

Geografické informační systémy

Slajdy pro předmět GIS

Martin Hrubý

hrubym @ fit.vutbr.cz

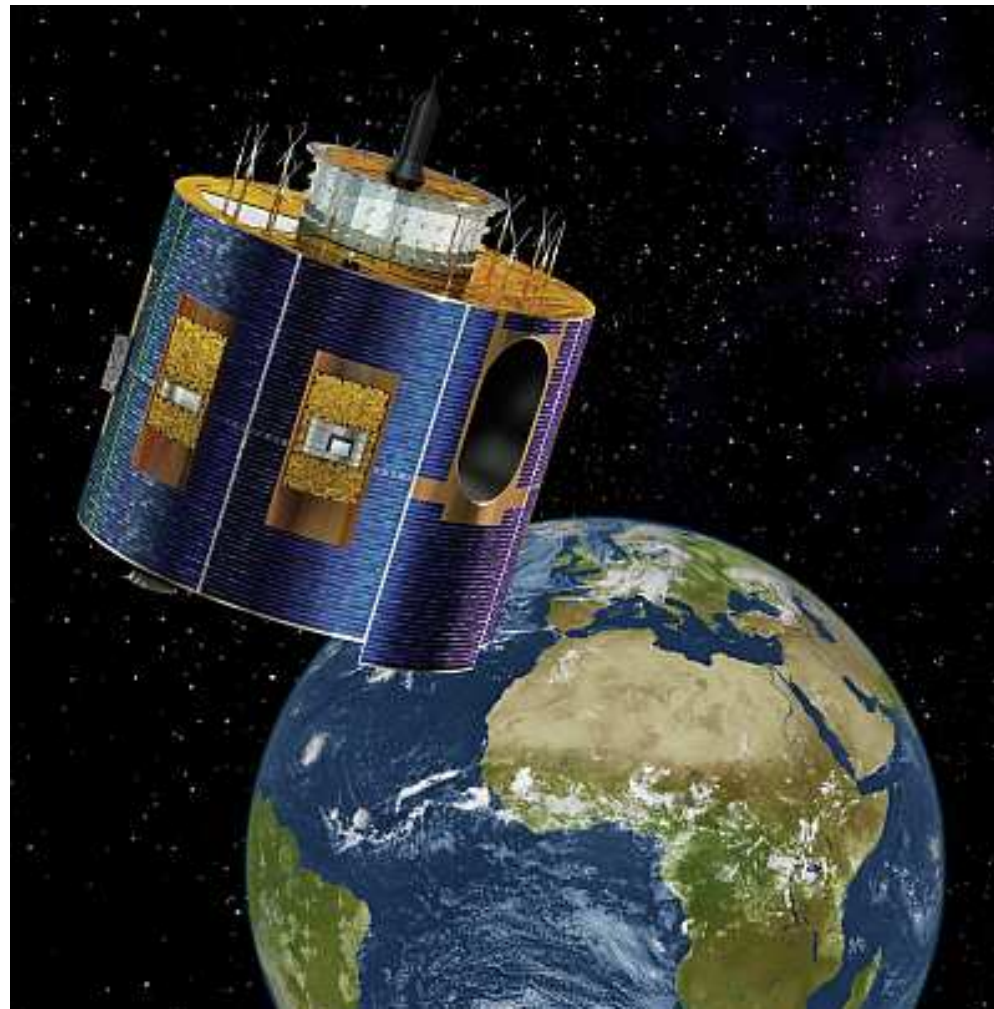
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta informačních technologií,
Božetěchova 2, 61266 Brno

—

akademický rok 2006/07

Téma

Systemy pro určování polohy na Zemi



Polohování na Zemi

- Lokální, globální
- Vyžadovaná přesnost zjištění polohy
- Dynamičnost
- Aplikace - mapování, navigace
- Potřeba specializovaného zařízení

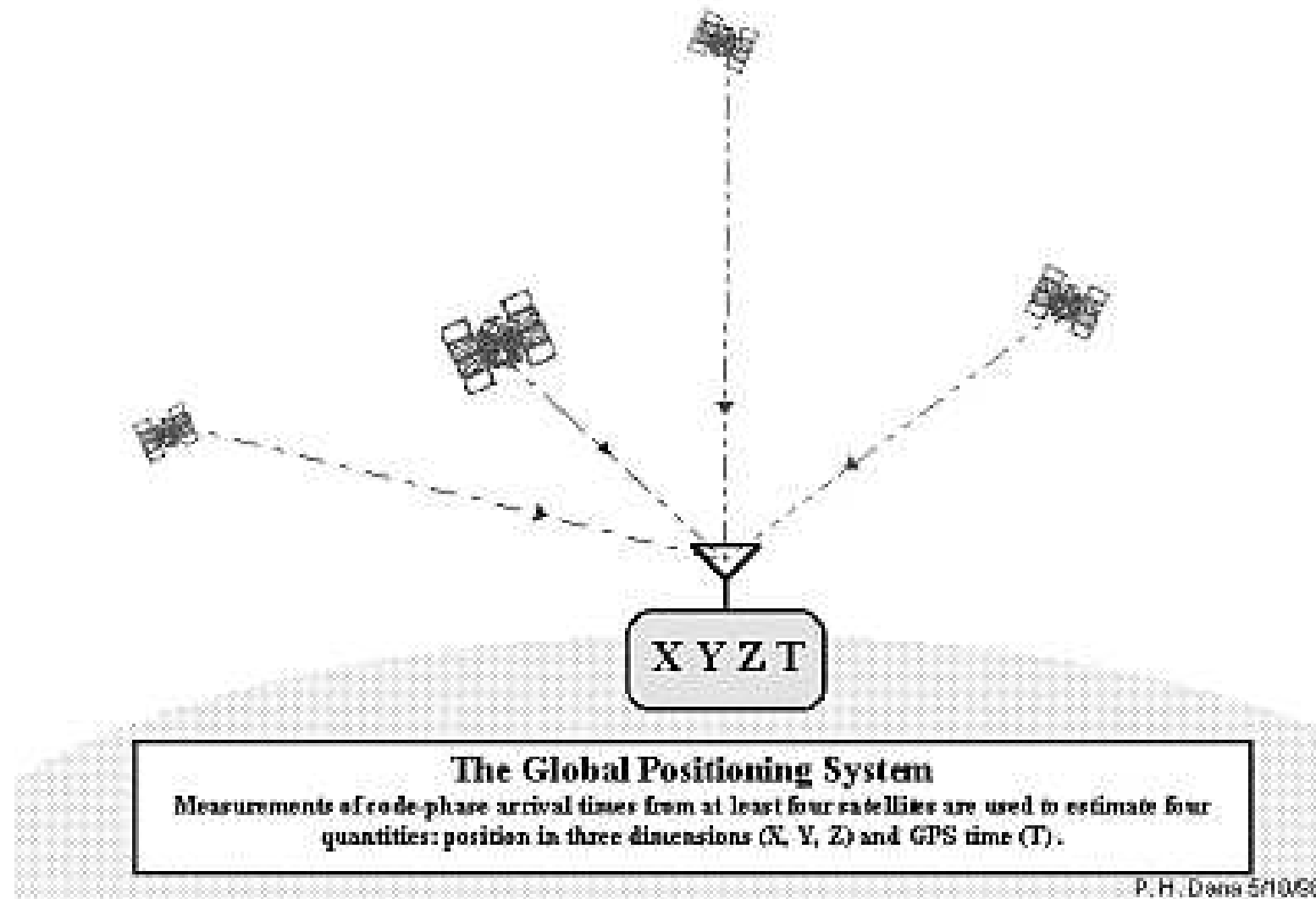
Prvotní idea satelitní navigace pochází z doby Sputniku I.
Měření Dopplerova efektu.

GPS (Navstar)

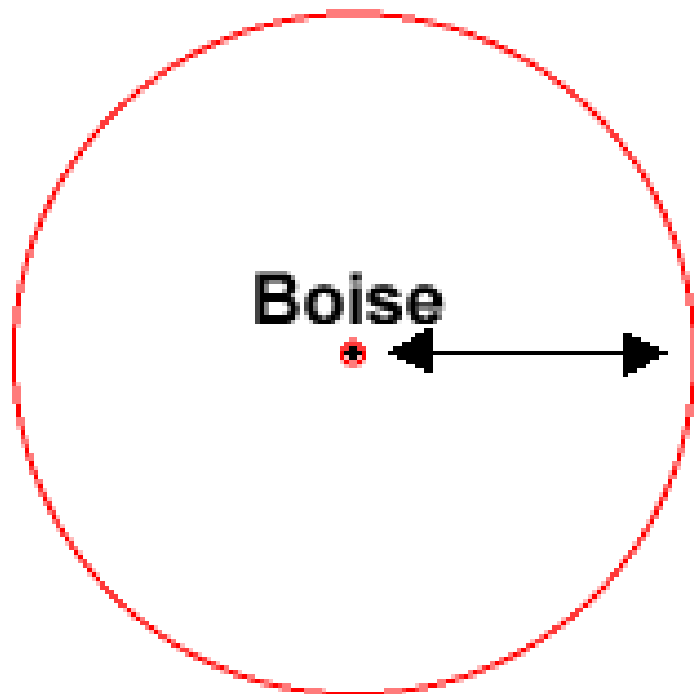
- General Positioning System
- 24 satelitů, výška 20,200km
- satelity, GPS přijímače (receiver)
- pasivní družicový systém pro určování polohy na Zemi (nelze zjistit polohu přijímače)
- satelity vysílají signál, receiver ho přijímá a z něho určuje výpočtem svoji polohu (principem je měření vzdálenosti mezi družicí a přijímačem - zpoždění signálu), rychlost pohybu a čas

Poznámka: vycházím z materiálů P.H.Dana

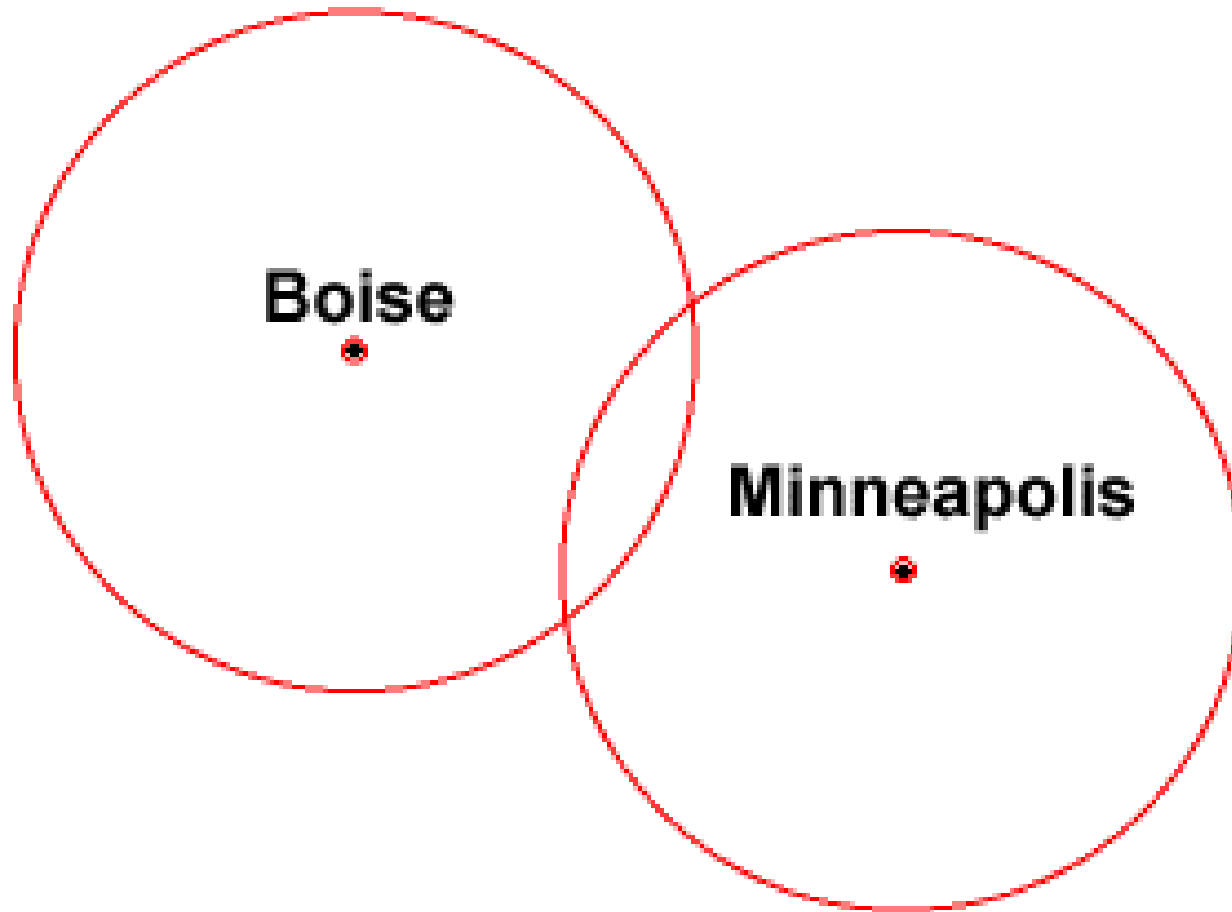
Princip



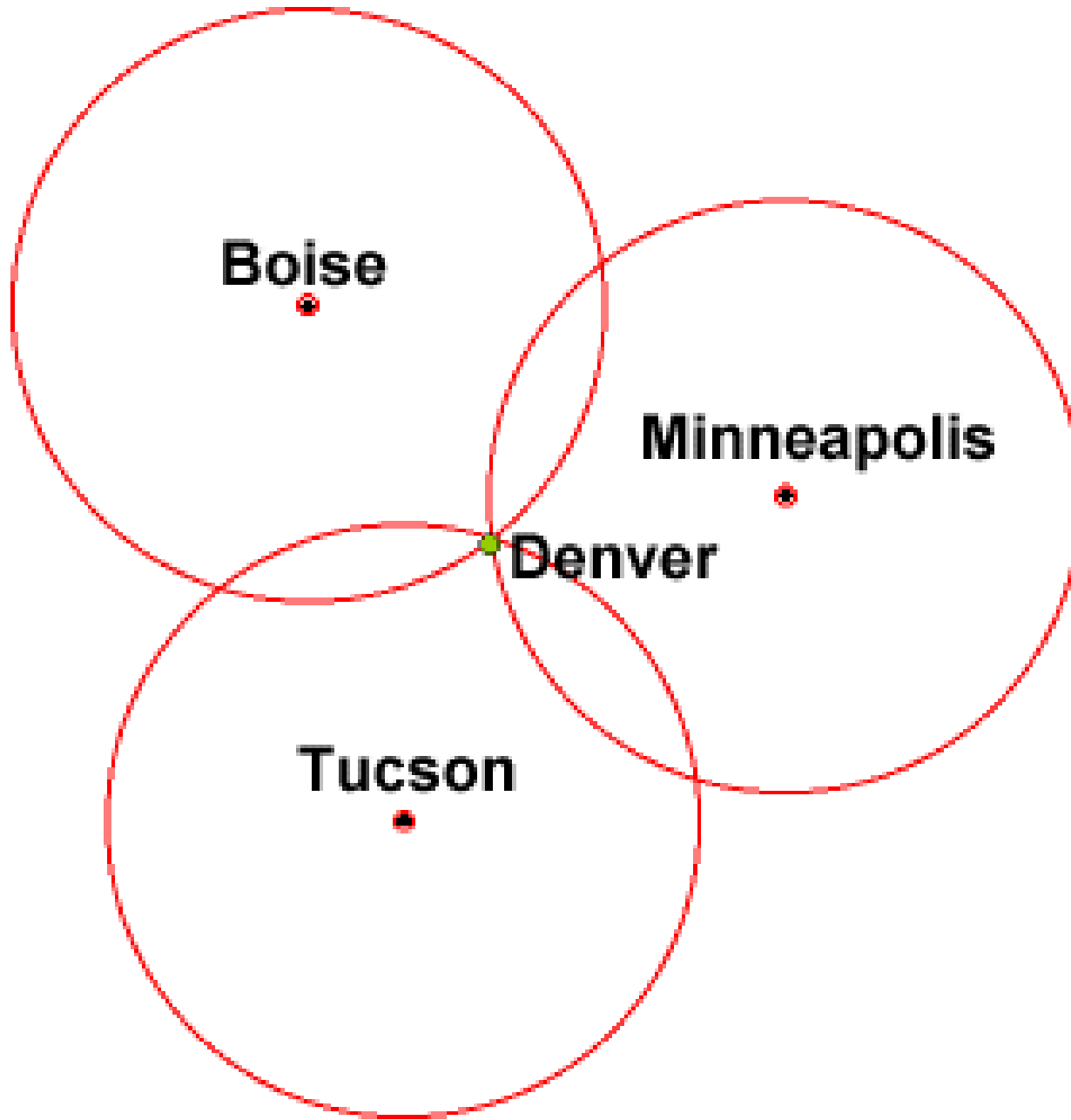
2-D Trilateration (trilaterace)



2-D Trilateration



2-D Trilateration

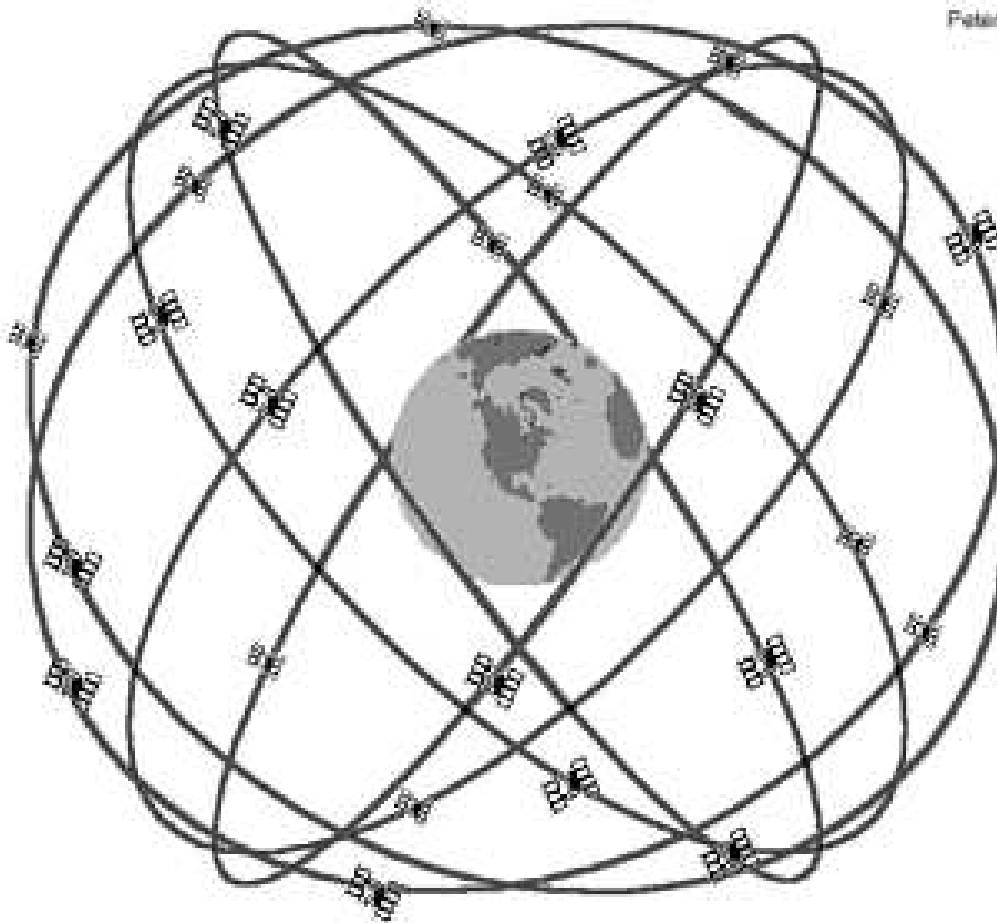


3-D Trilateration, Je třeba znát:

- polohu nejméně tří satelitů
- moji vzdálenost od nich
- vzdálenost - vypočtu z doby, po kterou letí signál od satelitu ke přijímači
- pro měření časového rozdílu jsou třeba dvoje hodiny s rozlišením nanosekundy (atomové hodiny - kolem \$100,000)
- atomové hodiny jsou pouze v satelitu, přijímače obsahují obyčejné hodiny (které periodicky resetují)
- potřeba znát polohu satelitů - almanac (poloha + parametry její orbity pro predikci)
- předpoklad - radiový signál letí k přijímači konstantní rychlostí (zpomalení signálu v ionosféře, vliv velkých objektů - výškové budovy)

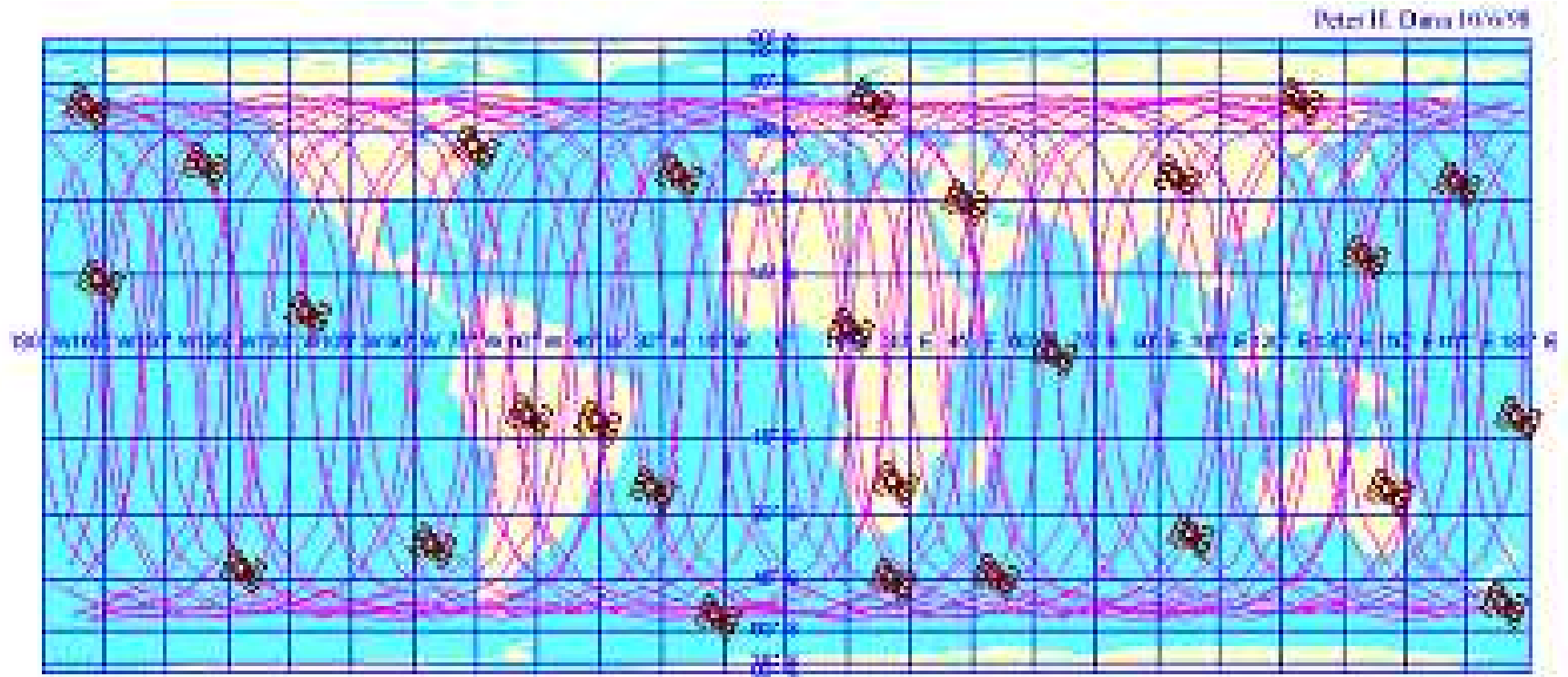
Konstalace satelitů

Peter H. Dana 9/22/98



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

Konstalace satelitů



Global Positioning System Satellites and Orbits

for 27 Operational Satellites on September 29, 1998

Satellite Positions at 00:00:00 9/29/98 with 24 hours (2 orbits) of Ground Tracks to 00:00:00 9/30/98

Historie

- původně vojenský projektu USarmy
- první družice (vyrobená firmou Rockwell) vypuštěna v únoru 87 (poslední v únoru 89)
- roční údržba - 400 mil. USD, spoluúčast komerčních firem (uvolnění pro veřejnost na počátku 90 let)

Orbity

- 24 satelitů, orbita - perioda obletu 12 h
- 6 oběžných drah, 4 družice rovnoměrně rozložené po dráze
- rezervní družice
- lze vidět 5-8 satelitů z každého místa Země
- stačí 4 - tři složky souřadnice a čas

Pozemní obsluha

- satelity jsou "vesmírný segment"
- řídicí segment - síť pozemních řídicích stanovišť
- uživatelský segment - uživatelské receivery

Řídicí segment

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Řídicí segment

- hlavní ŘS je v Schriever Air Force Base (Colorado)
- ŘS přijímá signál ze satelitů a počítá korekce (pomocí modelu) jejich nastavení (ephemeris - poloha, status, datum, čas), které jim posílá
- ephemeris jsou součástí informace, kterou satelity posílají pozemním přijímačům

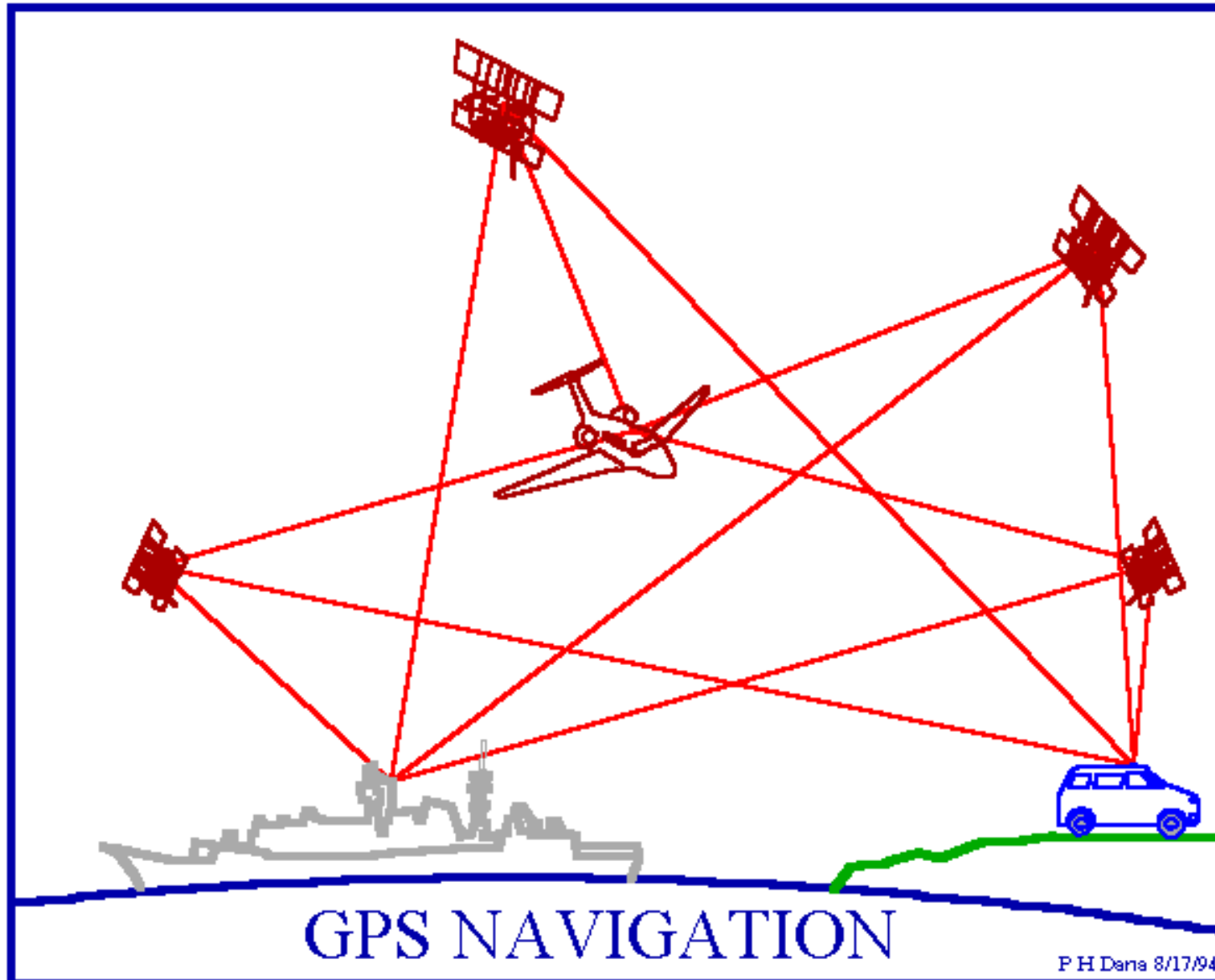
Uživatelský segment

- tvořen přijímači a uživateli
- informací je hlavně 3D-souřadnice (lat, lon, výška) a GPS čas
- určování polohy, navigace
- k určení polohy je potřeba viditelnost na 4 satelity
- čas je druhou důležitou informací z GPS - například pro astronomické observatoře, telefonní systémy, meteorologická měření

Služby GPS:

- Precise Positioning Service (PPS)
- Standard Positioning Service (SPS)

Uživatelský segment



Precise Positioning Service (PPS)

GPS Positioning Services Specified In *The Federal Radionavigation Plan*

- Authorized users with cryptographic equipment and keys and specially equipped receivers use the Precise Positioning System. U. S. and Allied military, certain U. S. Government agencies, and selected civil users specifically approved by the U. S. Government, can use the PPS.
- PPS Predictable Accuracy
 - 22 meter Horizontal accuracy
 - 27.7 meter vertical accuracy
 - 200 nanosecond time (UTC) accuracy

Standard Positioning Service (SPS)

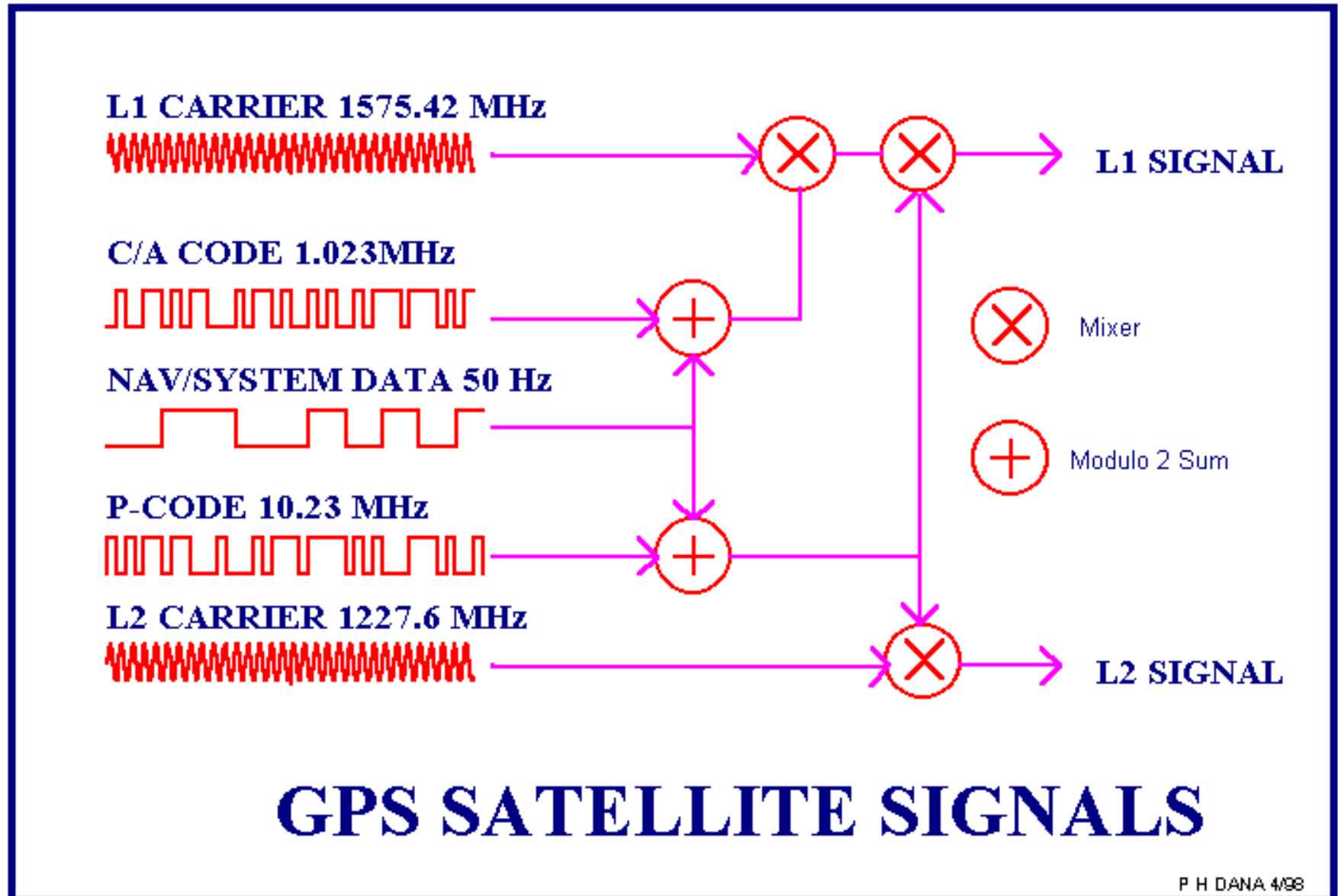
- uživatelská přesnost (údaj z roku 94)
 - 100 meter horizontal accuracy
 - 156 meter vertical accuracy
 - 340 nanoseconds time accuracy
- signál se záměrně kazil (nešlo odfiltrovat), dnes již přesnost až na 1m
- Selective Availability, zavedení diferenciální korekce (DGPS) - dlouhé nabíhání
- May 1, 2000 - Clinton zrušil SA (má ještě DGPS význam?)

Výpočet polohy ze signálů

Přijímač musí:

- zjistit sestavu viditelných satelitů (rozpoznat je)
- průběžně dekódovat jejich informaci
- měřit Time of arrival (TOA) signálů
- vyhodnocovat polohu a čas

Výpočet polohy ze signálů



Signály

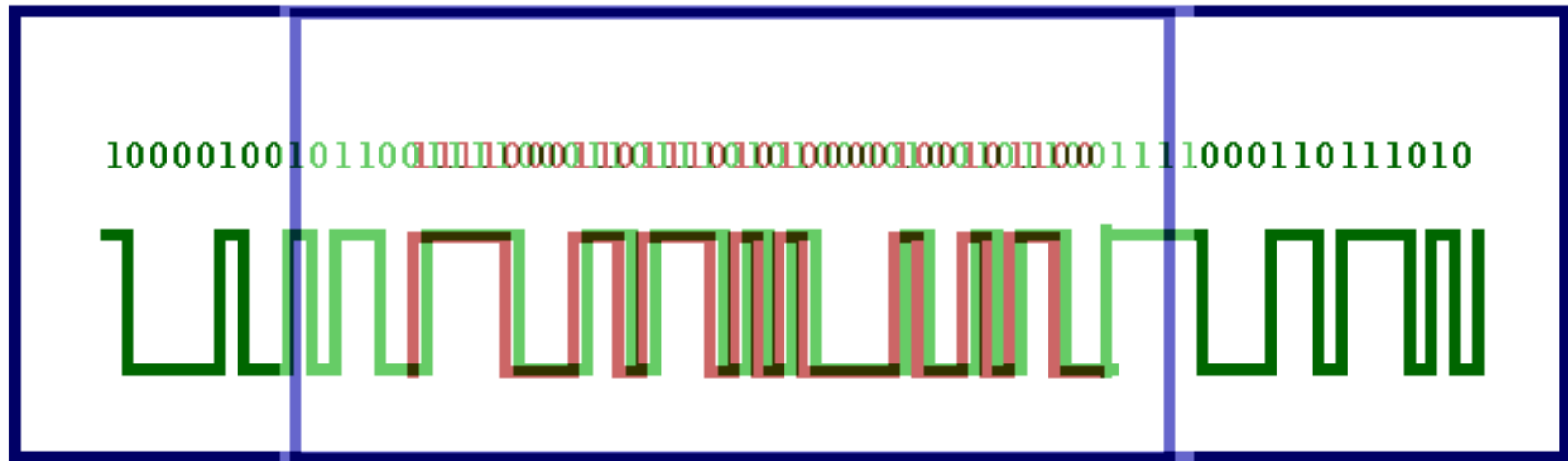
Nosné signály (mají stejnou fr. pro všechny satelity, vysílají se ve stejné okamžiky):

- L1 - obsahuje navigační informaci a SPS kód (pouze civilní)
- L2 - informace pro měření zpoždění v ionosféře (pro PPS), šifrovaný

Do L1 se míchá (modulace):

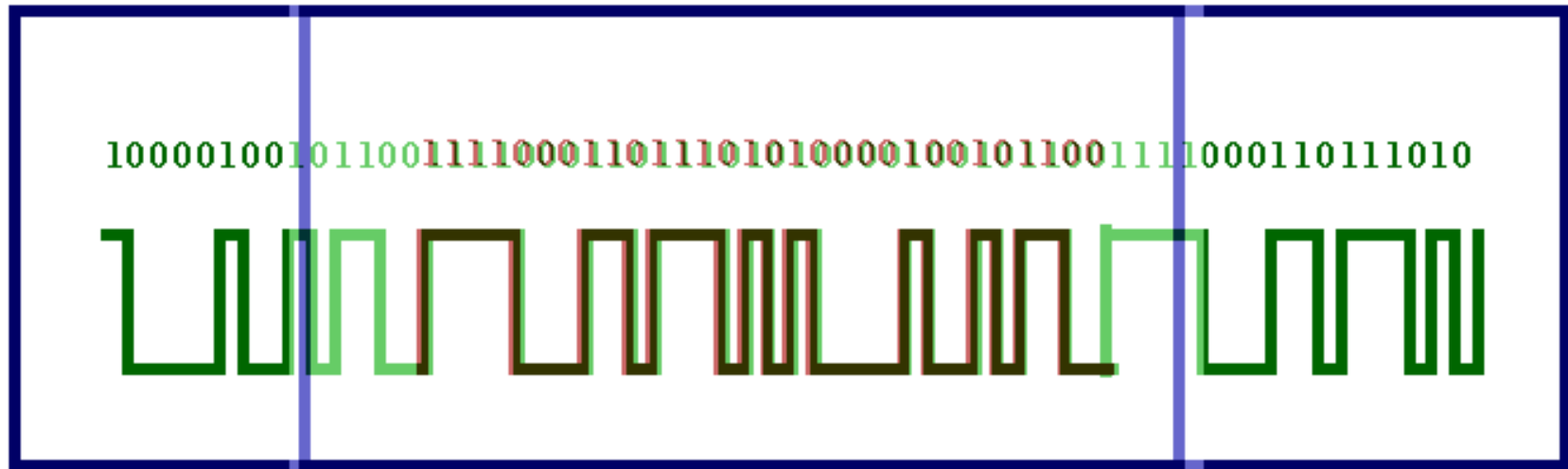
- C/A Code (Coarse Acquisition) - 1MHz pseudo-náhodný šum (PRN) s periodou asi 1ms. Je originální pro každý satelit (slouží pro jeho identifikaci). C/A je základem pro SPS.
- The P-Code (Precise) - obdoba C/A - perioda 7 dní, 10MHz, Anti-Spoofing mód výpočtu, PPS
- Navigační informace - 50 Hz signál obsahující informace o orbitě satelitu, času, ...

Korelace vstupu s generátorem C/A



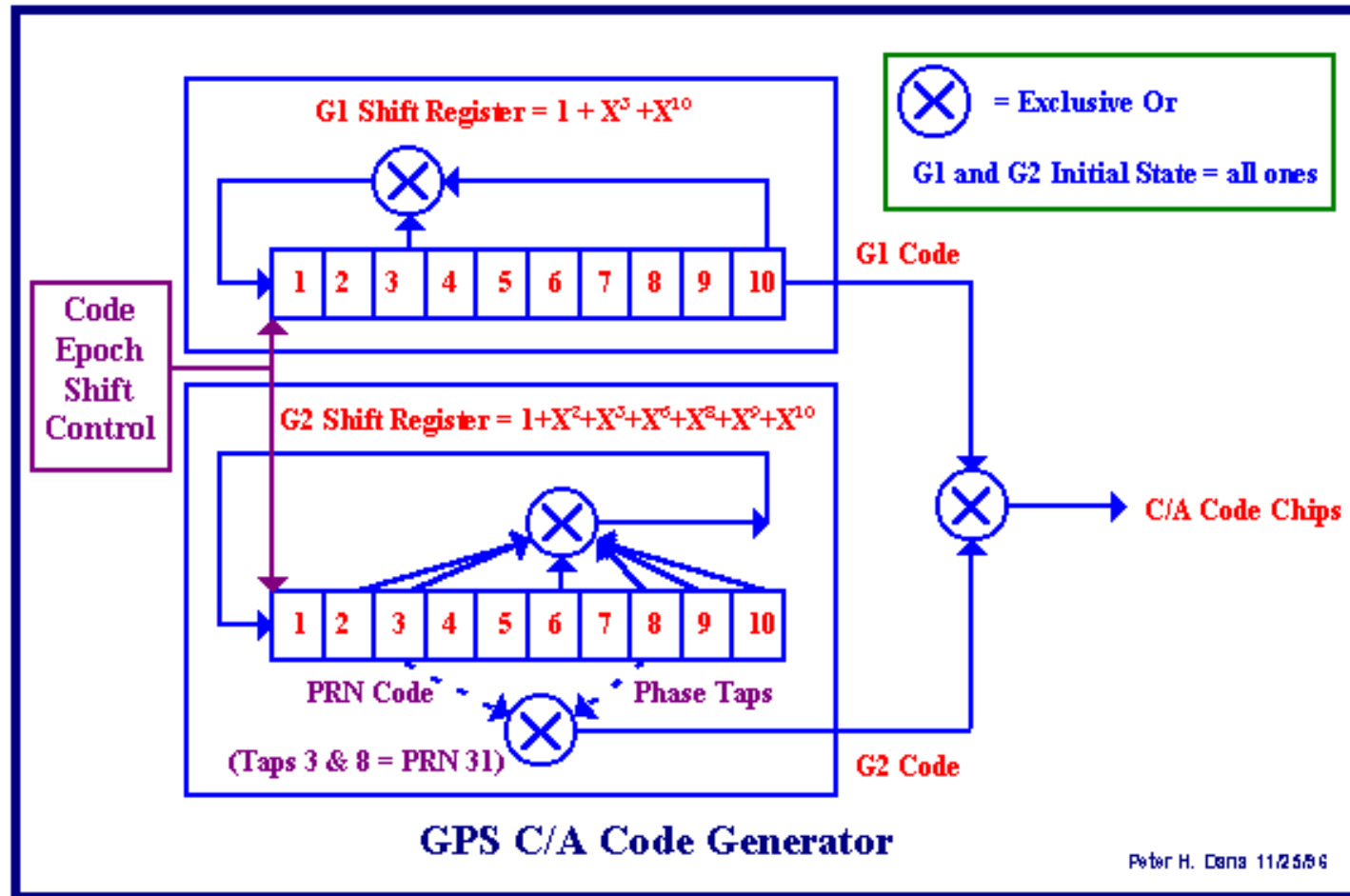
Partial Correlation of Identical Receiver and Satellite PRN Codes

Korelace vstupu s generátorem C/A

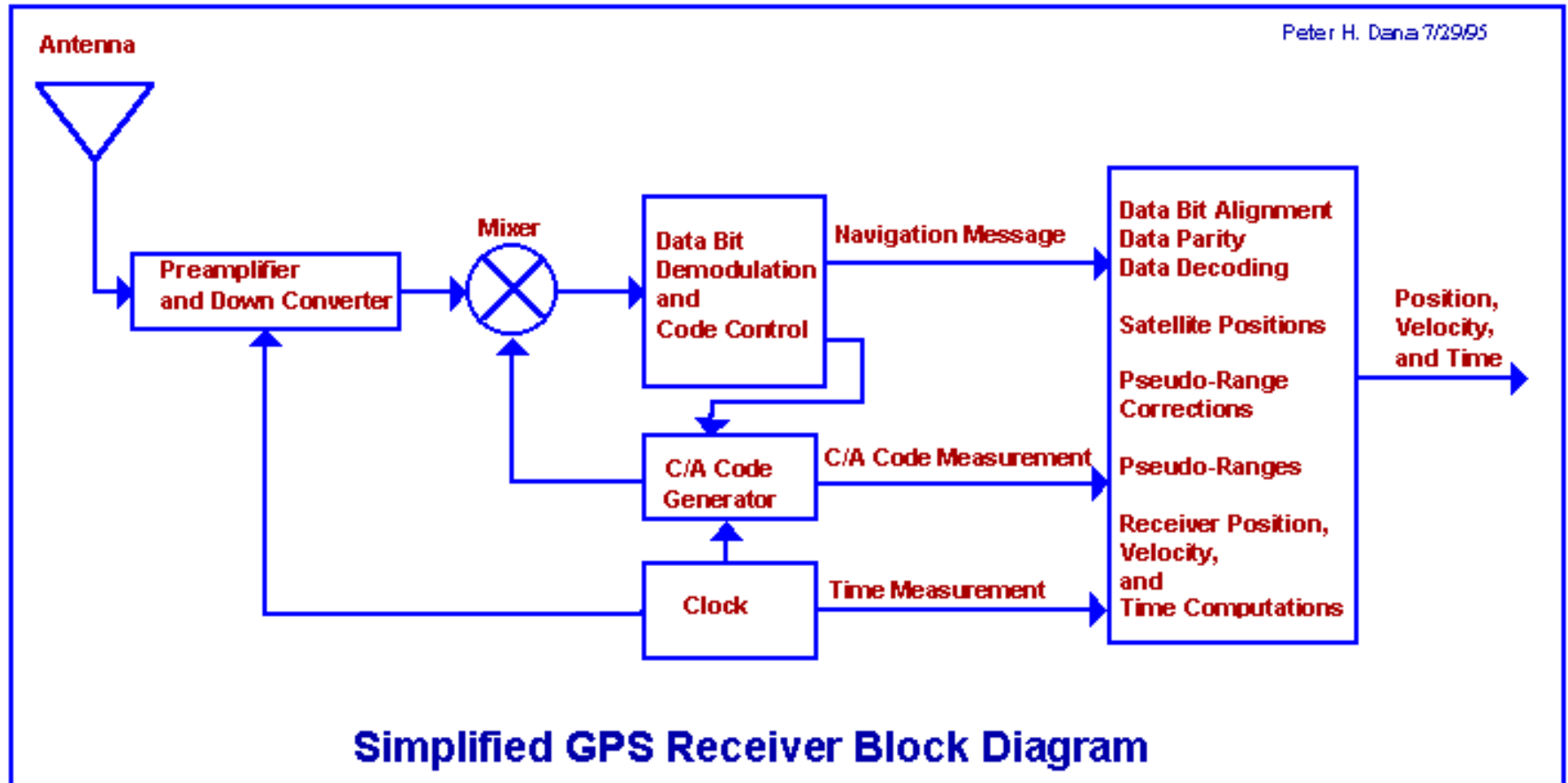


Full Correlation (Code-Phase Lock) of Receiver and Satellite PRN Codes

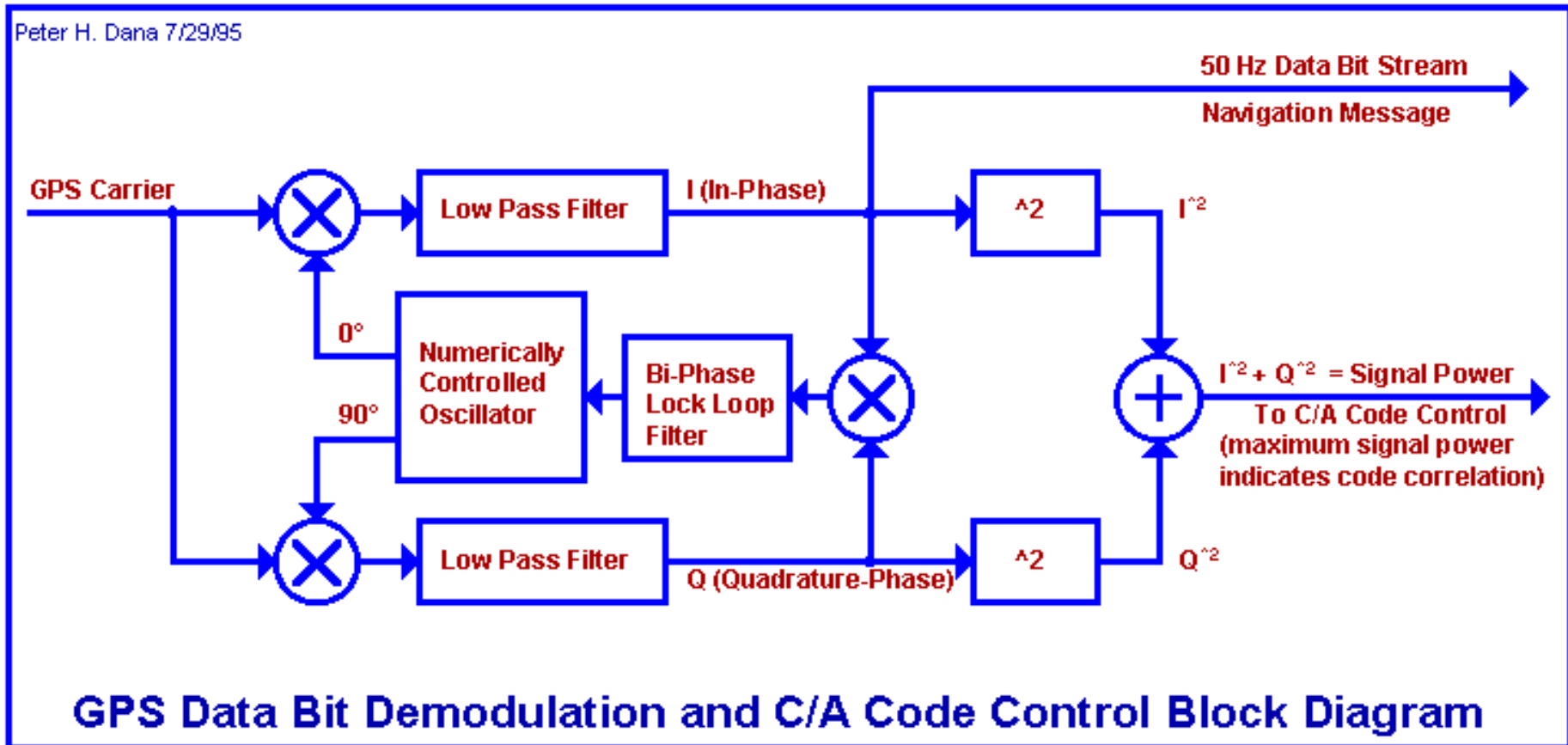
C/A



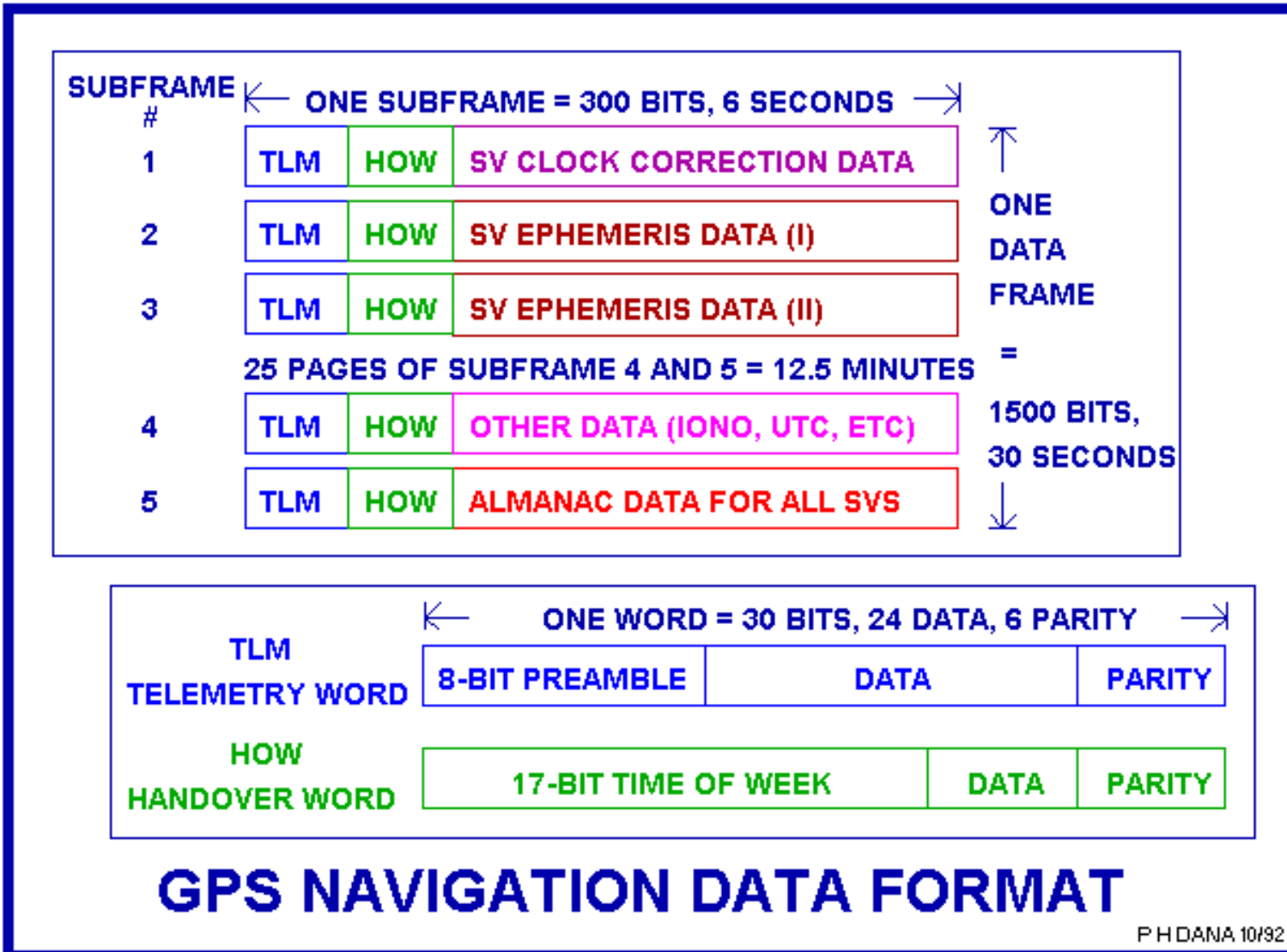
Receiver block diagram



Receiver block diagram



Navigační balík



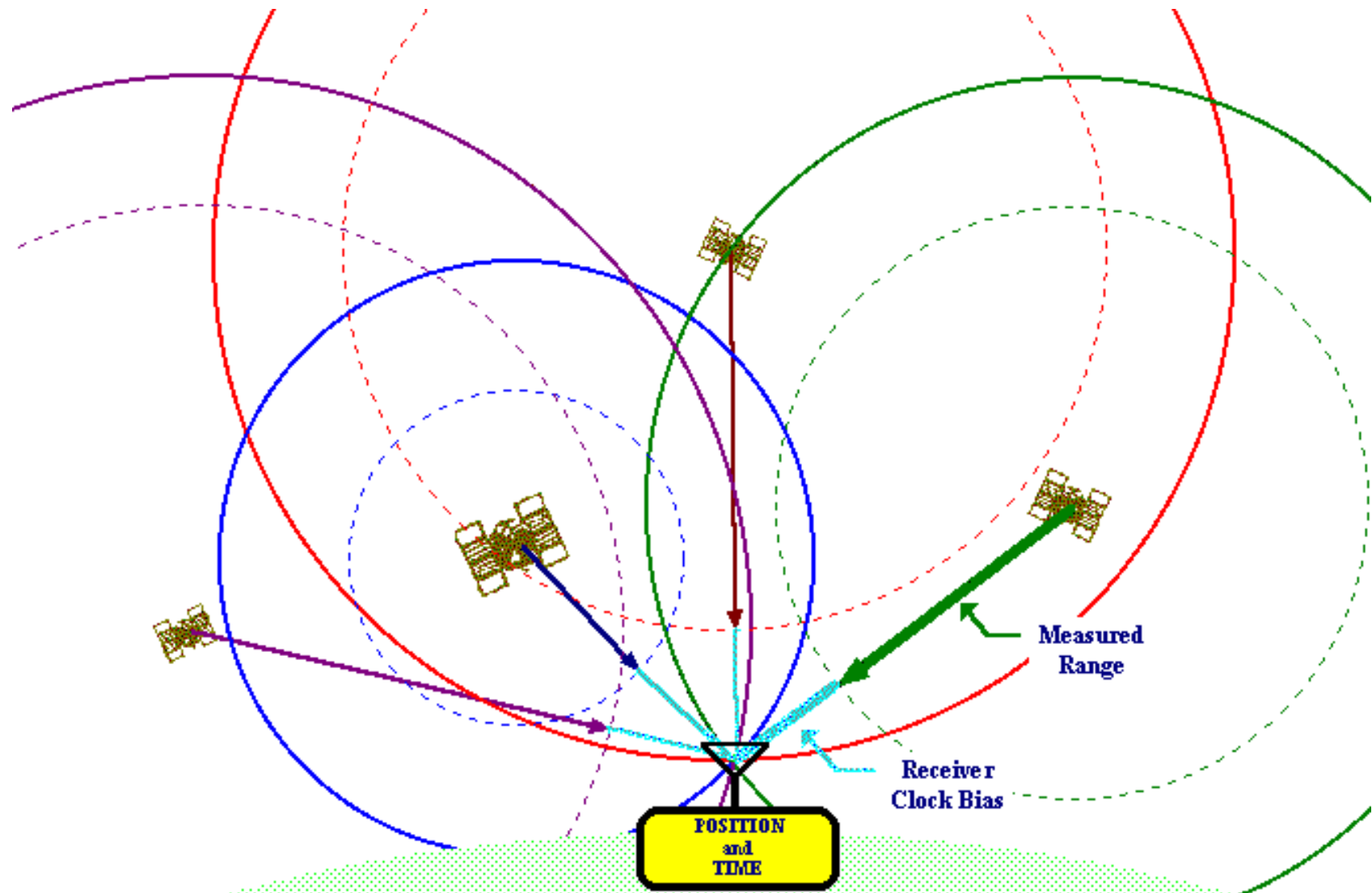
Navigační balík

- datový rámeček - 1500 bitů, rozdělen do pěti 300b podrámeců
- 1. podrámec - hodiny, 2. a 3. - info o orbitě, (4,5 - systémové informace)
- odeslání podrámce trvá 6s, celek 30s
- almanach - informace o drahách všech satelitů, dataset o ionosféře (model) pro přijímač, data o UTC

Přijímač

- obsahuje generátor C/A kódu (je deterministický, lze zjistit a generovat souběžně se satelitem). Některé přijímače si C/A parametry archivují.
- přijímač se snaží synchronizovat se satelitem (korelace obou C/A signálů)
- demodulace L1 a extrakce navigačních dat

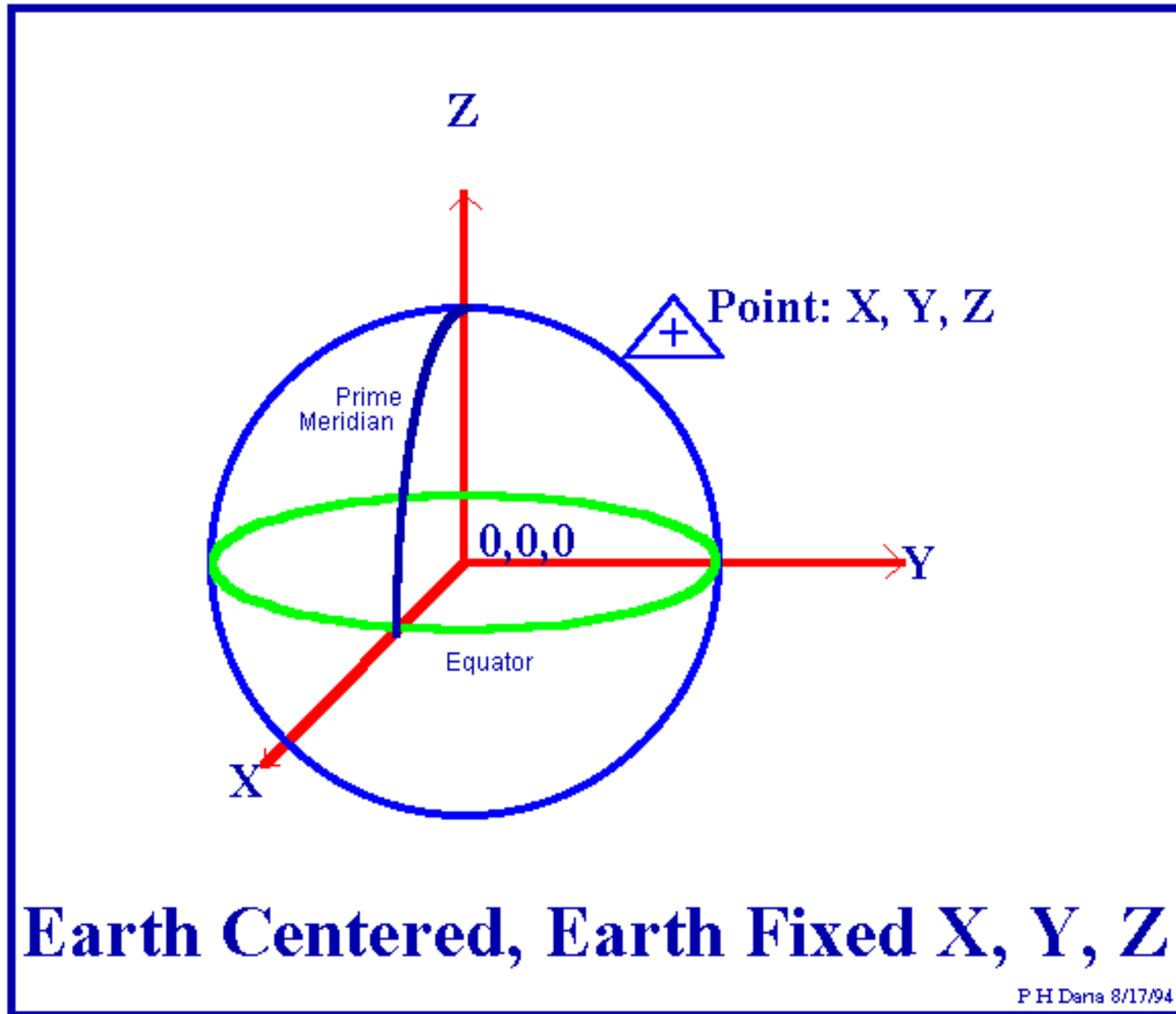
Výpočet polohy



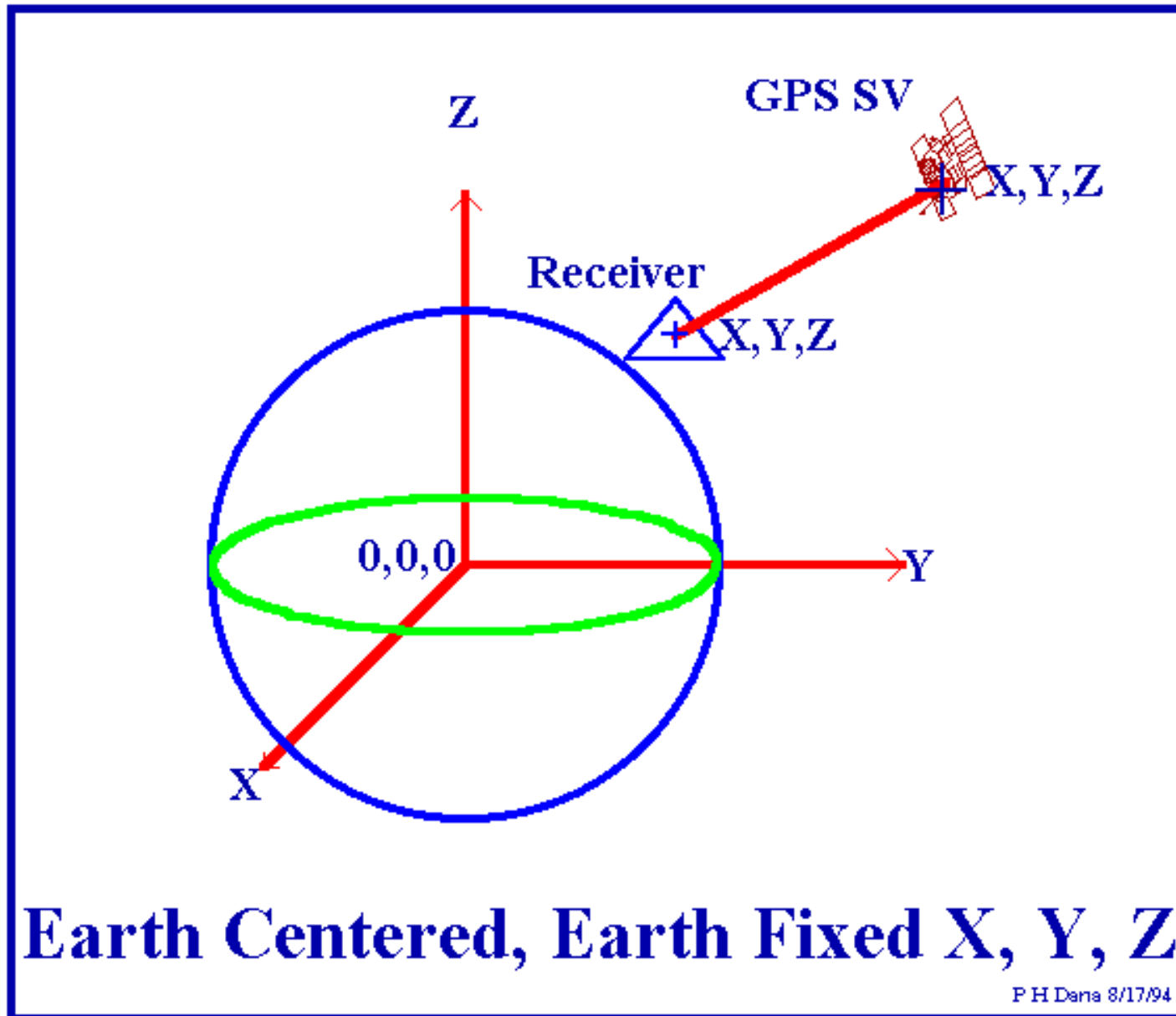
The GPS Navigation Solution

The estimated ranges to each satellite intersect within a small region when the receiver clock bias is correctly estimated and added to each measured relative range.

Výpočet polohy



Výpočet polohy



Výpočet polohy

GPS Pseudorange Navigation Example - Peter H. Dana - 4/24/96

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeris Parameters and SV Time

$SVx_0 := 15524471.175$	$SVy_0 := -16649826.222$	$SVz_0 := 13512272.387$	SV 15
$SVx_1 := -2304058.534$	$SVy_1 := -23287906.465$	$SVz_1 := 11917038.105$	SV 27
$SVx_2 := 16680243.357$	$SVy_2 := -3069625.561$	$SVz_2 := 20378551.047$	SV 31
$SVx_3 := -14799931.395$	$SVy_3 := -21425358.24$	$SVz_3 := 6069947.224$	SV 7

Satellite Pseudoranges in meters (from C/A code epochs in milliseconds)

$P_0 := 89491.971$	$P_1 := 133930.500$	$P_2 := 283098.754$	$P_3 := 205961.742$	Range + Receiver Clock Bias
--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

$R_x := -730000$	$R_y := -5440000$	$R_z := 3230000$
------------------	-------------------	------------------

For Each of 4 SVs $i := 0..3$

Ranges from Receiver Position Estimate to SVs (R_i) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - Rx)^2 + (SVy_i - Ry)^2 + (SVz_i - Rz)^2} \quad L_i := \text{mod}[(R_i), 299792.458] - P_i$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - Rx}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - Ry}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - Rz}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad dR := (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad dR = \begin{bmatrix} -3186.496 \\ -3791.932 \\ 1193.286 \\ 12345.997 \end{bmatrix}$$

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

$R_x := Rx + dR_0$	$R_y := Ry + dR_1$	$R_z := Rz + dR_2$	Time := dR_3
$R_x = -733186.496$	$R_y = -5443791.932$	$R_z = 3231193.286$	Time = 12345.997

Přijímač

- 3 satelity stačí na 2Dfix, 4 na 3D
- informace o poloze je ve formátu XYZ, přepočet na lat-lon
- vztaženo k náhradnímu elipsoidu WGS-84 (lze použít i jiný. Velké odchylky polohy při použití nevhodného elipsoidu)
- výpočet rychlosti (změna polohy v čase), azimut (gps jsou obvykle bez kompasu)
- časy: satelitní čas (každého s.), GPS time, UTC time
- Universal Coordinated Time (UTC) je vypočten z GPS času použitím UTC korekčních parametrů (UTC a GPS časy jsou posunuty)

Výpočet polohy

Coordinate Conversion

Geodetic Latitude, Longitude, and Height to ECEF, X, Y, Z

$$X = (N + h) \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \phi$$

where:

ϕ, λ, h = geodetic latitude, longitude, and height above ellipsoid

X, Y, Z = Earth Centered Earth Fixed Cartesian Coordinates

and:

$N(\phi) = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}$ = radius of curvature in prime vertical

a = semi - major earth axis (ellipsoid equatorial radius)

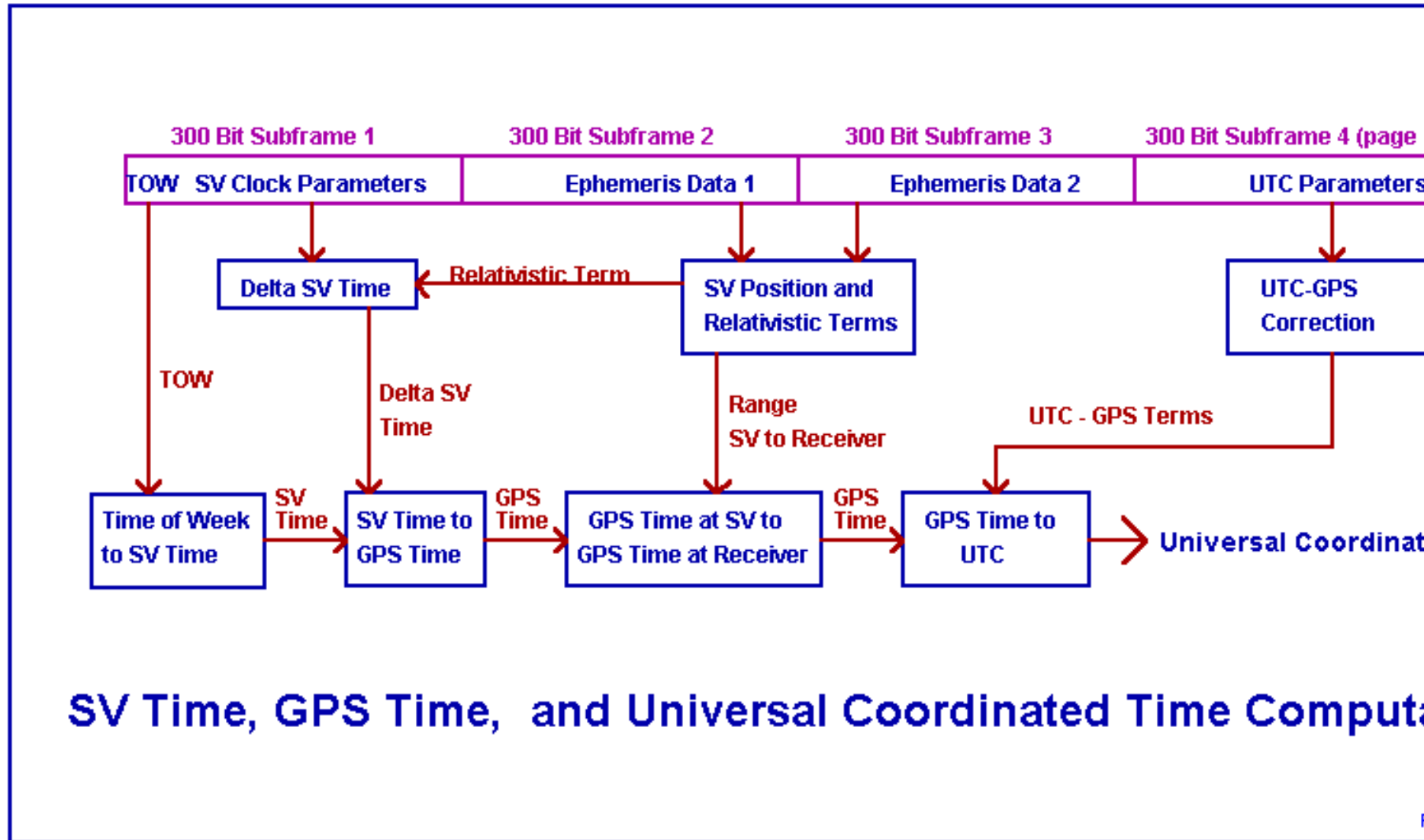
b = semi - minor earth axis (ellipsoid polar radius)

$$f = \frac{a - b}{a} = \text{flattening}$$

$$e^2 = 2f - f^2 = \text{eccentricity squared}$$

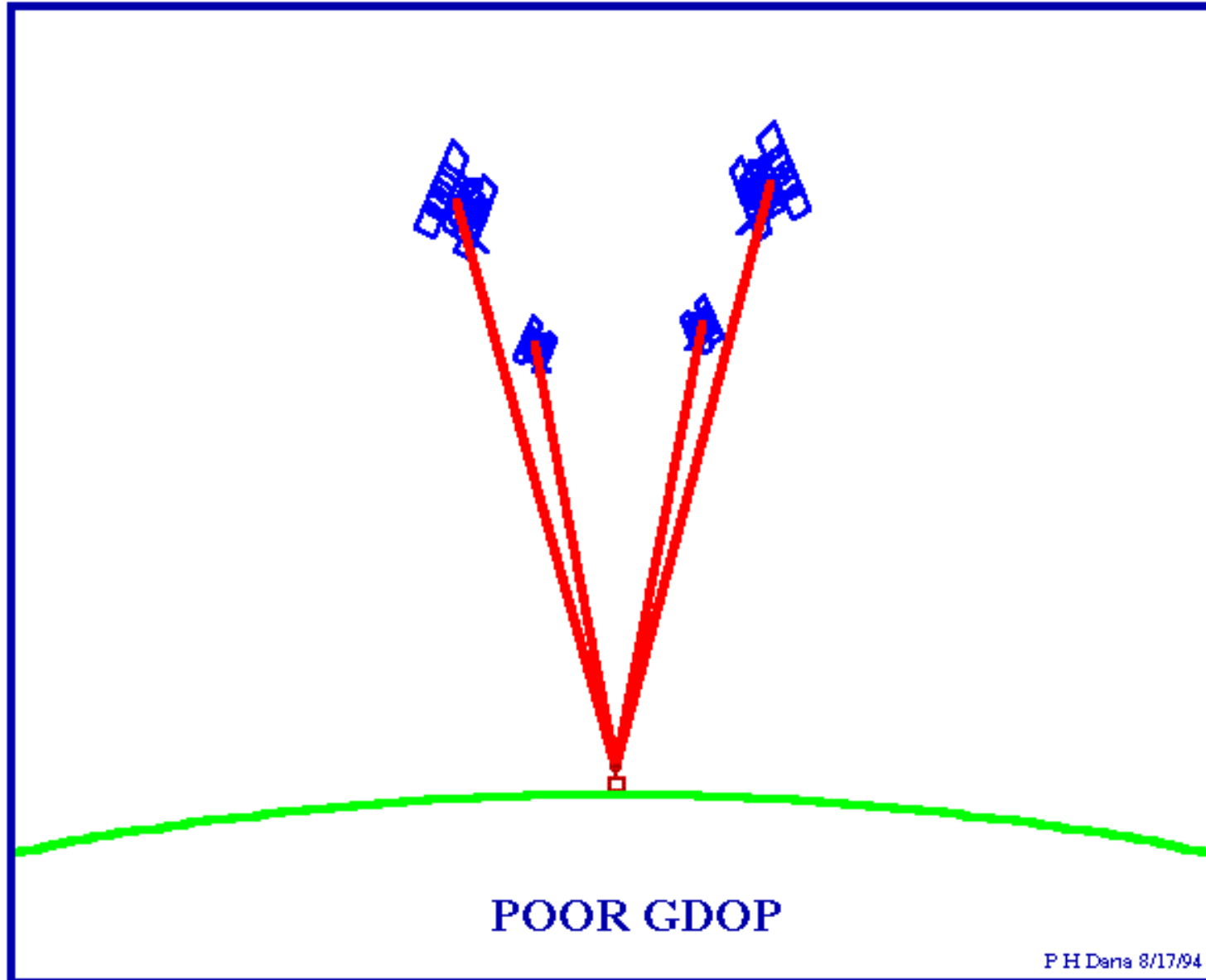
Peter H. Dana 8/3/96

Výpočet času



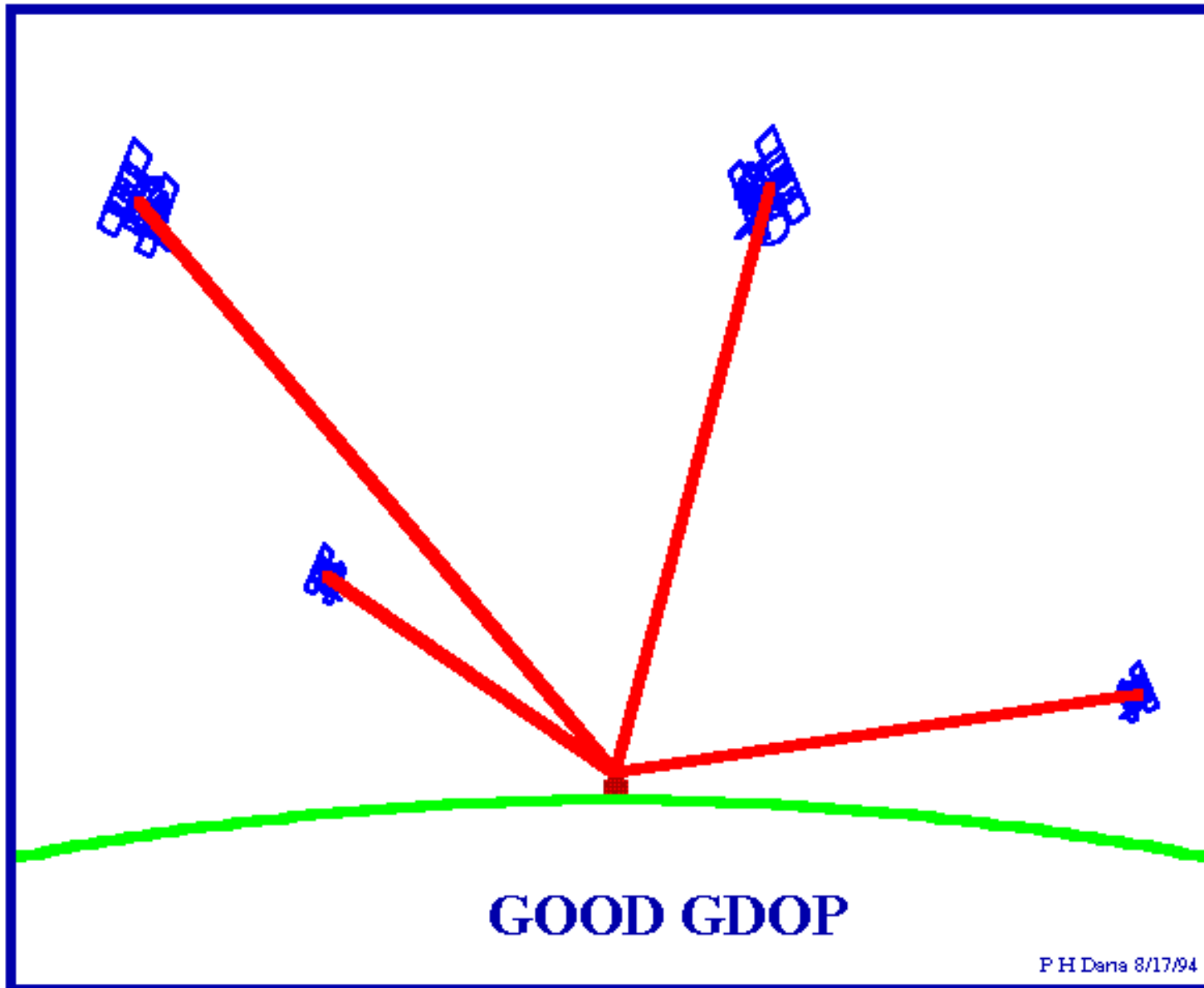
Geometric Dilution of Precision (GDOP)

and Visibility



Geometric Dilution of Precision (GDOP)

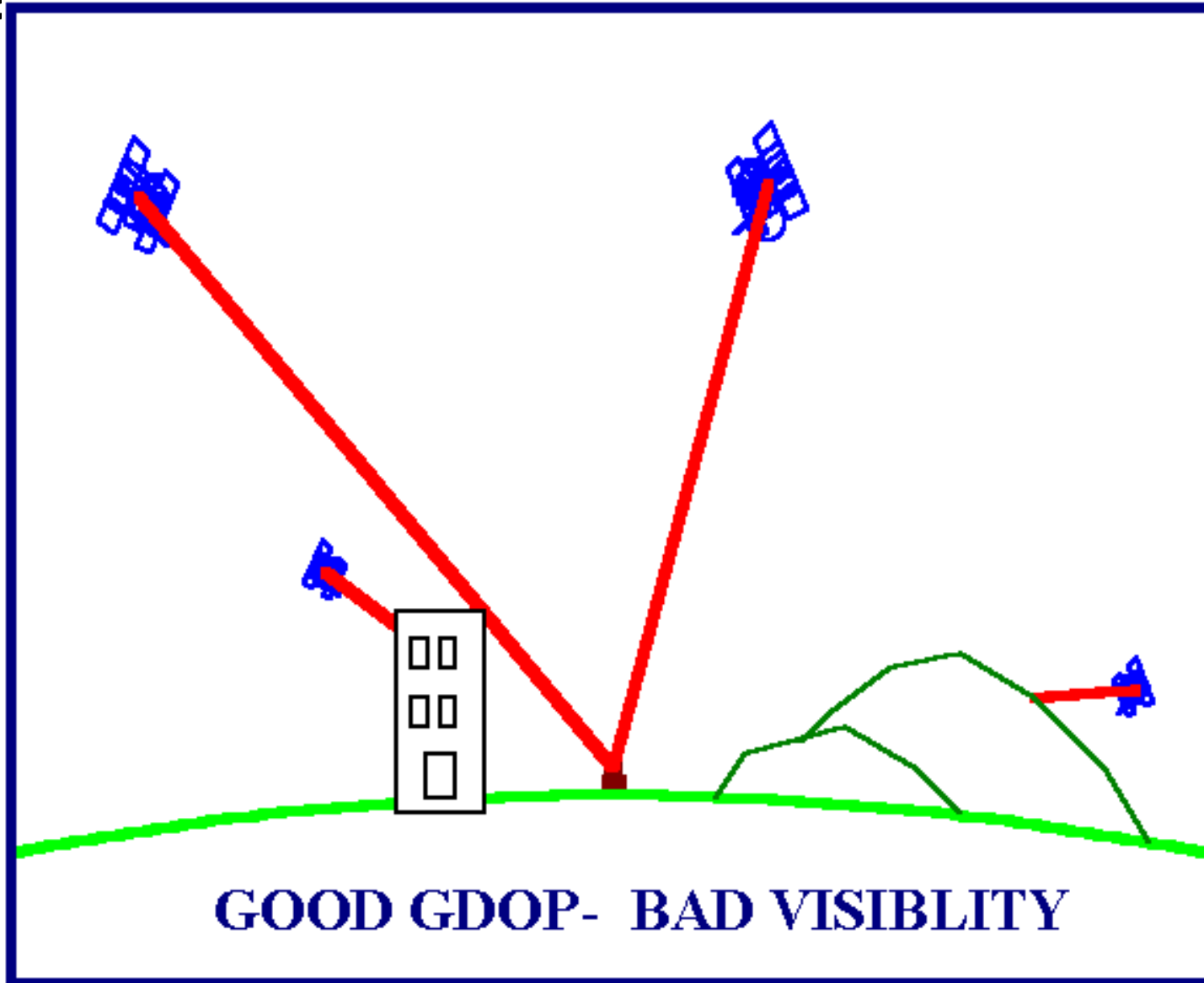
and Visibility



P H Dana 8/17/94

Geometric Dilution of Precision (GDOP)

and Visibility



Zdroje chyb

GPS ERROR SOURCES

ERROR SOURCE	TYPICAL RANGE ERROR	DGPS (CODE) RANGE ERROR <100 KM REF-REMOTE
SV CLOCK	1 M	
SV EPHEMERIS	1 M	
SELECTIVE AVAILABILITY	10 M	
TROPOSPHERE	1 M	
IONOSPHERE	10 M	
PSEUDO-RANGE NOISE	1 M	1 M
RECEIVER NOISE	1 M	1 M
MULTIPATH	0.5 M	0.5 M
RMS ERROR	15 M	1.6 M
ERROR * PDOP=4	60 M	6 M

PDOP=Position Dilution of Precision (3-D) 4.0 is typical

Differential GPS (DGPS) Techniques

- pohyblivý a referenční přijímač
- pozemní přijímač provádí korekce pseudo-ranges všech satelitů ve výhledu
- oba musí mít pochopitelně stejnou sadu satelitů (a GDOP)
- použitelné jako real-time (přenášeno vysíláním) nebo post-processing (standardizovaný formát Radio Technical Commission Marine (RTCM))
- existují agentury, které provádí časový záznam GPS korekce a prodávají to pro post-processing

Schéma DGPS

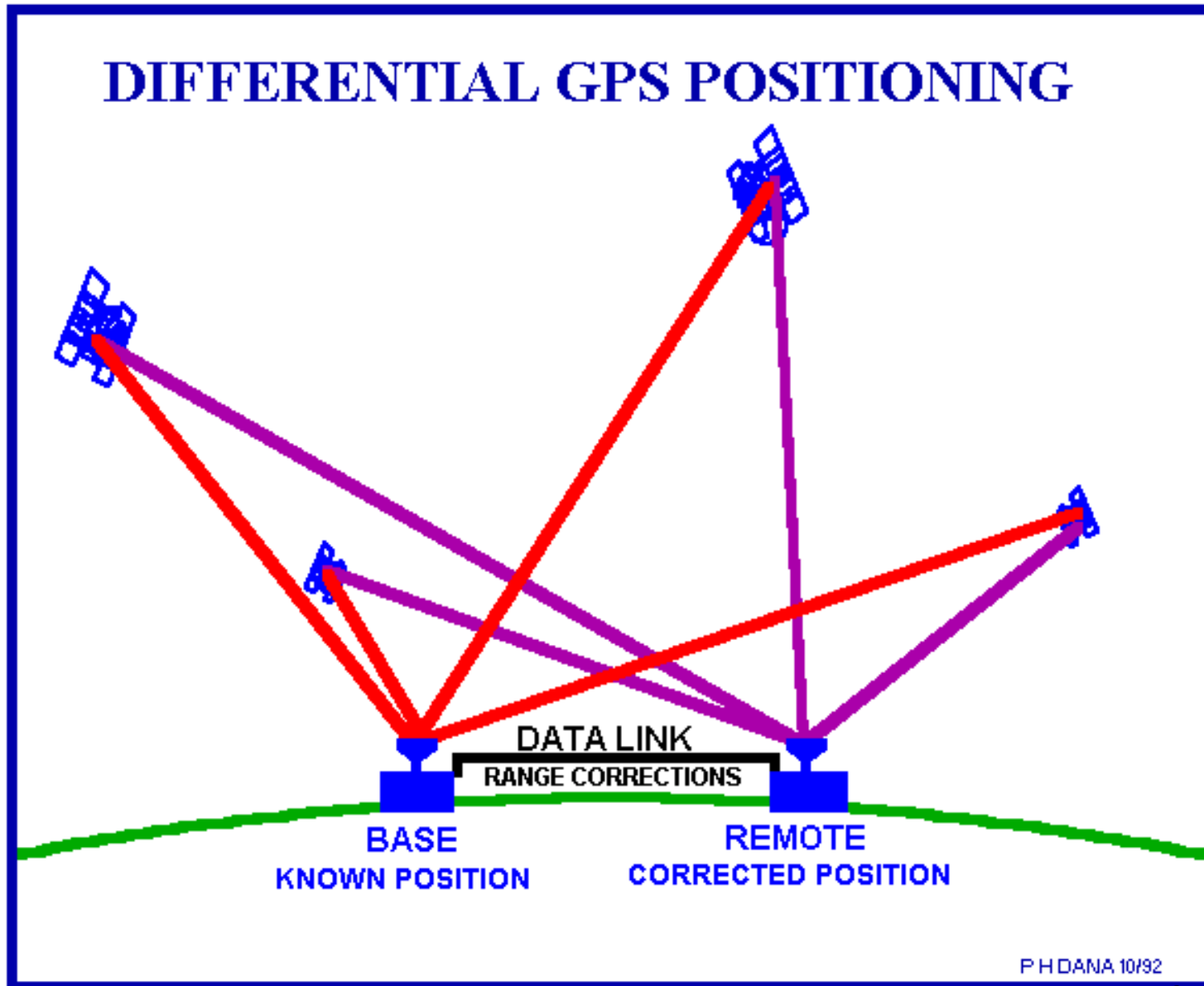
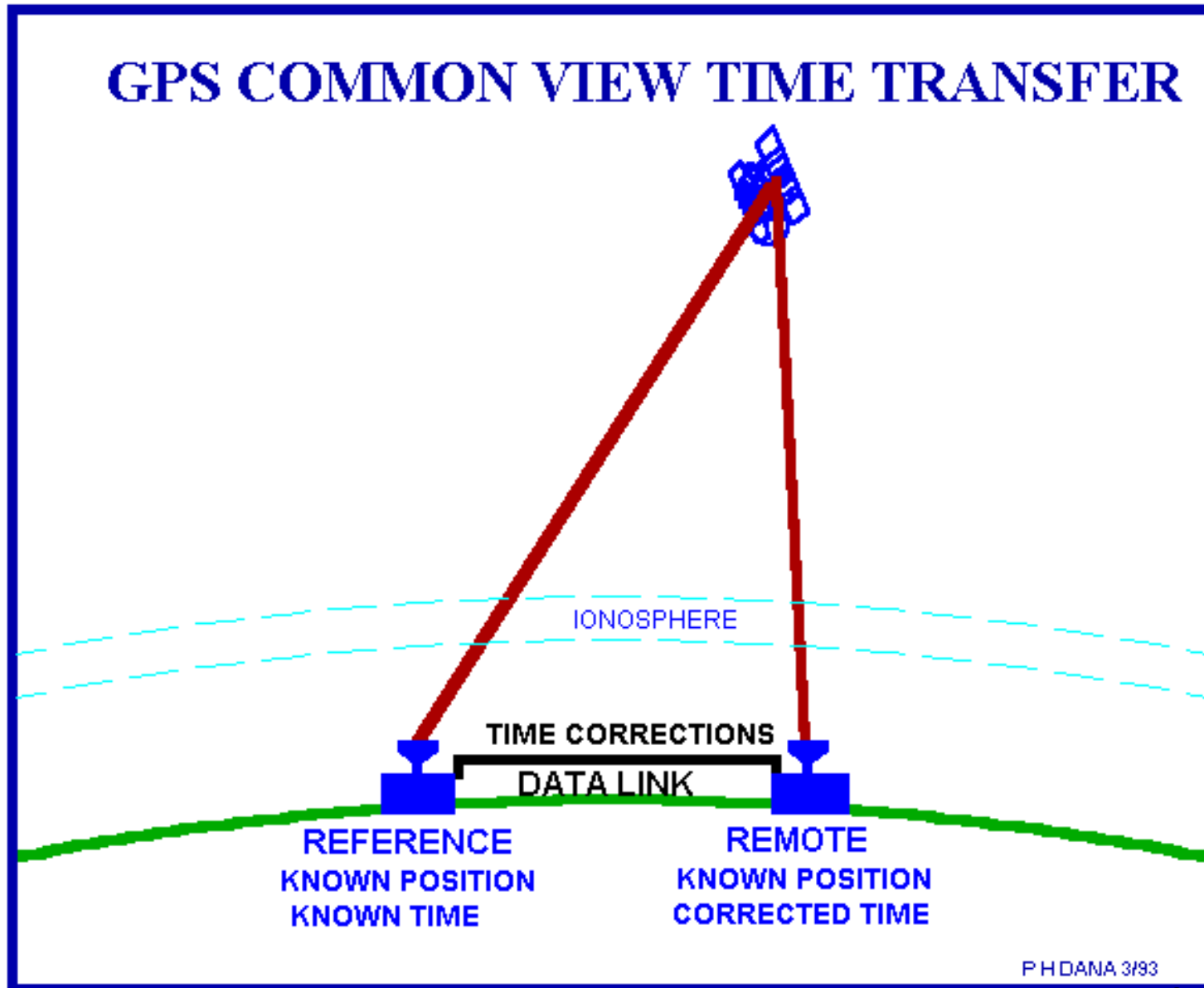


Schéma DGPS



Budoucnost GPS

- budou přidány další civilní a vojenské signály
- nový: L2C - CS (civil signal) - přesnější měření na dvou frekvencích
- L5 - nový signál na 1176.45 MHz (silnější, širší pásmo pro přenos dat)
- Trimble R-Track - firma, připravuje novou generaci 2freq. přijímačů využívajících L2C (lepší měření fáze, odstup šum-signál)

NMEA 0183

NMEA (National Marine Electronics Association) 0183 Standard

- Standard pro komunikaci s navičným zařízením (elektrický, protokolový)
- RS-232, 4800 baud, 8 bits, ? stop bits - parametry jsou dnes již vyšší
- komunikační "věty", formát::= "\$"item {"," item}<CR><LF>
- \$GPRMC,154232,A,2758.612,N,08210.515,
- W,085.4,084.4,230394,003.1,W*43<CR><LF>
- první dva znaky prvního datového pole - talker ID ("GP" - GPS)
- první pole: ttsss - tt (talker), sss (sentence) ID
- RMC = Minimum Navigation Information

NMEA 0183

RMC - Recommended Minimum Navigation Information

1	2	3	4	5	6	7	8	9

\$--RMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x.x,x.x,xxxx
x.x,a*hh<CR><LF>

Field Number:

1) UTC Time 2) Status, V = Navigation receiver warning

3) Latitude 4) N or S 5) Longitude 6) E or W

7) Speed over ground, knots 8) Track made good, degrees true

9) Date, ddmmyy 10) Magnetic Variation, degrees 11) E or W 12)

Checksum

Úrovně přesnosti

- 2D-fix - 3 satelity viditelné, lat-lon je "přesně"
- 3D-fix - 5 satelitů, výška (geoid)
- 3D-fix+differential - korekce

```
$GPGGA,152824,4859.9519,N,01205.7305,E,2,06,1.6,364.0  
$GPGSA,A,3,,03,11,15,21,,29,31,,,,,3.3,1.6,2.6*3C  
$GPGSV,2,1,08,02,08,329,,03,45,155,36,11,40,277,42,1  
$GPGSV,2,2,08,21,56,061,43,23,15,047,,29,35,103,37,3  
$GPRMC,152825,A,4859.9519,N,01205.7305,E,000.0,000.0  
$PGRMT,GPS 25-HVS VER 2.21 ,P,P,R,R,P,,28,R*05
```

GPGSA - aktivní satelity, (SV - viditelné)

Komunikace receiver-uživatel

ttsss (první pole)

- P - proprietary sentences
- Q - query
- \$CCGPQ,GGA<CR><LF>

Galileo

- evropský projekt, obdoba GPS
- Větší důraz na komerční financování.
- Bude někdy fungovat?

Glonass

- ruský projekt pro navigaci, začátek 80-tých let
- není komerčně příliš používán (opět původ v armádním použití)
- rozdílné frekvence pro každý satelit
- 19,100 km orbits, 11-hour, 15 minute period
- kolem roku 2008 má opět obživnout

Beidou (Peoples Republic of China)

北斗导航系统

- Compass (Beidou) - Čína. Stav k dubnu 07 - pět funkčních navigačních družic.
- Compass bude zřejmě globální. Beidou (souhvězdí Velký vůz).
- prý v roce 2008 bude zdarma poskytovat navigaci s přesností do 10 metrů
- postavena na !!! geostacionárních satelitech
- Beidou 1 je tedy v současné době funkční v oblasti vymezené těmito souřadnicemi: 70° až 140° východní délky a 5° až 55° severní šířky.
- Přijímač aktivně komunikuje s družicí !!! Výpočet nadmořské výšky je dán ze znalostí DEM

Ostatní

- Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS). Přesnost do 20 metrů na území Indie + 2000 km okolo. Veškeré technologie vyvinuty v Indii. 2006 započato
- QZSS - Quasi-Zenith Satellite System. Japon. Highly Elliptical Orbit. Komerční aplikace, DGPS, přenos dat.

CZEPOS

- aktivita ČÚZK
- síť pozemních stanic pro distribuci korekčního signálu pro globální polohování
- několik služeb, volitelná přesnost



CZEPOS

- Aplikace - geodézie, logistika, meteorologie, zpřesňování určování polohy
- Služby CZEPOS jsou zpoplatněny

CZEPOS - přesnost 10cm

- Distribuce DGPS signálu
- Korekce v reálném čase
- Stačí obyčejný GPS přijímač umožňující real-time DGPS vstup
- Korekční signál je šířen přes Internet (protokol NTRIP)

CZEPOS - přesnost 1cm

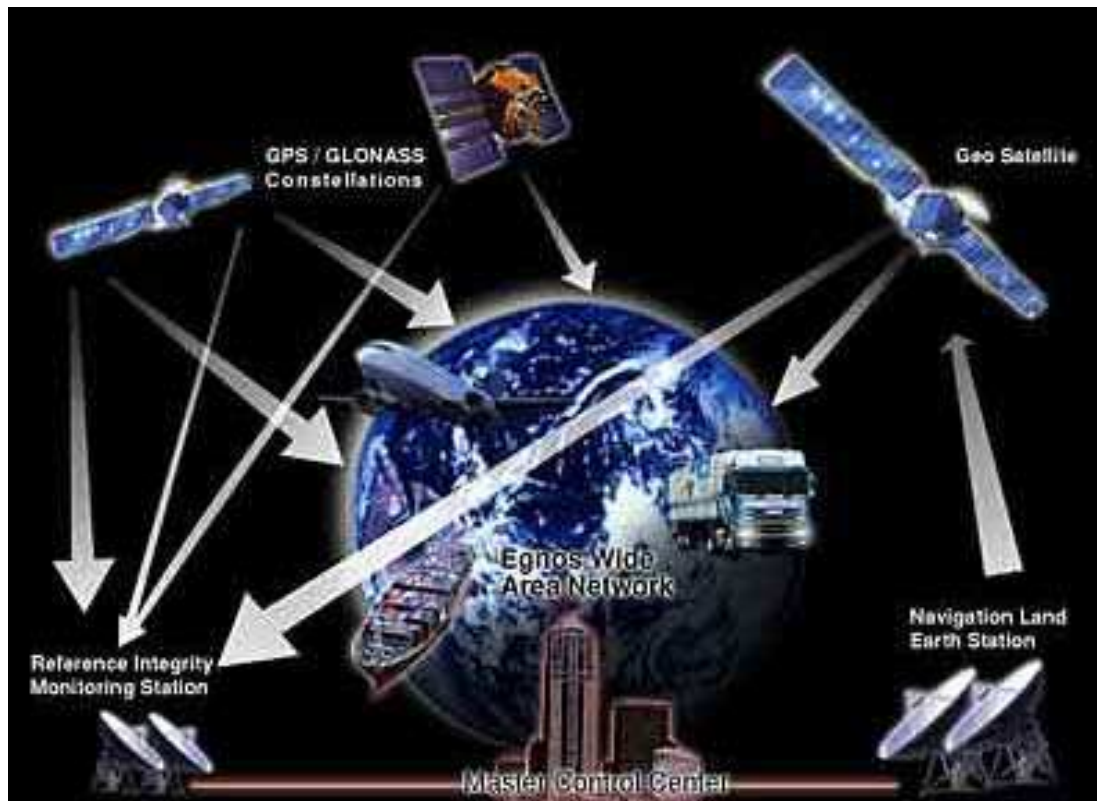
- Korekce v reálném čase. GPS přijímač vybaven RTK korekce (Real Time Kinematics)
- Služba RTK - potřebná je vzdálenost do desítek km od nějaké CZEPOS stanice
- Služba RTK - PRS (Pseudoreferenční stanice): Aparatura zašle do řídicího centra informaci o své pozici (NMEA zprávu), na základě které obdrží korekce z pseudoreferenční stanice. Jedná se o tzv. virtuální stanici umístěnou cca. 5km od pozice uživatele. Korekční data z této stanice jsou systémem vygenerována na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS.

CZEPOS - přesnost 1mm-1cm

- Postprocessingová korekce.
- Dvoufrekvenční GPS
- Po měření se obdrží data RINEX z centra CZEPOS a korigují se

WAAS/EGNOS

- European Geostationary Navigation Overlay Service (ESA, EC, European Organisation for the Safety of Air Navigation)
- 3 geostacionární satelity pro distribuci DGPS (nad Evropou)
- 2005 to začalo pracovat
- WAAS (podobně pro severní Ameriku)



GPSky

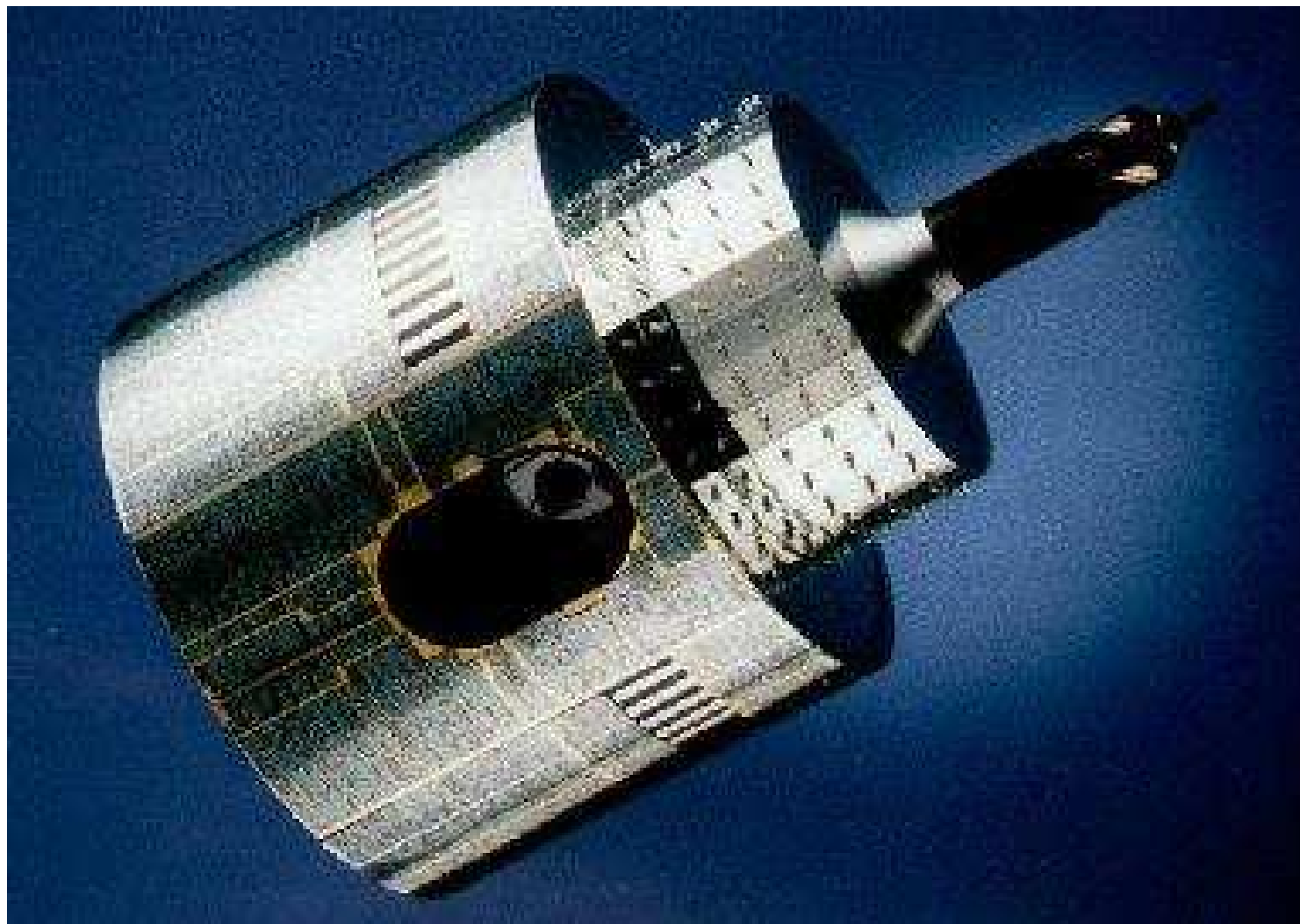
- Bluetooth gpsky
- Automobilové
- Outdoor
- Mapy



Satelitní družice pro meteorologii

- souvislost s GIS - informace vztažené k poloze, geografické projekce, rastrové a vektorové mapy
- časově proměnná informace, simulace procesů
- Meteosat 7
- pozemní, balónová měření (bodové informace). Satelitní snímky (velká oblast)
- informace: teploty moří (důležité pro předpovědi), vegetace, ohniska velkých požárů, stav sněhu a ledu, stav znečištění atmosféry, oblačnost
- první: TIROS-1 (Am.) - 1. duben 1960
- 7. prosinec 1966 - první geostacionární meteorologická družice
- 23. listopad 77 - Meteosat-1 (první evropská)

Meteosat



Družice

- operativní na nízkých polárních drahách
- operativní na geostacionárních drahách
- výzkumné (R&D) družice - specifická měření (jejich význam roste)
- EUMETSAT - evropská společnost pro řízení Meteosat (v Darmstadtu)

Geostacionární dráhy:

- dráha, po které družice obletí Zemi za 24h (výška asi 42 168 km) - geosynchronní
- nulový sklon k povrchu Země (rovina rovníku s dráhou jsou totožné) - geostacionární dráha (objekt jakoby visí na jednom místě), výška 35 790 km
- A. C. Clarke - nápad využít družic pro monitorování povrchu a komunikaci
- význam - nepřetržité monitorování daného území (jinak se

Meteosat

- umístěna nad souřadnicí 0,0 lat-lon (Guinejský záliv) - družice vidí Afriku, skoro celou Evropu, Atlantský a Indický oceán (západ) a část Jižní Ameriky
- tvar: několik vnořených válců (2.1m průměr největšího), 3.2m délka, 700kg
- kolem své osy kolmé na rovník rotuje 100 ot./min
- systém zrcadel postupně snímá celý pás (viditelné) Země (od J na S) - trvá to 25 minut (+5 minut na návrat do poč. polohy) - 2 snímky/hod (v x:00 a x:30)

Pásma:

- VIS (visible)
- IR (infrared)
- WV (water vapor(pára)) - pásmo absorpce vodní párou

NOAA AVHRR – Další DPZ v meteorologii

- NOAA AVHRR - National Oceanic and Atmospheric Administration, Advanced Very High Resolution Radiometer
- 6 kanálů - kombinuje se viditelné spektrum a teplotní spektrum
- polární orbita, přelet cca 1 hod
- snímky povrchu, vegetace, prašnosti, oblačnosti

Meteorologické radary

- Aktuální stav oblačnosti nad územím ČR (dva radary). Snímek jako MMS.
- Horizontální a vertikální údaj o rozmístění oblačnosti – je možno pozorovat konvektivní oblačnost.
- detekce blesků
- CERAD - Central European Weather Radar Network

Meteorologické radary

