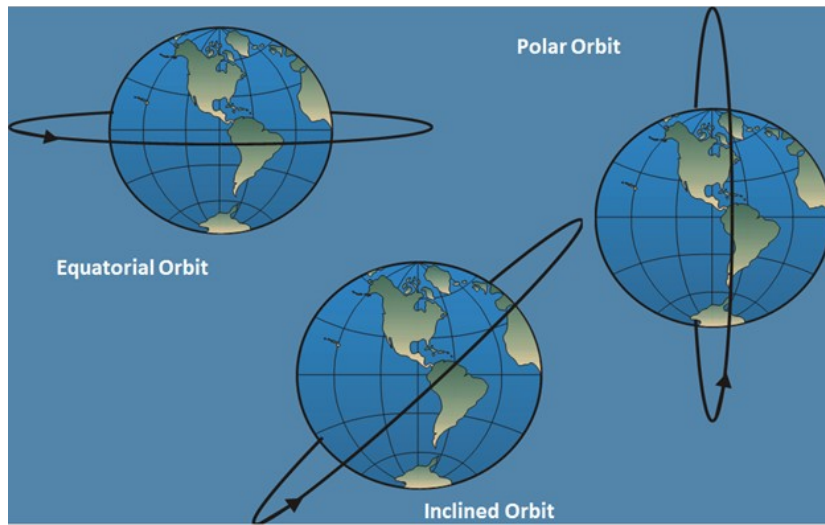


``गगन`` आणि त्यातील भारतीय ``नाविक``

अमोल दिघे, मयांक वाहिया, अनिकेत सुळे

नव्या ठिकाणचा रस्ता शोधण्यापासून ते टॅक्सी बोलावण्यापर्यंत आपण आपल्या स्मार्टफोनमधील GPS (Global Positioning System) प्रणाली रोज अगदी सहजपणे वापरतो. आपण कुठे आहोत हे अचूक दाखवून देणारे हे तंत्रज्ञान काही दशकांपूर्वी पर्यंत जरी केवळ विमान-वाहतूक, सेनादले व महत्त्वाच्या सरकारी संघटनांपुरते मर्यादित असले, तरी आता ते सामान्य माणसाच्या बोटंवर खेळते आहे, आणि त्याच्या जीवनाचा अविभाज्य भाग बनू पाहते आहे. या वर्षीच ज्याला ``भारतीय GPS`` म्हणता येईल त्या ``नाविक`` (NAVIC: NAVigation with Indian Constellation) या 7 दिशादर्शक उपग्रहांच्या संचाची पूर्तता झालेली आहे, व त्यांचा वापर लवकरच सुरू होईल. केवळ रॉकेट, उपग्रह व संदेशवहन या क्षेत्रातील भारतीय तंत्रज्ञानाचे प्रदर्शन यापुरतेच हे मर्यादित नाही, तर संदेशवहनातील स्वावलंबन आणि देशाची सुरक्षा या दृष्टीनेही ISRO ने टाकलेल्या या पावलाचे महत्त्व अनन्यसाधारण आहे.

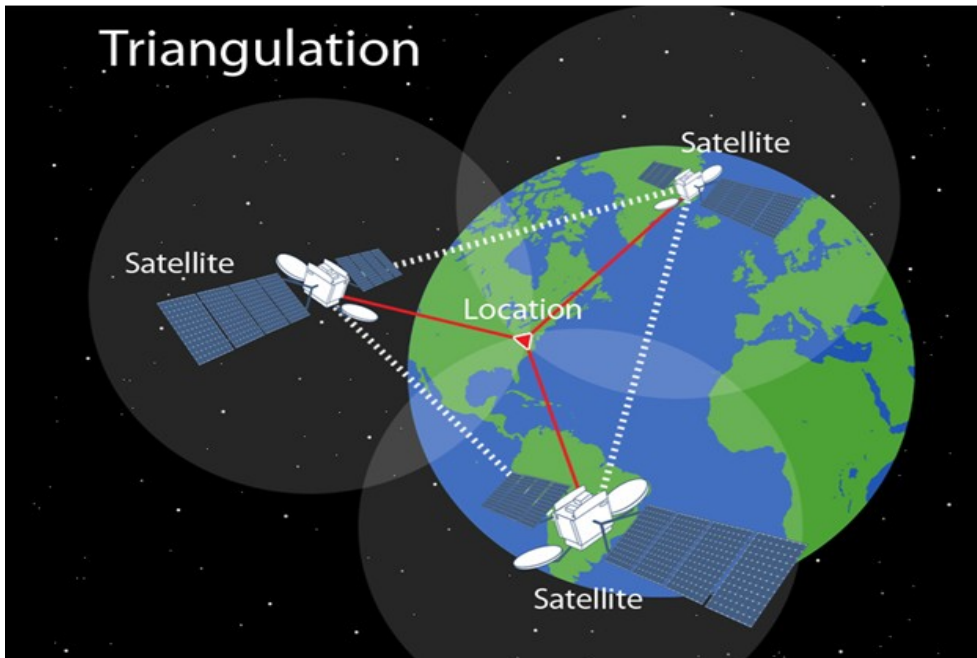
या नाविकाची कार्यपद्धती समजून घेण्याआधी उपग्रहांसंबंधी थोडी माहिती जाणून घेऊ. पृथ्वीचे व आकाशाचेही छायाचित्रीकरण, संशोधन, संदेशवहन अशा विविध कामांसाठी उपग्रहांचा वापर होतो. या उपग्रहांची कक्षा, चित्र क्र. 1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे विषुववृत्तीय (equatorial orbit), ध्रुवीय (polar orbit), किंवा मधल्या कोणत्याही कोनातील तिरकी (inclined orbit) असू शकते, आणि या कक्षेचे केंद्र हे पृथ्वीच्या केंद्राजवळ असते. उपग्रहाची आकाशातील उंचीही साधारण 300 किलोमीटर (पृथ्वीनजिक कक्षा) पासून ते एक लाख किलोमीटर पर्यंत जाऊ शकते. उपग्रहाचा उद्देश काय आहे त्यावर त्याची कक्षा व त्याची उंची ठरते. पृथ्वीचे सखोल निरीक्षण करणारे उपग्रह साधारणपणे कमी उंचीवर व ध्रुवीय कक्षेत असतात.



चित्र 1: उपग्रहांच्या कक्षा

सतराव्या शतकात केप्लरने दाखवून दिलेले ग्रहीय गतीचे नियम कृत्रीम उपग्रहांनादेखील लागू होतात. या नियमांनुसार उपग्रहाच्या कक्षेच्या उंचीप्रमाणे त्याचा पृथ्वीप्रदक्षिणेचा काळ ठरतो. पृथ्वीनजिक कक्षेतील उपग्रह दीड तासात पृथ्वीप्रदक्षिणा पूर्ण करतात, तर जसजसे उपग्रह अधिक वर जातात तसतसा हा काळ वाढत जातो. संदेशवहनासाठी वापरले जाणारे उपग्रह पृथ्वीवरील कोणत्याही ठिकाणावरून पाहिले तरी आकाशात स्थिर दिसावेत याची गरज असते. अशा उपग्रहांच्या पृथ्वीप्रदक्षिणेचा काळ 24 तास असावा लागतो, व त्यासाठी त्यांची उंची समुद्रसपाटीपासून जवळजवळ 36,000 किलोमीटर (किंवा पृथ्वीच्या केंद्रापासून जवळजवळ 42,000 किलोमीटर) असणे जरूर असते. याशिवाय, यांची कक्षाही विषुववृत्तीय असावी लागते. अशा उपग्रहांना भूस्थिर (geostationary) उपग्रह म्हणतात. याशिवाय, प्रदक्षिणेचा काळ 24 तास पण तिरकी कक्षा असणारेही उपग्रह असतात, जे एका ठिकाणावरून सतत स्थिर दिसत नसले तरीही रोज ठराविक वेळी ते आकाशात ठराविक ठिकाणीच असतात. अशा उपग्रहांना भूवेगी (geo-synchronous) म्हणायला हरकत नाही.

प्रत्येक दिशादर्शक (navigational) उपग्रह हा सतत त्याचा अनुक्रमांक आणि त्याच्या अंतर्गत घड्याळाची वेळ यांचे प्रक्षेपण करत असतो. पृथ्वीवरील मापकामध्ये (उदा. आपला स्मार्टफोन) प्रत्येक दिशादर्शक उपग्रहाच्या स्थानाची यादी अनुक्रमांकासहीत साठविलेली असते. या मापकाला जेव्हा हा संदेश मिळतो, तेव्हा तो संदेश पोहचण्याच्या वेळावरून, त्या उपग्रहापासूनचे अंतर निश्चित करू शकतो. तीन ठराविक स्थानांपासूनचे अंतर जेव्हा निश्चित होते, तेव्हा त्या ठिकाणचे त्रिमितीय स्थान (x, y, z coordinates) देखिल निश्चित होते. या पद्धतीला "त्रिकोणीकरण" म्हणतात, जी चित्र 2 मध्ये दर्शवलेली आहे.



चित्र 2: स्थाननिश्चितीसाठी त्रिकोणीकरण पद्धती

त्रिकोणीकरणाची पद्धत वापरताना एक छोटीशी (पण खरे तर महत्त्वाची) अडचण आहे. ती म्हणजे, जर सर्व घड्याळे एकच प्रमाण वेळ वापरत असतील तरच ही पद्धत वापरणे शक्य आहे. मात्र आईनस्टाईनच्या सापेक्षतावादाच्या व्यापक सिद्धांताप्रमाणे (General Theory of Relativity), गुरुत्वाकर्षण भिन्न असेल तर घड्याळेही भिन्न वेगाने चालतात. त्यामुळे पृथ्वीवरील घड्याळे व उपग्रहांवरील घड्याळे यांच्या वेळ मोजण्यात फरक पडत राहतो. पृथ्वीवरील विविध ठिकाणची घड्याळेही थोड्या वेगवेगळ्या गतीने चालतात. हा फरक अतिसूक्ष्म असला, तरी त्याची सतत काळजी न घेत राहिल्यास स्थाननिश्चिती चुकू शकते. यामुळे, 3 उपग्रहांचे संदेशांतील स्थान व आपली वेळ वापरण्यापेक्षा, 4 उपग्रहांकडून आलेल्या स्थळ व काळाची माहिती वापरून आपले स्थळ (3 मिती) व काळ या 4 गोष्टी निश्चित करणे अधिक अचूक ठरते. सध्याची GPS प्रणाली म्हणूनच 4 किंवा अधिक उपग्रहांच्या एकाच वेळी पोहोचलेल्या संदेशांवर आधारलेली आहे. अर्थातच यासाठी ते ठिकाण एकाच वेळी कमीतकमी 4 उपग्रहांच्या दृष्टिक्षेपात असण्याची गरज आहे.

GPS प्रणालीची विभेदनक्षमता (resolution) हा देखील एक महत्त्वाचा घटक आहे. पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील दोन जवळजवळच्या वस्तूंचे वेगवेगळे स्थान निश्चित करण्याची क्षमता म्हणजे विभेदनक्षमता असे आपण म्हणू. उदाहरणार्थ जर आपल्या स्मार्टफोनमधील GPS प्रणाली सुरु केली तर आपले स्थान आपल्याच घरात दाखविले जाते की बाजूच्या घरात हे त्या GPS प्रणालीच्या विभेदनक्षमतेवर अवलंबून असते. नवीन स्मार्टफोनमध्ये GPS प्रणालीबरोबरच दूरसंचार मनोऱ्यांची मदत घेऊन स्थाननिश्चिती केली जाते. आपल्या स्मार्टफोनमधील मापक साधारणपणे २० मीटरच्या अचूकतेने आपले स्थान आपणास दाखवू शकतो.

सध्या सर्वत्र प्रचलित असलेली अमेरिकन GPS प्रणाली (हिचे नाव नॅव्हस्टार आहे) ही पृथ्वीनजीकच्या कक्षांतील 31 उपग्रहांवर आधारित आहे. (पृथ्वीनजीकच्या उपग्रहांवरून पृथ्वीचा थोडाच भाग दृष्टिक्षेपात येऊ शकतो, त्यामुळे पृथ्वीवरील सार्या ठिकाणांवर सतत कमीतकमी 4 उपग्रहांची नजर राहावी, यासाठी इतके उपग्रह वापरण्याची आवश्यकता असते. याशिवाय, काही उपग्रहांत बिघाड झाला तरीही या प्रणालीत खंड पडू नये यासाठी अंतर्गत अनावश्यकतेची तरतूदही ठेवावी लागते.) हे उपग्रह साधारण दीड तासात पृथ्वीप्रदक्षिणा पूर्ण करतात, व ते वापरून सध्या जमिनीवरील कोणत्याही स्थानाची निश्चिती 10 मीटरच्या अचूकतेने करता येते. (ही उपग्रह प्रणाली अमेरिकन संरक्षणदलांना याहूनही अधिक अचूकतेने स्थाननिश्चिती विषयक माहिती देत असावी असा कयास आहे.) याशिवाय रशियाची "ग्लोनास" प्रणालीदेखील आज कार्यरत आहे. या प्रणालींचा उपयोग जगभरच्या साऱ्या देशांना करता येतो. चीनची "बाइडोऊ", तसेच युरोपाची "गॅलिलिओ" या प्रणालीदेखील लवकरच पूर्ण होतील.

मग 1500 कोटी रुपये खर्च करून वेगळे भारतीय उपग्रह पाठवण्यात काय हशील, हा प्रश्न पडू शकतो. पण याचे उत्तर सोपे आहे. अचूक स्थाननिश्चितीचे महत्त्व कार्यक्षमतेच्या दृष्टीने तर आहेच; भारताच्या विस्तृत भूभागात व महासागरात, माणसे -- सामग्री -- माहिती यांच्या दळणवळणासाठी, नैसर्गिक व कृत्रिम बदलांवर नजर ठेवण्यासाठी अचूक स्थाननिश्चिती आवश्यक आहे. देशांतर्गत आपत्तींना तोंड देण्यासाठी व सीमांच्या संरक्षणांसाठीही याचे महत्त्व आहे. उदाहरणार्थ जर आपली क्षेपणास्त्रे लक्ष्याचा वेध घेण्यासाठी जर GPS वापरणार असतील तर त्या प्रणालीची

अचूकता किमान १ मीटरस्तरी असणे गरजेचे आहे. तंत्रज्ञान जसजसे अधिकाधिक प्रगत होत जाईल तसतसे याचे अधिक उपयोग उघड होतील. अशा मोक्याच्या माहितीसाठी केवळ इतर देशांवर अवलंबून राहणे भारतासारख्या प्रगतीशील व खंडप्राय देशाला परवडणार नाही. आपले हितसंबंध गुंतले असताना, किंवा युद्धजन्य परिस्थितींमध्ये, GPS प्रणालीवर मालकी असणाऱ्या देशांनी पूर्ण माहिती पुरवण्यास नकार दिल्याची उदाहरणे आहेत. अशी अडचणीची वेळ येण्यापूर्वीच आपण या बाबतीत स्वयंपूर्ण होणे जरूर होते, आणि त्या दृष्टीने टाकलेली ही पावले आहेत.

भारताच्या नाविक प्रणालीचे तांत्रिक नाव IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) आहे. यात 7 उपग्रह आहेत, ज्यातील 3 भूस्थिर उपग्रह व 4 तिरक्या कक्षांतील भूवेगी उपग्रह आहेत. केवळ तीन वर्षांच्या अवधीत हे 7 उपग्रह आकाशात सोडले गेले. 1 जुलै 2013 ला IRNSS-1A (भूवेगी), 4 एप्रिल 2014 ला IRNSS-1B (भूवेगी), 16 ऑक्टोबर 2014 ला IRNSS-1C (भूस्थिर), 28 मार्च 2015 ला IRNSS-1D (भूवेगी), 20 जानेवारी 2016 ला IRNSS-1E (भूवेगी), 10 मार्च 2016 ला IRNSS-1F (भूस्थिर) व 28 एप्रिल 2016 ला शेवटचा, IRNSS-1G (भूस्थिर). तीन भूस्थिर उपग्रह (अर्थातच) विषुववृत्तावर, अनुक्रमे 32.5 पूर्व, 83 पूर्व, व 131.5 पूर्व रेखांशांवर स्थित आहेत. चार भूवेगी उपग्रह हे पृथ्वीवरून पाहिले असता इंग्रजी 8-च्या आकड्यात फिरताना दिसतील. (चित्र 3 पाहा).



चित्र 3: सात नाविक उपग्रह व त्यांचे आकाशातील प्रवासमार्ग

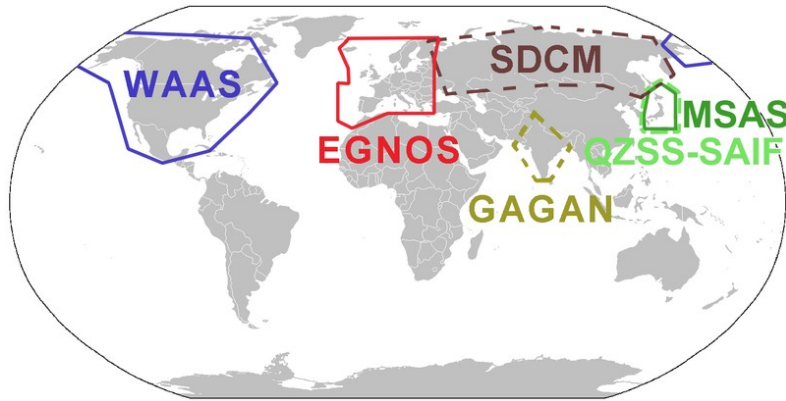
अर्थातच हे सारे 36,000 किलोमीटर उंचीवर फिरत राहणार आहेत, व भारतीय उपखंडातील स्थाननिश्चितीवर यांचा भर असेल. पृथ्वीपासून दूर असल्याने प्रत्येक उपग्रह एका वेळी पृथ्वीच्या जवळजवळ एका गोलार्धावर नजर ठेवू शकतो. पण त्याच वेळी, उपग्रहाच्या आकाशात पृथ्वीचा आकार केवळ 10 अंश असल्याने, संदेश पाठवण्याची दिशा

अधिक अचूक असण्याची गरज आहे, व संदेश दूर पोहोचण्यासाठी त्यासाठी लागणारी ऊर्जाही अधिक असण्याची आवश्यकता आहे. या गोष्टी ध्यानात धरूनच “नाविक” ची निर्मिती केली गेली आहे.

या अवकाशस्थ नाविकाला पूरक म्हणून जमिनीवर देखील, उपग्रहांचे नियमन करणारी, त्यांच्या मार्गाचा माग ठेवणारी, त्यांच्याकडे रेडिओ संदेश पाठवणारी उपकरणे कार्यरत असणार आहेतच. एक नियमन केंद्र (Master Control Center) योग्य त्या सॉफ्टवेअर द्वारा नाविकावर नजर ठेवून असेल. या नाविकाकडून मिळणारे संदेश बहुतांशी सर्वांसाठी खुले असतील व पुढेमागे ते वैयक्तिक वापरासाठीही, आपल्या स्मार्टफोनवरही वापरता येतील. अर्थात काही encrypted संदेश गोपनीयही असतील, ज्यांचा उपयोग भारतीय संरक्षणविषयक संघटनांना करता येईल. संरक्षणदलांना १ मीटरहूनही अधिक अचूकतेने गोपनीय स्थाननिश्चिती संदेश पुरविणे हा या GPS प्रणालीचा एक उद्देश आहे.

एकदा का नाविक प्रणाली कार्यरत झाली की, स्वतःची अशी प्रणाली असणाऱ्या मूठभर देशांच्या पंक्तीला भारत जाऊन बसेल. ही स्वयंपूर्णता भारताच्या दूरदर्शी भविष्याच्या दृष्टीने फार महत्त्वाची आहे.

पण GPS च्या अवकाशात हे काही भारताचे पहिले पाऊल नाही. “गगन” (GAGAN: GPS Aided GEO Augmented Navigation) हे भारतीय विमान प्राधिकरण (Airport Authority of India) व ISRO चे अपत्य, तीन भूस्थिर उपग्रहांनी बनलेले आहे व भारतीय उपखंडावरील विमानांच्या वाहतुकीच्या मार्गनिश्चितीसाठी त्याचा वापर काही वर्षांपूर्वीच सुरु झालेला आहे. नॅव्हस्टार (अमेरिकन) व ग्लोनास (रशियन) GPS प्रणालीबरोबर गगनचा वापर करून, विमानांचे आकाशातील स्थान 3 मीटर एवढ्या अचूकतेने ठरवता येते, व भविष्यात याचा वापर करून विमाने स्वयंचलित अवतरण (automated landing) देखील करू शकतील.



चित्र 4: जगभरच्या विमान-पथदर्शक प्रणाली

“गगन”चा पाया हा GSAT-8, GSAT-10 व GSAT-15 या तीन उपग्रहांवर आधारित आहे. हे उपग्रह मे 2011 ते नोव्हेंबर 2015 च्या अवधीत आकाशात सोडले गेले. गगनच्या प्रणालीमध्ये तीन उपग्रहांबरोबरच जमिनीवरील 15 मापक स्थानके (reference stations), 3 navigation land uplink stations व 3 मिशन नियमन

स्थानकेही आहेत. यांच्या उपग्रहाबरोबरील संदेशाच्या देवाणघेवाणीतून, विमानांच्या त्रिमितीय स्थानावर नजर ठेवणे शक्य होते. ही माहिती भारतातील 80 हून अधिक नागरी विमानतळ व 200 हून अधिक इतर धावपट्ट्यांना उपलब्ध होते. विमानप्रवासाची सुरक्षा अबाधित ठेवून विमानतळांची संख्या वाढवण्यात या प्रणालीचा मोठा हातभार लागणार आहे. उत्तर अमेरिकेतली ``वास``, युरोपातील ``एग्रोस``, रशियाची SDSM, जपानची MSAS, चीनची QZSS यांच्याबरोबरच (चित्र 4 पाहा) भारताची गगन-प्रणाली आपले आकाश अधिक सुरक्षित बनवेल अशी अपेक्षा आहे.

एक उपग्रह रॉकेटने अवकाशात सोडणे हेच किती अवघड काम. वर तो योग्य जागी प्रस्थापित करणे, त्याच्या कार्यावर नियंत्रण ठेवणे, आणि अशा काही उपग्रहांच्या संयोगातून आपले नक्की स्थान काही मीटरच्या अचूकतेने निश्चित करणे हे सामान्य माणसाच्या कल्पनेबाहेरचे आहे. पण इन्फोसारख्या संस्थेतील शास्त्रज्ञ ते वर्षानुवर्षांच्या परिश्रमातून साध्य करतात, व हे तंत्रज्ञान "गगन" व "नाविक" सारख्या प्रणालींमधून सामान्य माणसाच्या अक्षरशः हातात येते. अंतराळ संशोधनाची अवकाशझेप पंखांबरोबर आपले पायही मजबूत करते. आकाशाशी धरणीचे असेच नाते जुळते.