Zajímavé efekty v blízkém okolí Země
GPS

Prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.
Ústav radioelektroniky
FEKT VUT v Brně
SE7.108
E-mail: kasal@feec.vutbr.cz
http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/

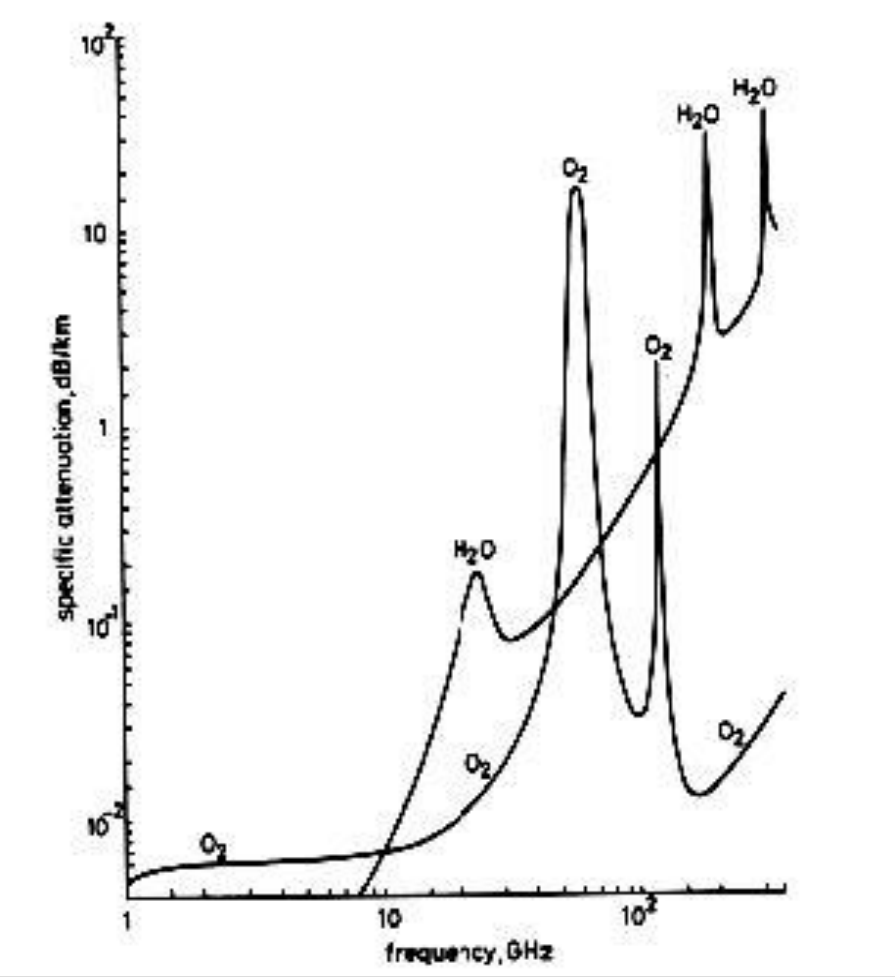
http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/files/Othact/U3V/5pr.pdf

ÚVOD

Energetický návrh družicových spojů se provádí velmi přesně. Je tomu tak především proto, že to lze, neboť i při velmi vysokých útlumech daných vzdáleností, je možné poměrně přesně definovat všechny potřebné parametry, zvláště při větší elevaci pozemské antény. Chyba se navíc vždy značně prodraží. Je-li spoj předimenzován, je zbytečně „velká“ družice, v opačném případě jsou větší náklady na pozemský segment.

BLÍZKÉ OKOLÍ ZEMĚ

Troposféra



Především molekuly kyslíku a vodní páry zvyšují na určitých frekvencích útlum natolik, že se nedají využít ani pro terestrickou komunikaci. I satelitní spoje proto pracují ve frekvenčních oknech.

Atmosféra se však může projevit u dowlinku ještě zvýšením ekvivalentní šumové teploty přijímacího pozemského systému.

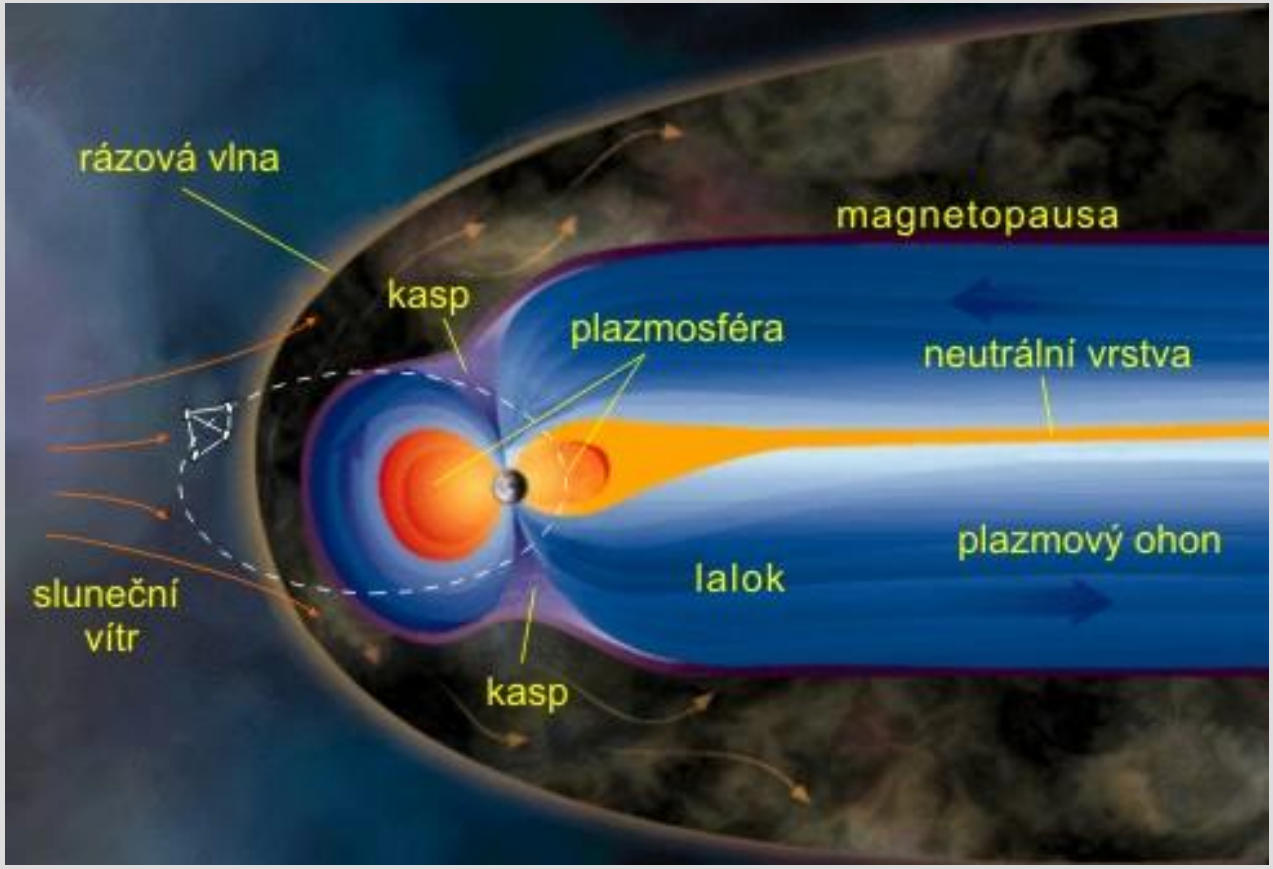
Ionosféra

Je oblast horních vrstev atmosféry, která je částečně ionizována (plazma). Ultrafialové a korpuskulární záření Slunce ionizuje v ionosféře atomy a molekuly. Stupeň ionizace kolísá s denní dobou, ročním obdobím, geografickou polohou a fází slunečního cyklu. Ionosféra se dělí na několik vrstev D (60-90 km), E(90-150 km) a F (150-800 km).

Je nabita kladně a má náboj cca 10^6 C, naproti tomu zemský povrch má přibližně stejný náboj opačné polarity. Napětí mezi povrchem a ionosférou se pohybuje okolo 360 kV a teče jí za jasného dne proud cca 1 800 A.

I na vyšší frekvence, kde je již refrakce méně významná má ionizované prostředí vliv.

Magnetosféra

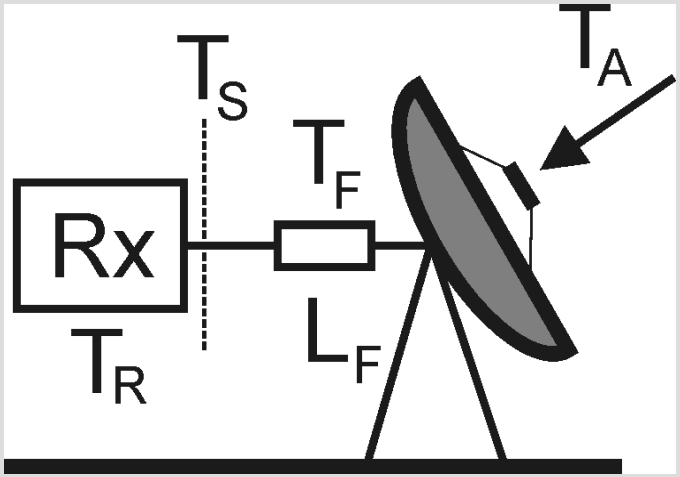


Dipólové magnetické pole je vytvářeno v jádru Země elektrickými proudy o hodnotě řádu 10^9 A.

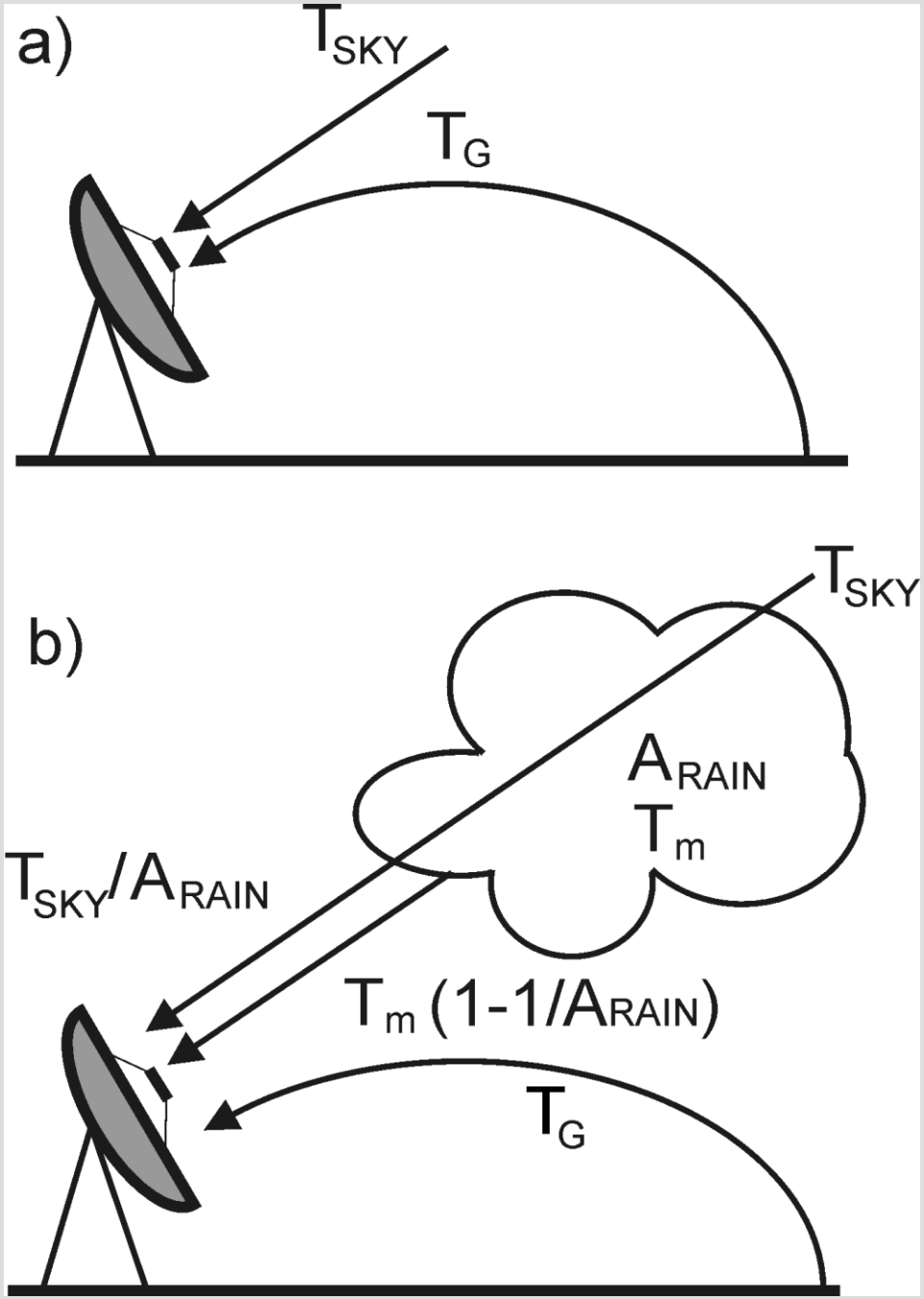
Elektromagnetické vlny družicového spoje jsou ovlivňovány složkou magnetického pole rovnoběžnou se směrem jejich šíření.

VLIV DEŠŤOVÉHO MRAKU NA KOMUNIKACI S DRUŽICEMI

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = (EIRP)_{SL} - L_D + \left(\frac{G_{R\max}}{T_S}\right)_{ES} + 228{,}6$$



$$T_S = \frac{T_A}{L_F} + T_F\left(1 - \frac{1}{L_F}\right) + T_R$$



Při jasné obloze

$$T_A = T_{SKY} + T_G$$

Za deště

$$T_{A-R} = \frac{T_{SKY}}{A_{RAIN}} + T_m\left(1 - \frac{1}{A_{RAIN}}\right) + T_G$$

VSAT v pásmu 12 GHz

Pro elevaci přijímací antény 20º jsou reálné hodnoty

$$T_{SKY} = 12\,\mathrm{K} \qquad T_G = 40\,\mathrm{K}$$

Při jasné obloze lze tedy očekávat šumovou teplotu antény

$$T_A = 52\,\mathrm{K}$$

Dešťový mrak

$$A_{RAIN} = 7\,\mathrm{dB} \qquad T_m = 275\,\mathrm{K}$$

$$T_{A-R} = 263\,\mathrm{K}$$

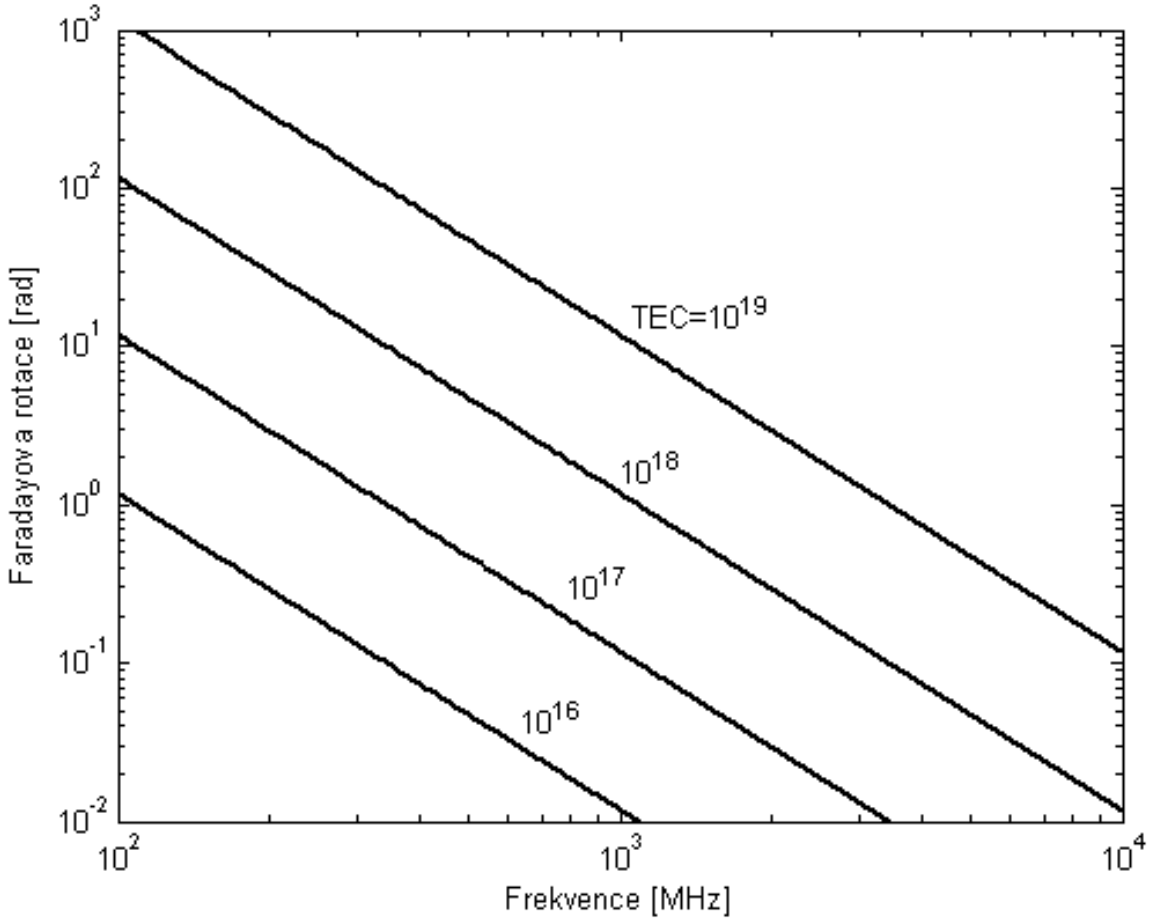
Při $L_F \to 1$ $\quad T_{S-R}/T_S = 1{,}95 \quad (2{,}9\,\mathrm{dB})$

$$T_R = 170\,\mathrm{K}$$

EFEKTY v IONOSFÉŘE

Faradayova rotace

$$\Phi = \frac{2{,}36.10^4}{f^2} \int NB \cos\theta_B dl$$



$$TEC = \int N dl$$



Ranging

Frekvenčně závislá délka průchodu ionosférou může signál zkreslit proměnným skupinovým zpožděním. Zvláště závažně se tento jev může projevit u družicových navigačních systémů a při družicovém „rangingu“. V závislosti na koncentraci nabitých částic se rozdíl drah může odhadnout vztahem

$$\Delta R = \frac{40{,}3}{f^2} TEC$$

Pro $TEC = 10^{17}$ a $f = 1{,}27\,\mathrm{GHz} \Rightarrow \Delta R = 2{,}5\,\mathrm{m}$

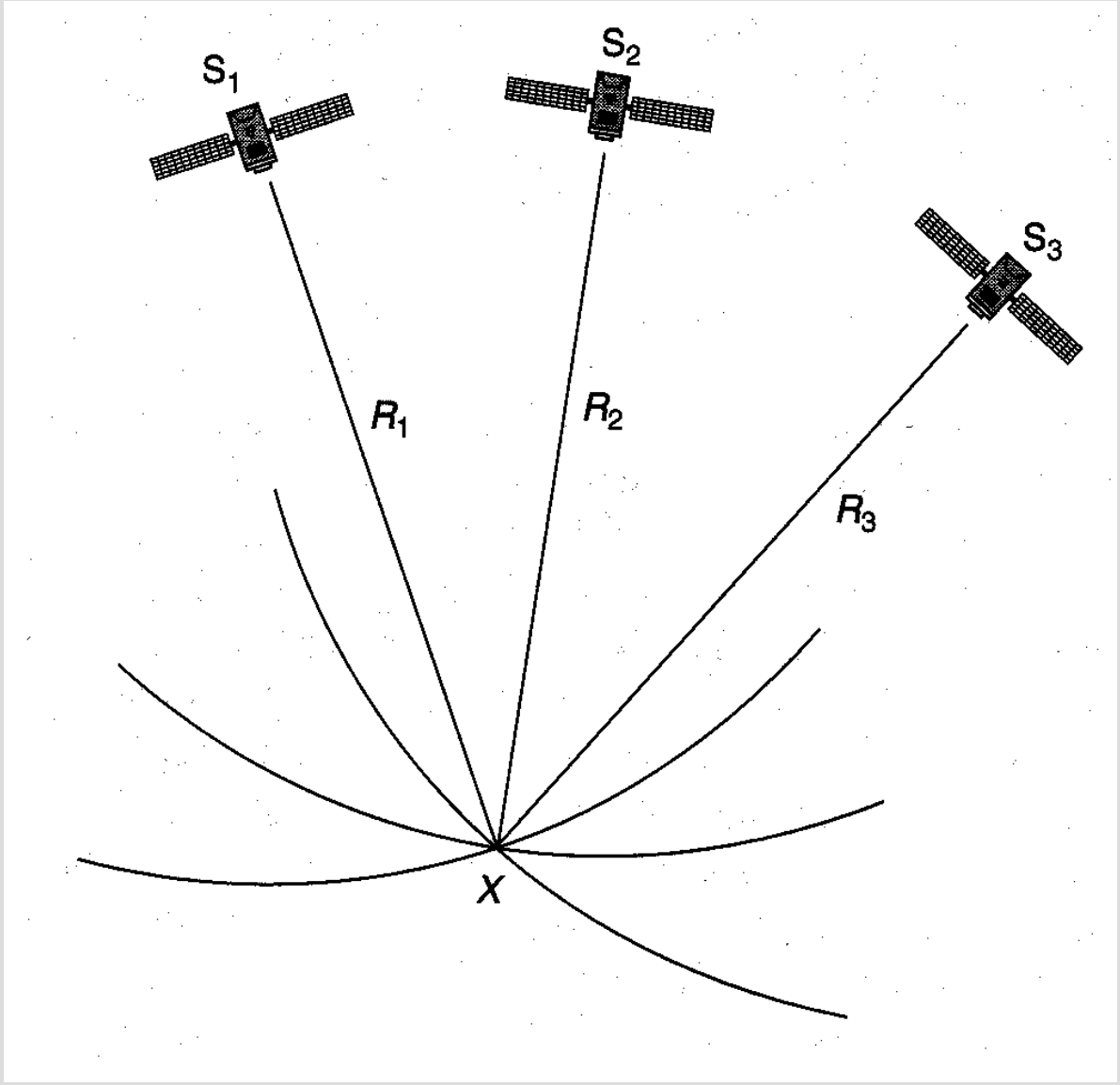
Odpovídající hodnoty pro koncentrace 10^{16} a 10^{18} jsou potom 0,25 m a 25 m, tedy hodnoty, které mohou měřené navigační parametry zcela jistě ovlivnit.

ZÁVĚR

V souvislosti s uvedeným tématem bychom mohli uvést celou řadu dalších efektů a jejich důsledků uplatňujících se při družicové komunikaci. U všech jsou patrné závislosti na frekvenci a přirozeně také na fyzikálních parametrech prostředí. Jeho *anisotropie, nehomogenita* a *časová proměnnost* činí odpovídající modely velmi komplexními a proto se často musíme smířit pouze s odhady a empirickými relacemi. Nicméně výzkum v tomto oboru pokračuje a řada projektů uskutečněných v minulosti i současnosti poskytuje nová experimentální data, která se dříve nebo později promítnou do přesnějších výpočtů a odhadů.

Družicové navigační systémy

Satelitní navigační systémy, obecně označované jako GNSS (Global Navigation Satellite System), způsobily v devadesátých letech revoluci v navigaci a lokalizaci. Dnes jsou jedním z nejčastěji využívaným družicovým systémem. Nejznámější je americký systém GPS-NAVSTAR. Rusové mají podobný systém GLONASS a evropské státy připravují systém GALILEO. Existují i další systémy jako je LORAN (LOng RAnge Navigation).


S_1
S_2
S_3
R_1
R_2
R_3
X

NAVSTAR

Kosmický segment tvoří 24 družic na kruhových drahách MEO s nominální výškou 20 200 km a inklinací 55º. Doba oběhu je 11 hod 58 min (polovina hvězdného dne). Družice obíhají Zemi po čtyřech v šesti rovinách vzájemně posunutých o 60º zeměpisné délky. Tím je zajištěno, že téměř v každém okamžiku jsou v každém místě zemského povrchu v dosahu nejméně čtyři družice. Družice mají hmotnost 1877 kg a jsou konstruovány pro životnost 10 let. Postupně jsou vyměňovány tak, aby byl systém stále plně funkční. Obvykle jich je aktivních více než 24, přičemž některé slouží jako rezerva. GPS je řízen střediskem MCS (Master Control Station - U.S. Air Force) ze základny Falcon v Coloradu Springs.

Spolu s dalšími čtyřmi monitorovacími stanicemi, které jsou umístěny v Atlantickém, Indickém a Tichém oceánu, jsou měřeny orbitální parametry a počítány efemeridy jednotlivých družic, stanoveny chyby atomových hodin a další parametry. Měření jsou prováděna po 1,5 s a jsou použita k aktualizaci palubních dat a následně k vyslání navigačních zpráv k uživatelům.

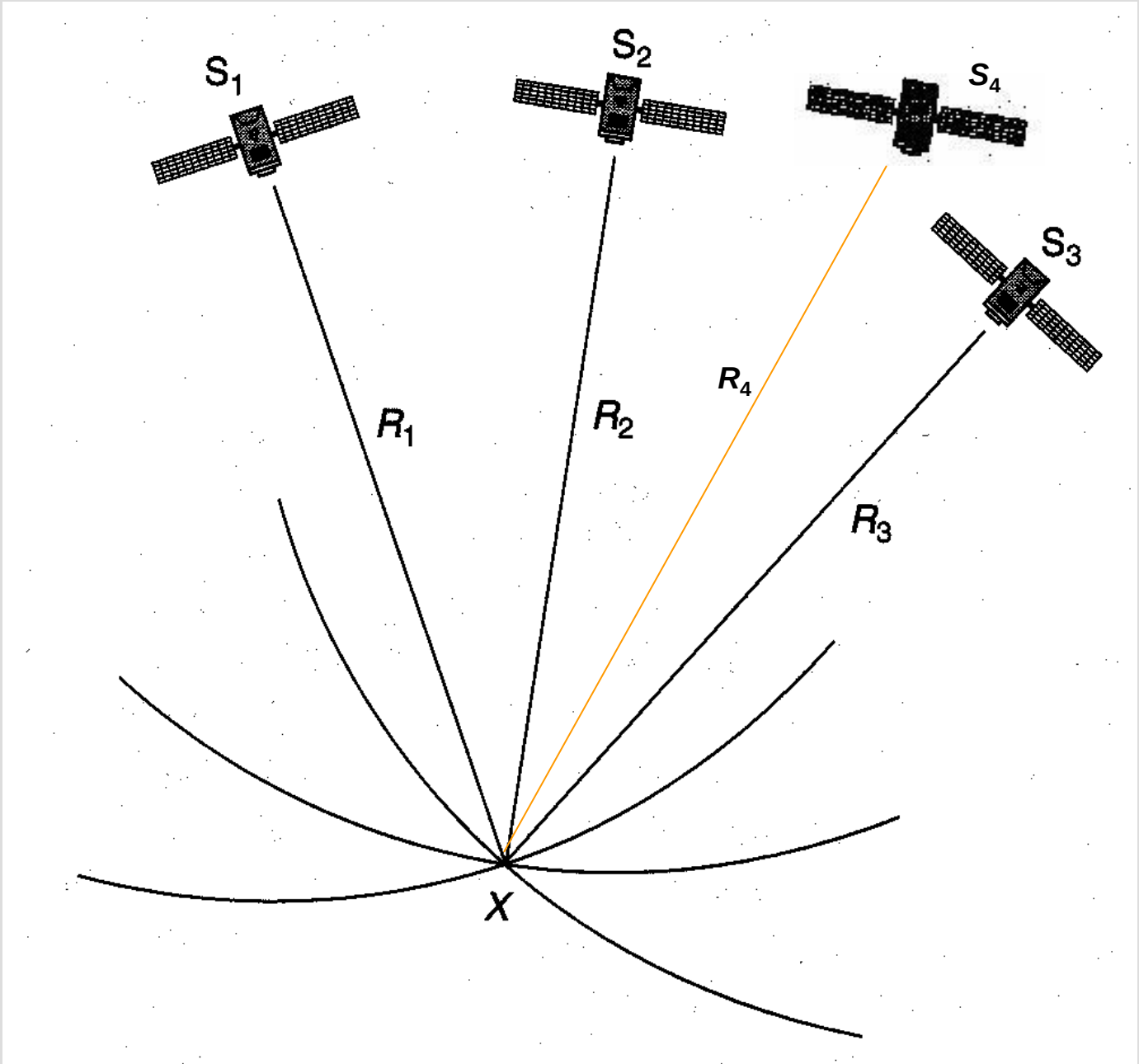
Vlastní měření polohy je prováděno trilaterací. V podstatě je měřena vzdálenost neznámého bodu (přijímače) od třech známých bodů v prostoru (družice). Neznámý bod v prostoru se nachází v průsečíku odpovídajících kružnic (geometrického místa s danou vzdáleností od družice). Tato tři měření tedy umožňují řešit tři rovnice pro určení tří geocentrických souřadnic – zeměpisné délky, šířky a výšky měřeného bodu.

Vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem lze určit měřením času potřebného pro přenos impulsního signálu mezi nimi. Vzdálenost je vypočtena z rychlosti šíření elektromagnetické vlny ve volném prostoru $\boldsymbol{c}$ = 299,792458 km.s-1. Elektronické měření časového intervalu patří mezi nejpřesnější měření fyzikální veličiny. S použitím atomových hodin lze potom vzdálenost 20 tisíc kilometrů změřit s přesností 1 m, přičemž přesnost měření časového intervalu musí být lepší než 3 ns.

Každá družice nese vysoce přesné atomové hodiny a začátek vysílané binární sekvence je časově přesně určen. Hodinový signál přijímače je synchronizován ke všem satelitům které přijímá a měří časový rozdíl přicházejících bitových sekvencí a přepočítává je na vzdálenosti jednotlivých družic. Jsou-li změřeny vzdálenosti od tří družic je třeba znát ještě jejich přesnou polohu.

Protože časový okamžik měření je přijímači přesně znám, mohou být polohy družic vypočteny přijímačem z efemerid, které jsou každým satelitem vysílány v informační zprávě.

Pro dosažení potřebné přesnosti je však třeba přijímat signály čtyř družic, neboť v případě tří družic není přesnost hodinového signálu v přijímači dostatečná. Při měření čtyř vzdáleností je získána důležitá informace pro korekci hodinového signálu v přijímači a tím je dosaženo přesnosti lepší než 100 ns.


S1
S2
S4
S3
R1
R2
R4
R3
X

GPS lokalizace

Souřadný systém používaný GPS je pravoúhlý systém souřadnic s počátkem ve středu Země (geocentrický souřadný systém - ECEF). Pro tvar Země je použit model WGS-84. Osa ***z*** míří ze středu Země k severnímu pólu a osy ***x*** a ***y*** leží v rovině rovníku (osa ***x*** protíná nultý poledník a osa ***y*** je ve směru 90o východní délky). Souřadný systém se tedy otáčí souhlasně s otáčením Země. Zavedeme následující souřadnice přijímače (U_x, U_y, U_z) a souřadnice družic (X_i, Y_i, Z_i) kde i = 1, 2, 3, 4. Bude-li měření vycházet z interních hodin přijímače, které jsou vůči hodinám GPS zatíženy chybou (offsetem) τ, budeme změřenou pseudovzdálenost k družicí i označovat PR_i

$$PR_i = T_i \cdot c \qquad \text{[m; s, m.s-1]}$$

kde T_i je zpoždění signálu dané šířením elmag. vlny. Vzdálenost dvou bodů ***A*** a ***B*** v soustavě pravoúhlých souřadnic je dána výrazem

$$R^2 = (x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2 \qquad [\mathrm{m}]$$

$$(X_1 - U_x)^2 + (Y_1 - U_y)^2 + (Z_1 - U_z)^2 = (PR_1 - \tau \cdot c)^2$$

$$(X_2 - U_x)^2 + (Y_2 - U_y)^2 + (Z_2 - U_z)^2 = (PR_2 - \tau \cdot c)^2 \qquad [\mathrm{m; m, s, m.s^{-1}}]$$

$$(X_3 - U_x)^2 + (Y_3 - U_y)^2 + (Z_3 - U_z)^2 = (PR_3 - \tau \cdot c)^2$$

$$(X_4 - U_x)^2 + (Y_4 - U_y)^2 + (Z_4 - U_z)^2 = (PR_4 - \tau \cdot c)^2$$

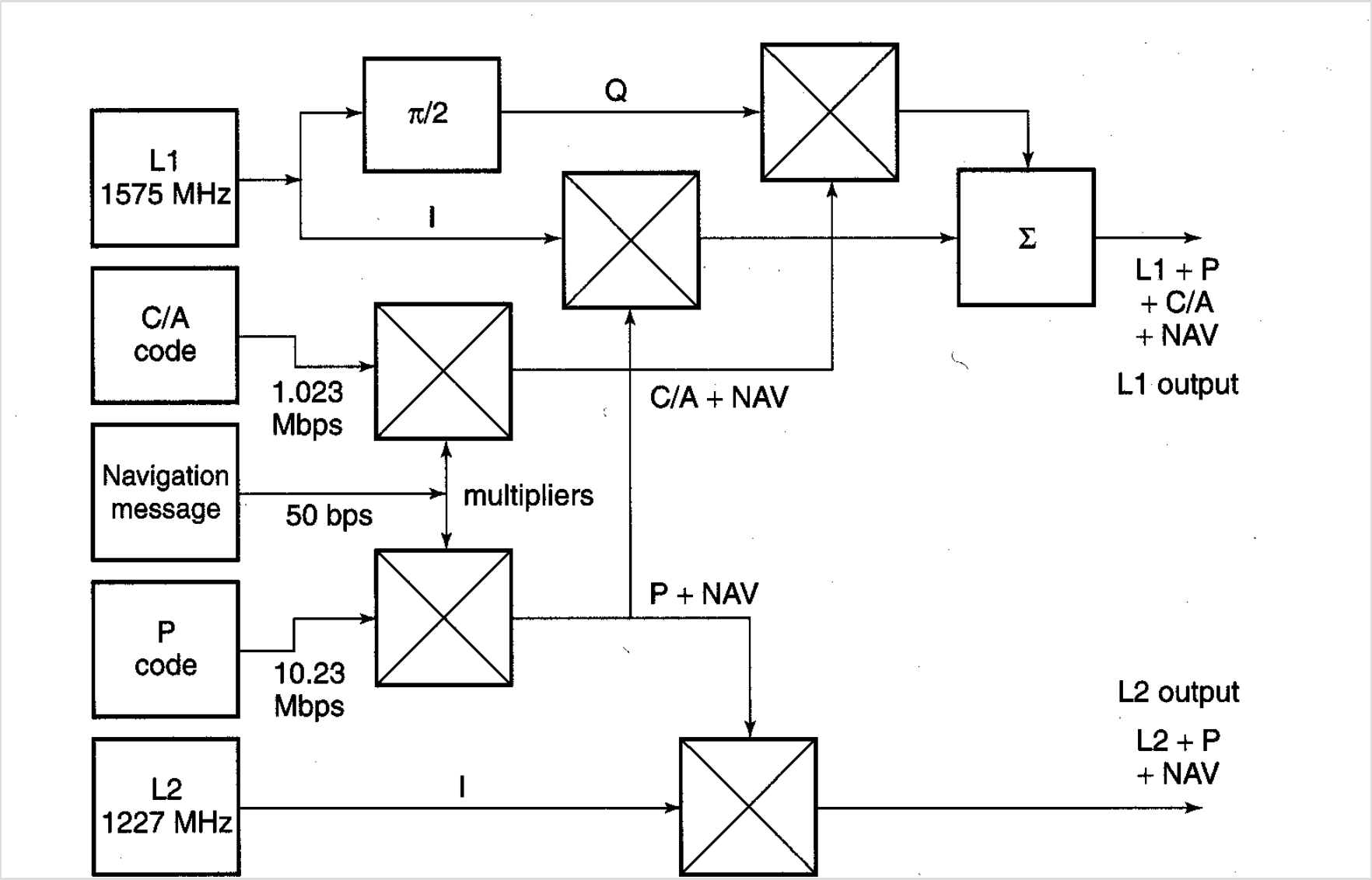
Přijímač řeší tyto rovnice pro čtyři neznámé (U_x, U_y,, U_z a τ) pomocí standardních numerických metod pro nelineární rovnice. Z výše uvedeného je patrné, proč musí být k dispozici čtyři družice. Získání časové korekce τ dovoluje využít GPS také jako zdroj přesného kmitočtu. Typická nepřesnost při užití pouze základního ***C/A*** *kódu* je 30 m a označuje se jako *chyba* 2DRMS (2 Distance Root Mean Square error – vychází z Gaussovského rozložení chyb a odpovídá 95% pravděpodobnosti).

GPS komunikace

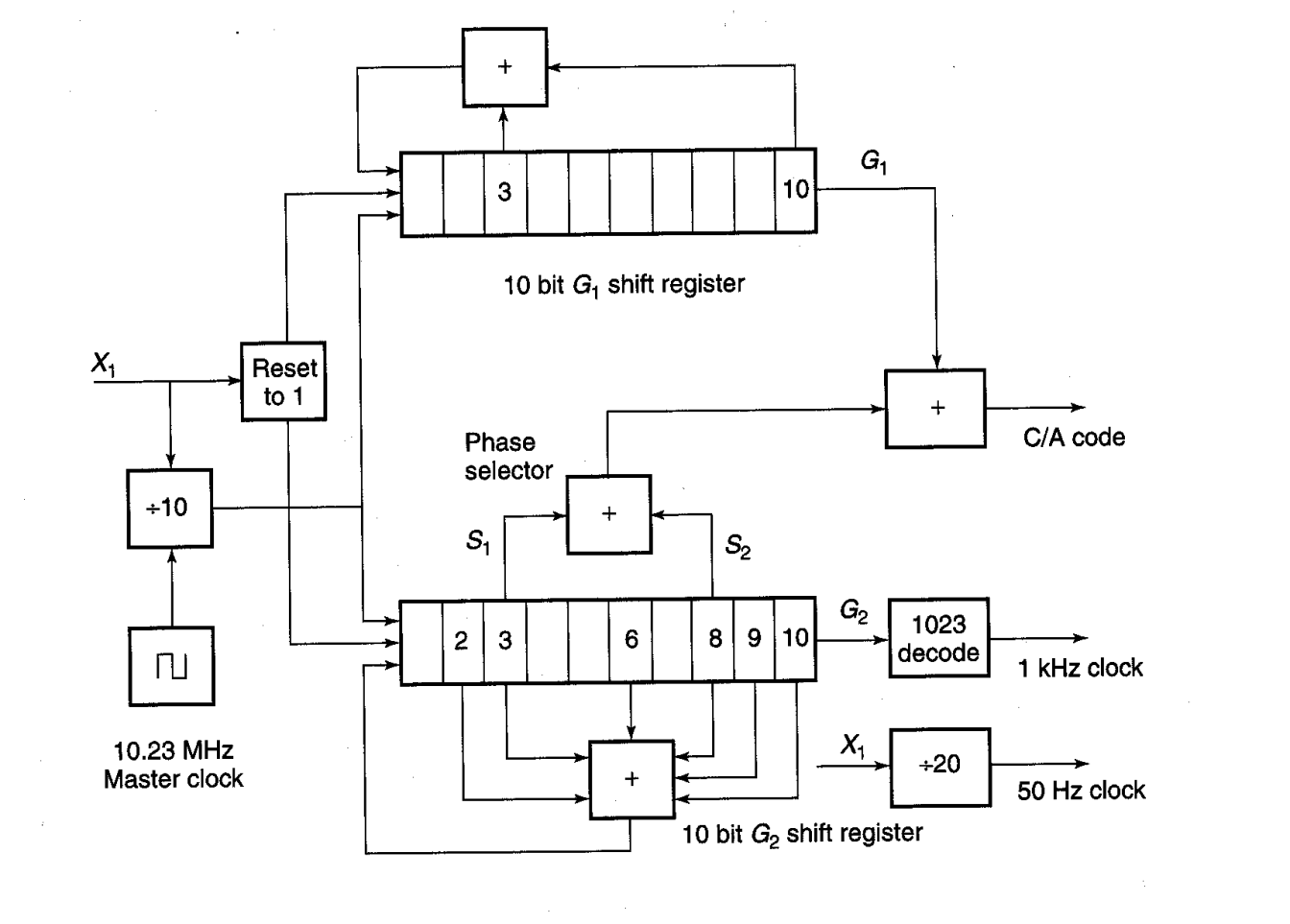
Komunikace s družicemi GPS je jednosměrná. Družice vysílají dva signály na dvou různých frekvencích ***L1*** = 1575,42 MHz a ***L2*** = 1227,60 MHz. Signál ***L2*** (120. násobek hodinové frekvence 10,23 MHz) je modulován pseudonáhodnou sekvencí 10,23 Mb.s-1, která je nazývána ***P*** *kód* a je používána pro vojenskou navigaci. Je vysílána v zašifrovaném tvaru označovaném ***Y*** *kód*, aby jej mohli používat pouze autorizovaní uživatelé.

Nosná vlna s frekvencí ***L1***, která je 154. násobkem hodinové frekvence 10,23 MHz, je modulována v kvadratuře (Q) BPSK pseudonáhodnou sekvencí o délce 1023 bitů rychlostí 1,023 Mb.s-1. Tato sekvence je tudíž vyslána přesně za 1 ms a nazývá se ***C/A*** *kódem*, který je určen pro veřejné použití.

Ve skutečnosti je hodinová frekvence o 0,005 Hz nižší než je uvedeno, aby byl vyloučen relativistický efekt, neboť družice se pohybují rychlostí 3,865 $km.s^{-1}$, což již nelze zanedbat. Ve fázi (I) je nosná ***L1*** také modulována BPSK ***P*** *kódem*. ***C/A*** *kód* umožňuje hrubá měření a ***P*** *kód* s vyšší bitovou rychlostí měření přesná. Generace signálů v družici GPS je znázorněna na obrázku. Signály všech družic GPS jsou vysílány na stejných frekvencích a tudíž se překrývají. Modulace sekvencemi ***C/A*** a ***P*** způsobují rozprostření spektra, takže se jedná o DS-CDMA. Přijímač rozliší signály jednotlivých družic na základě znalosti ***C/A*** *kódu* jednotlivých satelitů. Až 12 družic současně může být pozorováno z jednoho stanoviště, takže kódovací zisk přijímače GPS (pracujícího s rozprostřeným spektrem) musí být dostatečný pro potlačení interference 11-ti, v daném okamžiku nežádoucích, signálů.


L1
1575 MHz
π/2
Q
I
Σ
L1 + P
+ C/A
+ NAV
L1 output
C/A
code
1.023
Mbps
C/A + NAV
Navigation
message
50 bps
multipliers
P + NAV
P
code
10.23
Mbps
L2 output
L2 + P
+ NAV
L2
1227 MHz
I

C/A** kódy* vysílané družicemi GPS patří do kategorie *Gold kódů*. Jsou vytvořeny vynásobením dvou 1023 bitových sekvencí ***G1 a ***G2*** s různým časovým posuvem. Sekvence ***G1*** a ***G2*** jsou generovány v 10-ti bitových posuvných registrech



C/A *kód* pro danou družici je vytvořen algoritmem který obsahuje identifikační číslo družice GPS a proto je pro každou družici jedinečný. Je-li identifikační znak družice ***i*** je ***C/A*** *kód* dán sekvencí $\boldsymbol{C_i}(t)$

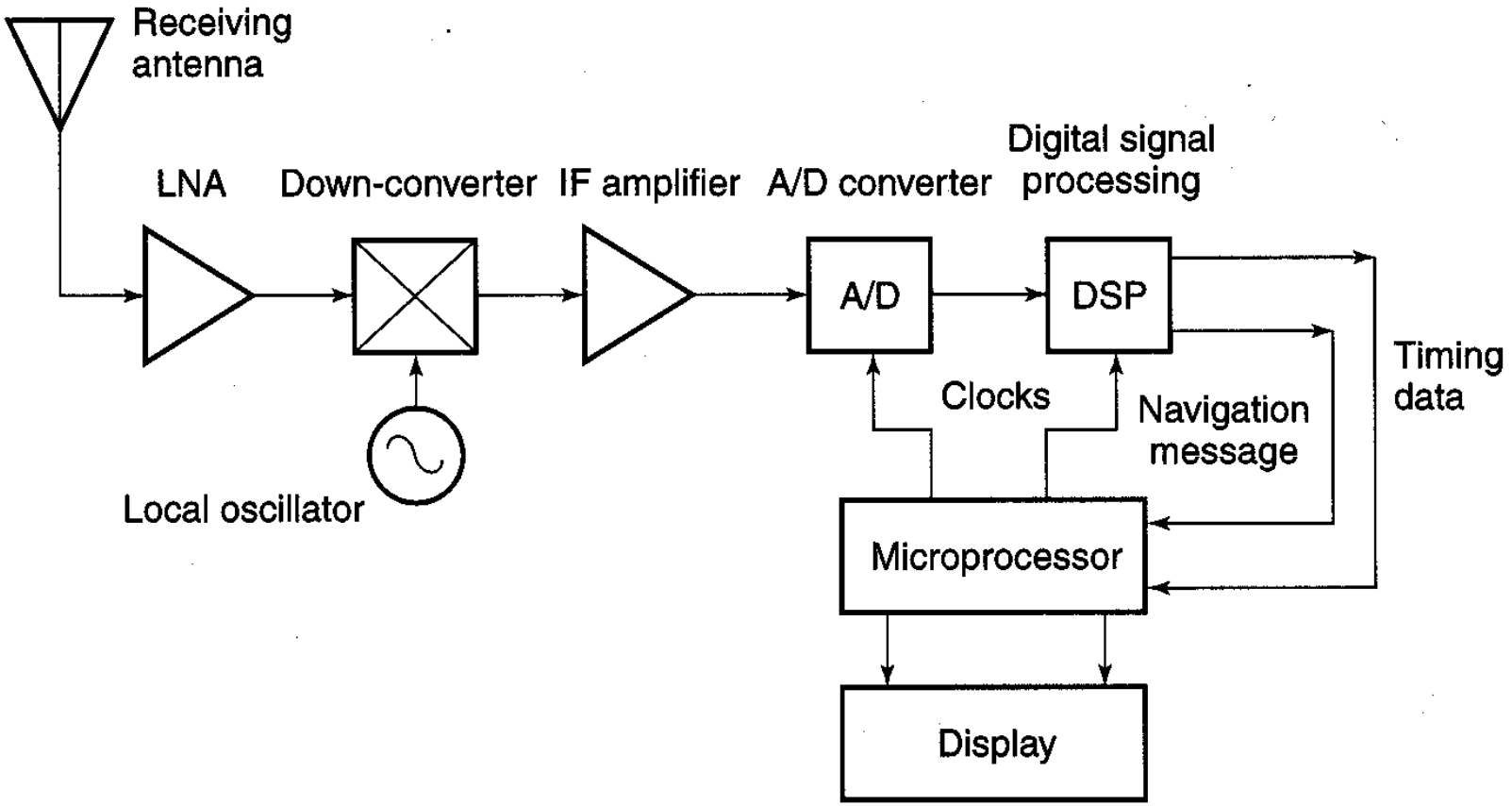
$$C_i(t) = G1(t) \times G2(t + 10iT_c)$$

kde $\boldsymbol{T_c}$ je perioda hodin pro ***C/A*** *kód.*

Pomocí tohoto algoritmu je možné vytvořit 100 *Gold* sekvencí. Ne všechny však mají dostatečně nízkou vzájemnou korelaci pro DS-CDMA přístup. Uvádí se, že jenom 37 jich je v současnosti použitých.

Při délce sekvence ***C/A*** *kódu* 1 ms je nejednoznačnost určení vzdálenosti od družice 300 km. Pokud se nachází přijímač při povrchu Země je tím vlastně známa dodatečná informace umožňující řešit tuto nejednoznačnost. Naopak, je-li přijímač v kosmu je nutné polohu s přesností lepší než 300 km zjistit jiným způsobem.

Zjednodušené blokové schéma přijímače GPS pro detekci ***C/A*** *kódu* je na obrázku. Anténa je obvykle kruhově polarizována typu ‚patch' nebo čtyřchodá šroubovice. Vstupní LNA bývá umístěn bezprostředně u ní, v jednom konstrukčním celku. Šířka pásma mezifrekvenčního zesilovače je okolo 2 MHz, následuje digitální kvadraturní detektor s výstupy ***I*** a ***Q***. Digitální část přijímače zahrnuje generátor ***C/A*** *kódu*, korelátor a mikropočítač provádějící časová měření a výpočet souřadnic. Integrované 12-ti kanálové přijímače této kategorie jsou již velmi levné.


Receiving antenna
LNA
Down-converter
IF amplifier
A/D converter
Digital signal processing
A/D
DSP
Timing data
Clocks
Navigation message
Local oscillator
Microprocessor
Display

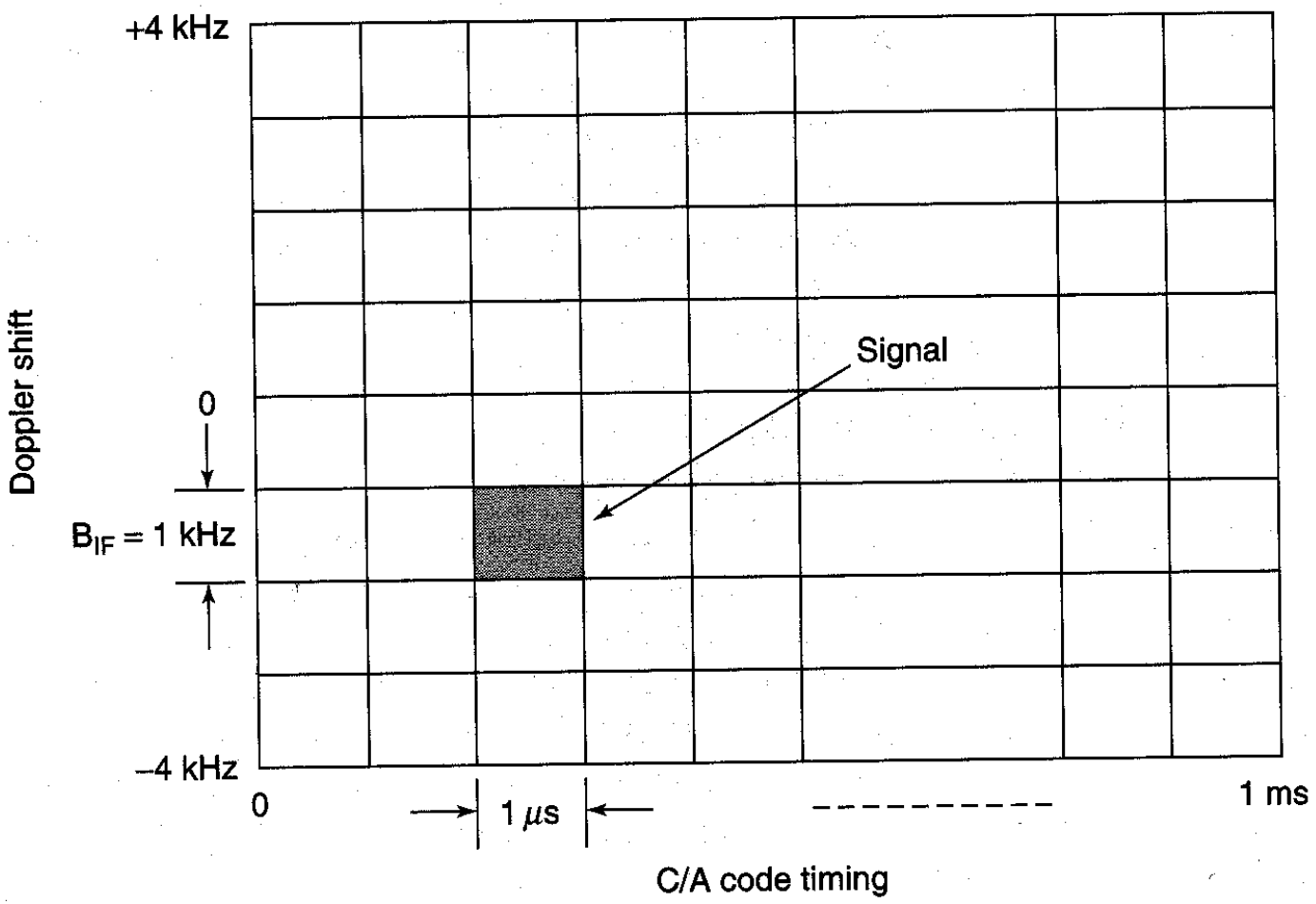
Přijímač GPS musí nalézt začátek každého ***C/A*** *kódu* čtyř dostupných družic. Korelátor porovnává přijatý signál s ***C/A*** *kódy* uloženými v paměti. Přijímač obvykle vybere čtyři nejsilnější signály které koreluje. Jestliže je geometrie nejsilnějších družic nevyhovující (jsou příliš blízko u sebe a pseudo-vzdálenosti se tudíž od sebe liší jen málo), přijímač použije některý ze slabších signálů.

Poměrně zdlouhavé může být dosažení synchronizace při prvním zapnutí přijímače, kdy ještě nejsou v paměti přijímače data dostupných družic. Teoreticky vzato musí být porovnáno všech 36 možných ***C/A*** *kódů*. Avšak čísla současných družic leží mezi 13 a 45, takže v průměru je třeba porovnat 16 kódů. Nalezení synchronizace ***C/A*** *kódu* ale dále komplikuje Dopplerův posuv frekvence.

Vektor rychlosti družic GPS ve směru k pozorovateli dosahuje při nízké elevaci až 982 $m.s^{-1}$, čemuž odpovídá Dopplerův posuv 4,9 kHz. Při prvním zapnutí přijímače není znám ani tento údaj. Požadovaná přesnost naladění frekvence pro dosažení synchronismu je 1 kHz. Přijímač proto musí prohledávat oblast ***L*1** ± 4 kHz s krokem 1 kHz podle obrázku. Celkový počet testovaných možností je 1023 x 8 = 8184. Dosažení synchronizace první družice tak může trvat několik minut. Pokud je přijímač vícekanálový (až 12), to znamená, že může přijímat více družic současně a také korelátory jednotlivých kanálů pracují paralelně, proces se značně urychlí (při paralelním zpracování signálů je pochopitelně dosahováno rovněž větší přesnosti lokalizace).

Kontrolu integrity měření polohy lze provádět při pěti dostupných satelitech. V tomto případě, je-li jedno měření zatíženo chybou větší než zbylá čtyři, tak je vyloučeno. Jsou-li nejméně dvě měření odlišná, vyhodnotí se kompromis.

Přesnost lokalizace pomocí ***C/A*** *kódu* lze uměle snížit zapnutím přídavného kódování zvaném ***SA*** (Selektive Availability). 1. května 2000 však bylo toto kódování (do té doby používané po většinu času) vypnuto. V případě potřeby (válečný konflikt) jej lze však kdykoli znovu zapnout.


+4 kHz
Doppler shift
0
B_{IF} = 1 kHz
–4 kHz
Signal
0
1 μs
1 ms
C/A code timing

***P** kód* je generován obdobně jako ***C/A** kód* podle algoritmu

$$P_i(t) = X1(t) + X2(t + iT_c)$$

kde T_c je perioda sekvence *X*1, která sestává z 15345000 bitů a opakuje se každých 1,5 s. Sekvence *X*2 je o 37 bitů delší. ***P** kód* se opakuje po 266,4 dnech ale z bezpečnostních důvodů se mění každých sedm dní (o půlnoci ze soboty na neděli). V tomto případě délka kódu zajišťuje jednoznačnost měření. ***C/A** kód* poskytuje informaci autorizovaným uživatelům o začátku ***P** kódu*. V zakódovaném stavu je obsažena v navigační zprávě jako tzv. *předávací slovo* (*handover word*). Tím je zajištěna rychlá synchronizace ***P** kódu*.

Navigační zpráva

Navigační zpráva obsahuje množství systémových informací a má klíčový význam v GPS. Je vysílána modulací BPSK obou ***C/A*** i ***P*** *kódů* rychlostí 50 b.s-1. Jednoduše řečeno, každých 20 ***C/A*** sekvencí (20 ms) je jeden bit navigační zprávy. Fáze 20-ti sekvencí ***C/A*** je invertována mezi bity 1 a 0 navigační zprávy sčítačkou modulo 2. Tento signál je v přijímači obnoven v demodulátoru BPSK 50 $b.s^{-1}$, který následuje za korelátorem. Úzká šířka pásma, nutná pro přenos navigační zprávy, zajišťuje vysoký poměr C/N na vstupu demodulátoru a tím i nízký BER (družice s elevací nad 10^{o} dosahují obvykle C/N > 17 dB).

Kompletní rámec navigační zprávy sestává z pěti podrámců, z nichž každý obsahuje deset slov po třiceti bitech. Slovo má 24 bitů informačních a šest bitů paritních. Celková délka rámce navigační zprávy je tedy 1500 bitů a při přenosové rychlosti 50 $b.s^{-1}$ je vyslána za 30 s. Každý podrámec obsahuje hlavičku a data. První slovo hlavičky je *telemetrie* a druhé *předávací slovo.* Data v každém podrámci jsou různá, viz následující tabulka. Podrámce 1, 2 a 3 se opakují během každého rámce, zatímco podrámce 4 a 5 mají každý 25 stránek, které se vysílají postupně. Všechna data navigační zprávy jsou tedy vyslána za 30 x 25 = 750 s, což je 12,5 minuty.

Tab. 12.1 Obsah podrámců navigační zprávy

Hlavička	telemetrie; předávací slovo
Podrámec 1	korekce družicových hodin; stáří vysílaných dat
Podrámec 2, 3	efemeridy přijímané družice
Podrámec 4	almanach dat pro družice č. 25 a výš; data modelu ionosféry
Podrámec 5	almanach dat pro družice č. 1-24; telemetrie

Decoding the GPS Navigation Message.htm

Úroveň signálů GPS

Anténa přijímače GPS musí být téměř všesměrová (hemisférová vyzařovací charakteristika) a její zisk se blíží isotropnímu zářiči G_R = 0 dB. Ekvivalentní systémová šumová teplota daná šumovou teplotou antény a vlastního přijímače se díky velkému příspěvku od Země odhaduje na T_s = 273 K.

Družice GPS používají na obou frekvencích soustavy šroubovicových antén s kruhovou polarizací. Při výkonu družicového vysílače 10 W, je dosahováno $(EIRP)_{SL}$ 19 až 27 dB(W). Signál nesoucí ***C/A*** a ***P*** *kód* je typu DS-SS (Direct Sequence – Spread Spectrum), jehož poměr $(C/N)_D$ na vstupu korelátoru v kanálu se šířkou pásma B_n je menší než 0 dB (leží pod úrovní tepelného šumu). Na výstupu korelátoru je eliminováno rozprostření spektra s teoretickým ziskem v poměru délky bitu a chipu (ve skutečnosti je tento zisk o něco menší).

Pro ***C/A** kód* vysílaný 1,023 Mb.s^{-1} a dobu korelace 1 ms vychází G_{SS} = 30,1 dB a pro ***P** kód* G_{SS} = 40,1 dB.

Předpokládejme, že přijímač GPS může současně přijímat signály až deseti družic. Výkon těchto signálů s rozprostřeným spektrem se přičítá na vstupu přijímače k tepelnému šumu a označuje se jako *interference*. Při 10-ti viditelných družicích bude 9 družic interferovat výkonem ***I***(W). Protože zvolené *Gold kódy* mají malou vzájemnou korelaci, má tento signál charakter blízký bílému šumu. Je-li úroveň užitečného signálu (desátý satelit) na vstupu přijímače P_R, bude úroveň interference $I = 9 . P_R$, za předpokladu, že signály všech deseti družic budou mít stejnou úroveň.

Výkon tepelného šumu při šumové šířce pásma 2 MHz je ***N*** = -141,2 dB(W), respektive ***N*** = -131,2 dB(W) pro 20 MHz.

Hodnoty vypočtených úrovní signálu jsou uvedeny v tabulce.

Všimněme si, že i při interferenci devíti satelity, což lze považovat za nejhorší případ, je úroveň tepelného šumu o 9,3 dB vyšší než souhrnná interference. Poměr ***C/N*** se v daném případě působením interference zhorší o 0,5 dB.

Poměr ***S/N*** na výstupu korelátoru vychází 10,8 dB pro *kód* ***C/A*** a 8,2 dB pro ***P*** kód v pásmu ***L*1**, za předpokladu že zpracování signálu v korelátoru a filtrech je beze ztrát. Původní generace družic GPS měla dvojnásobný výkon než je uveden v tabulce (+3 dB) a v některých případech lze uvažovat také vyšší zisk přijímací antény. Hodnoty ***S/N*** pak mohou být až o 6 dB vyšší.

Jak jsme již uvedli navigační zpráva je vysílána rychlostí 50 $b.s^{-1}$. Signál na výstupu ***C/A*** korelátoru prochází filtrem s šířkou pásma 50 Hz, který integruje 20 impulsů z korelátoru na jeden bit navigační zprávy. Poměr ***S/N*** signálu BPSK navigační zprávy je tak o 13 dB výšší a teoreticky dosahuje hodnoty 23,8 dB.

Úrovně signálu GPS

Frekvence		***L1*** (1575 MHz)		***L2*** (1227 MHz)
Kód		***C/A***	***P***	***P***
EIRP	dB(W)	26,8	23,8	19,7
L_0	dB	186,8	186,8	185,7
G_R	dBi	0	0	0
P_R	dB(W)	-160,0	-163,0	-166,0
T_s	dB(K)	24,4	24,4	24,4
G_R / T_s	dB(K^{-1})	-24,4	-24,4	-24,4
B_n	dB(Hz)	63,0	73,0	73,0
N	dB(W)	-141,2	-131,2	-131,2
I [1)]	dB(W)	-150,5	-153,0	-156,0
N+I	dB(W)	-140,7	-131,1	-131,2
C/(N+I)	dB	-19,3	-31,9	-34,8
G_{SS}	dB	30,1	40,1	40,1
S/N	dB	10,8	8,2	5,3

Přesnost časování

Proces lokalizace vyžaduje přesné měření času příchodu kódové sekvence do přijímače. Na výstupu ***C/A*** korelátoru jsou získávány impulsy o délce 1μs se střídou 1 ms. Přesnost s jakou může být vyhodnocena délka jednoho impulsu, je přibližně dána vztahem

$$\partial t = \frac{1}{B_n \sqrt{S/N}} \qquad \text{[s; Hz]}$$

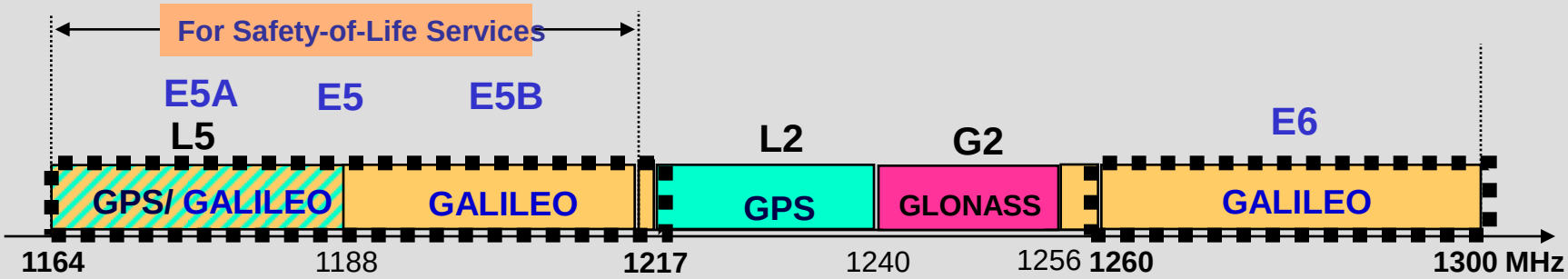
Teoretická šumová šířka pásma korelátoru $\boldsymbol{B_n}$ je 1 MHz. Při ***S/N*** = 10 dB je poměr výkonů také 10 a odtud efektivní hodnota základní časové chyby δ_t = 0,316 μs. Změřené hodnoty se dále průměrují. Při 500 akumulacích jsou výstupní data k dispozici každých 0,5 s a jejich přesnost se zvětší $(500)^{1/2}$ = 22,4 krát, t.j. na efektivní hodnotu δ_{ta} = 0,14 ns.

Tato hodnota odpovídá efektivní chybě změřené vzdálenosti od družice 4,2 m. Protože se vyhodnocují současně čtyři vzdálenosti, je výsledná efektivní chyba měření pozice při použití *kódu* ***C/A*** 4,2 . √4 = 8,4 m. Zvýšením poměru ***C/N*** (a tedy i ***S/N***) podobně jako prodloužením času průměrování, lze chybu snížit. Převládat pak mohou jiné vlivy, které jsme neuvažovali (nepřesnost atomových hodin a efemerid jednotlivých satelitů, ionosférické a troposférické zpoždění signálů, vícecestné šíření).

Frequency band allocations to RNSS (ITU-R)

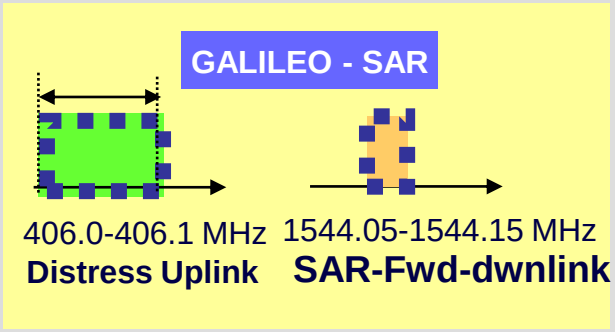
Resolution 609 (WRC2003)
ARNS-RNSS Compatibility
1164 - 1215 MHz

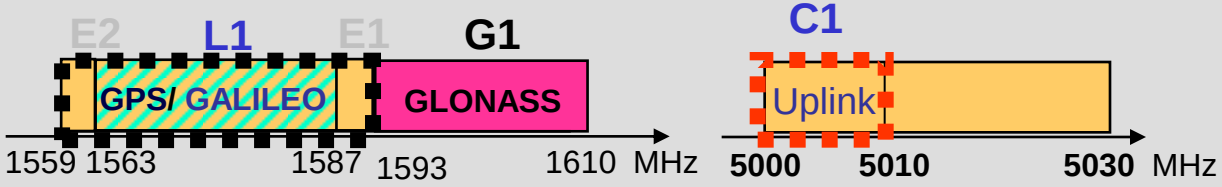
Resolution 608 (WRC2003)
RLS/RNS-RNSS Compatibility
1215 - 1300MHz



ARNS (DME/TACAN)
ITU-R Rec.s M.1639 and M.1642
(special issue: JTIDS/MIDS)

RNS/ RLS/ EESS (WPR, civ+mil radar)





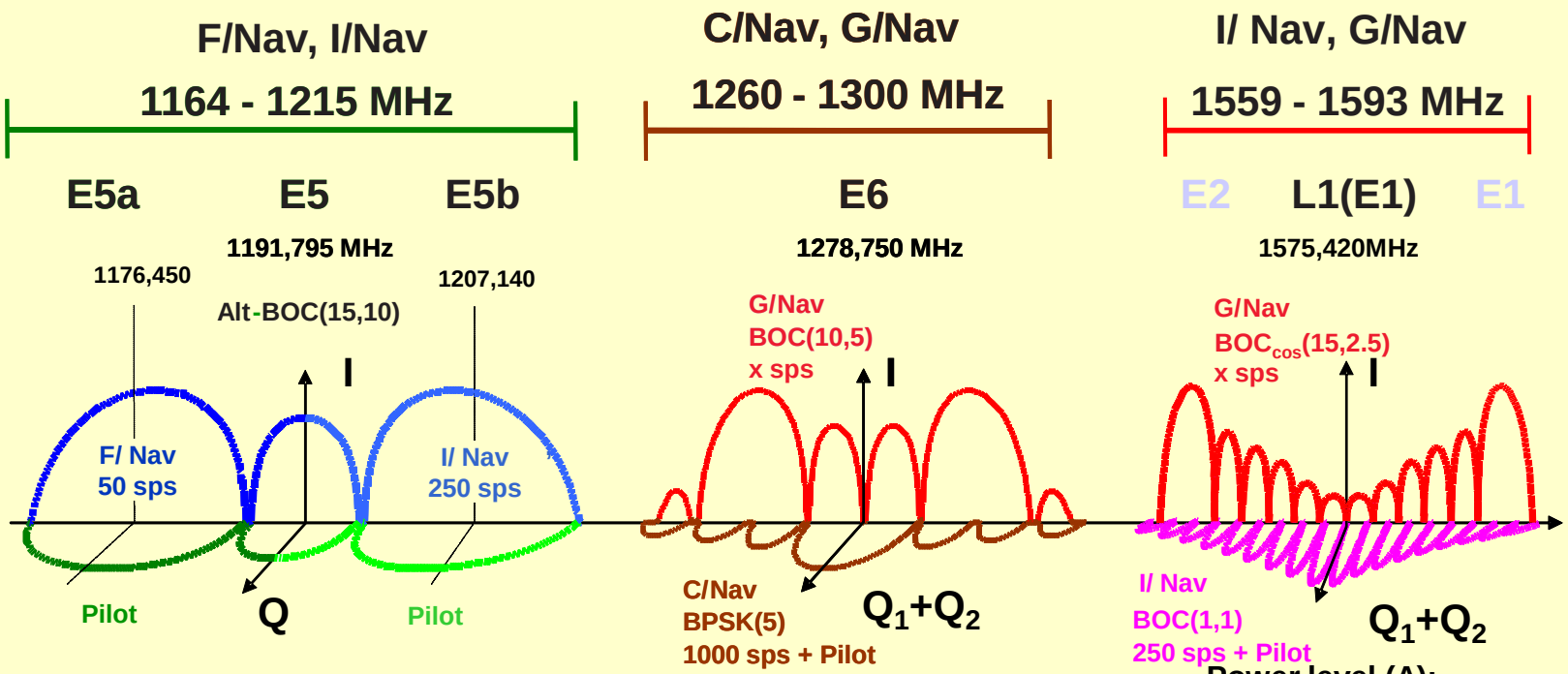
Resolution 741 (WRC2003)
RNSS-RAS Compatibility
5010-5030MHz => 4990-5000MHz

Indicates use of spectrum for Galileo

Resolution 610 (WRC2003)
Coordination i.a.w. Art 9 RR
for all RNSS frequency bands

Recommendation 608 (WRC2003)
Consultation meetings as per Res 609
for the band 1164-1215MHz

Galileo – Signal and Frequency Plan



Power level E5a-I: -158dBW E5b-I: -158 dBW

Power level E5a-Q: -158dBW E5b-Q:-158 dBW

Power level E6-(A): -155dBW

Power level E6-(B): -158dBW

Power level E6-(C): -158dBW

Power level (A): -155dBW

Power level (B): -158dBW

Power level (C): -158dBW