected Code	RF - Radio Frequency
NLM - Network Loadable Module	PADS - Position Azimuth Determining System	RFI - Radio Frequency Interference
NLR - National Research Laboratory (The Netherlands)	PAFB - Peterson Air Force Base, Colorado Springs, CO	RINEX - Receiver INdependent EXchange format
NM - Nautical Mile	PALS - Precision Approach Landing System	RLG - ring laser gyro
Nm - Nautical Mile	PC - Personal Computer	RMS - Root Mean Square
NNSS - Navy Navigation Satellite System (Transit)	PDD - Presidential Decision Directive	RNAV - Area Navigation
NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration	PDOP - Position Dilution Of Precision	RNP - Required Navigation Performance
Ns - Nanosecond	PE - Probable error	ROM - Read-Only Memory
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration	PERF - Performance	ROV - Remotely Operated Vehicle
NOCC - National Operations Command Center (FAA)	PHARE - Program for Harmonized ATC Research in Europe	RTCA - Radio Technical Commission for Aeronautics
NORAD - North American Aerospace Defense Command	PHIBUF - Performance Buffet Limit	RTCA-SC - Radio Technical Comission for Aeronautics, Special Committee
NOTAM - Notice for Airman	PHMI - Probability of Hazardously Misleading Information	RTCM - Radio Technical Commission for Maritime Services
NOV - November	PHINOM - Nominal Bank Angle	RTK - Real-Time Kinematic
NPA - Non-precision approach	PINS - Precise Integrated Navigation System	RSS - Root Sum Square
NRL - Naval Research Laboratory	PLGR - Precise Lightweight GPS Receiver	RTCA - - Radio Technical Commission for Aeronautics
NRP - National Route Program		RTCM - Ratio Technical Commission for Maritime Services
NS - Nanosecond	PMI - Preventative Maintenance Instructions	RTE - Route
NSC - Non-standard C/A code	PMS - Performance Management System	RTS - Remote Tracking Station
NSC - National Security Council	PNT - Position, navigation and time	RVR - Runway Visual Range
NSTC - National Science and Technology Council	POC - Point of Contact	S/A - Selective Availability
NTIS - National Technical Information Service (Department of Commerce)	POS - Position	SA - Selective Availability
NTS - Navigation Technology Satellite	POS REF - Position Reference	SA - Situation Awareness
NTSB - National Transportation Safety Board	Pos/Nav - positioning/navigation	SA/A-S - selective availability/anti-spoof
	PPM - Parts Per Million	SAASM - Selective Availability and Anti-Spoofing Module
	PPM - Parts Per Million	SAFB - Schriever Air Force Base (Colorado)
	PPOS - Present Position	SAR - Selected Acquisition Report; Subsequent Application Review; Search and Rescue; Safety Assessment Report; Special Access Required
	PPS - Precise Positioning Service	SARPS - Standards and Recommended Practices
	PPS - Pulse Per Second	SATCOM - Satellite Communications
OAB - Operational Advisory Broadcasts	PR - Pseudorange	
OATS - Orbit and Attitude Tracking	PREV - Previous	
	PRN - Pseudo Random Noise	

SATNAV - Satellite Navigation
SBIR - Space Based Infrared System; Small Business Innovation Research Program
SC - Special Committee
SCA - Satellite Control Authority/Architecture
SCAT I - Special Category I
SCATANA - Security Control of Air Traffic and Navigation Aids
SCCB - Software Configuration Control Board
SCI - Sensitive Compartmented Information
SCSS - Satellite Control Simulation System
SDLS - Satellite Data Link Standard
SE - Systems Engineering; Support Equipment
SEL - Selected
SEP - Spherical Error Probable
SES - Severely Errored Seconds
SF - Sub Frame
SHF - Super High Frequency
SIGSEC - Signal Security
SINS - Shipborne INS
SIS - Signal-In-Space
SKYNET - Skynet Communications Satellite
SLR - Satellite Laser Ranging
SLS - Satellite Launch Squadron
SM - Security Module
SME - Subject Matter Experts
SNAPM - Satellite-Based Navigation Accuracy Performance Model
SNR - Signal To Noise Ratio
SOC - Satellite Operations Center
SOIT - Satellite Operational Implementation Team
SONAR - sound navigation ranging
SOP - Standard Operating Procedure
SP - Space
SPS - Standard Positioning Service
SPU - Spacecraft Processor Unit
SRP - Selected Reference Point
SS - Space Segment
SSG - Senior Steering Group
SSM - Sign Status Matrix
SSN - Space surveillance network
SPS - Standard Positioning Service
STB - System Test Bed
STD - Standard
STS - Space Transportation System
STS - System Telecommunication Simulator, Block IIF
STS/TSM - Satellite Telecommunications Simulator (Block IIF)/Telecom Simulator
SV - Space Vehicle
SVN - Space Vehicle NAVSTAR, Space Vehicle Number
T - Trillion; Time
TAI - International Atomic Time
TBD - To Be Determined
TCA - Terminal Control Area
TCAS - Traffic Alert & Collision Avoidance System
TD - Time Difference
TDMA - Time Division Multiple Access
TDOP - Time Dilution of Precision
TE - Test Equipment
THDG - True Heading
TN - True North
TO T - echnical Order
TOA - Time of Arrival
TOD - Time Of Day
TOPEX - The Ocean Topography Experiment
TOT - Total
UAV - Unmanned Aerial Vehicle
UE - User Equipment
UERE - User Equivalent Range Error
UEE - User Equipment Error
UHF - Ultra High Frequency
UNK - Unknown(s)
URE - User Range Error
US - User Segment
USAF - United States Air Force
USCG - United States Coast Guard
UT - Universal Time
UTC - Coordinated Universal Time
UTC (USNO) - Coordinated Universal Time as maintained by the USNO
V - Velocity
V&V - Verification and Validation
VAR - Variation
VAR - Visual-aural Radio Range
VDOP - Vertical Dilution of Precision
VE - Value Engineering
VFR - Visual Flight Rules
VHF - Very-high Frequency
VLF - very low frequency
VLM - Vehicle Location Monitoring
VMC - Visual Meteorological Conditions
VNAV - Vertical
VOM - Volt-ohm-milliammeter
VOR - very high frequency omnidirectional range station
VOR/DME - Very High Frequency Omnidirectional Range/Distance Measuring Equipment
VORTAC - VHF Omni Range Radio/Tactical Air Navigation
VPATH - Vertical Path
VREF - Reference Velocity
VTC - Vessel Traffic Center
VTOL - Vertical Takeoff and Landing
VTR - Variable Takeoff Rating
VTS - Vessel Traffic Services
WAAS - Wide Area Augmentation System
WADGPS - Wide Area Differential GPS
WAGE - Wide Area GPS Enhancement
WAN - Wide Area Network
Waypoint - Position in space usually on aircraft's flight plan
WGS - World Geodetic System
WGS 84 - World Geodetic System 1984
WPT - Way point
WT - Weight
WWV WWVH - time station call letters
WX - Weather
WXR - Weather Radar
X-BAND - The frequency range between 8000 and 12500 MHz
XCVR - Transceiver
XFR - Transfer
XLTR - Translator
XMIT - Transmit
XMITR - Transmitter
Y code - Precise code (GPS)
Y2K - Year 2000
YD - Yaw Damper
YSAS - Yaw Stability Augmentation System
Z - Zulu (GMT time)