

Juris Žagars, Jānis Zvirgzds, Jānis Kaminskis

Globālās navigācijas satelītu sistēmas (GNSS)

2014

Saturs

1. IEVADS	9
1.1. Vēsturiska atkāpe	9
1.1.1. Kosmiskais segments	9
1.1.2. Lietotāju segments	10
1.2. Sistēmu apskats	12
1.2.1. Pozicionēšanas metode	12
1.2.2. GPS satelītu sistēma	13
1.2.3. GPS satelītu signāli.....	15
1.2.4. Pseudoattālumu mērīšana	17
1.2.5. Pozicionēšanas matemātiskie modeļi.....	18
1.2.6. Fāžu pozicionēšana.....	20
1.2.7. Precizitātes šķīšana jeb DOP faktori.....	21
1.2.8. Noslēguma piezīmes	22
I. TEORIJA UN METODES	23
2. GNSS satelītu signāli	24
2.1. GPS satelītu signāli	24
2.1.1. Pseudotrokšņu kodi PRN	24
2.1.2. Navigācijas pakete.....	25
2.1.3. Modulācijas un signālu struktūra	27
2.2. GLONASS un GALILEO	30
2.2.1. GLONASS sistēma un tās signāli.....	30
2.2.2. GALILEO sistēma un tās signāli.....	32
2.2.3. Noslēguma piezīmes	36
3. Koordinātu sistēmas	38
3.0.4. Koordinātu sistēmu loma GNSS.....	38
3.1. Astronomiskās koordinātu sistēmas	38
3.1.1. Ekvatoriālās koordinātu sistēmas	38
3.1.2. Koordinātu transformācijas	40
3.2. Ģeogrāfiskās koordinātu sistēmas	42
3.2.1. Definīcijas un Zemes rotācijas nevienmērība.....	42
3.2.2. Polu kustība	44
3.3. GNSS koordinātu sistēmas.....	45
3.3.1. Koordinātu sistēma ITRS.....	45

Saturs

3.3.2. Koordinātu sistēma WGS–84.....	46
3.3.3. Koordinātu sistēma PZ–90.....	47
4. Absolūtā pozicionēšana	49
4.1. Absolūtā kodu pozicionēšana.....	49
4.1.1. Pseudoattālumi un kodu pozicionēšanas vienādojumi	49
4.1.2. Ģeodēziskās trilaterācijas metode	51
4.1.3. Ņūtona metode.....	53
4.1.4. Piezīmes par Ņūtona metodi.....	55
4.1.5. Ģeometriskā linearizācijas metode.....	57
4.1.6. Bankrofta metode	60
4.2. Absolūtā fāžu pozicionēšana	62
4.2.1. Fāžu diferences un fāžu pozicionēšanas vienādojumi	62
4.2.2. Fāžu pozicionēšanas vienādojumu atrisināšana.....	64
5. Sistemātiskās kļūdas	68
5.0.3. Kļūdu avoti GNSS mērījumos.....	68
5.1. Jonosfēras refrakcija	69
5.1.1. Releja vienādojumi	69
5.1.2. Laušanas koeficientu atkarība no frekvences	70
5.1.3. Jonosfēras refrakcijas korekcijas.....	71
5.1.4. Elektronu daudzums satelīta virzienā	72
5.1.5. Jonosfēras refrakcijas koriģēšana un izslēgšana.....	74
5.1.6. Jonosfēras izslēgšana no fāžu pozicionēšanas vienādojumiem.....	75
5.2. Troposfēras refrakcija	76
5.2.1. Hopfildas modelis	76
5.2.2. Modificētais Hopfildas u.c. modeļi	79
5.3. Multirefleksija (<i>multipath</i>)	81
5.3.1. Multirefleksijas izcelšanās un tās apspiešana	81
5.3.2. Multirefleksijas apspiešana kodu korelatoros	83
5.3.3. Multirefleksijas ietekme uz fāžu mērījumiem	84
5.3.4. Kodu mērījumu izlīdzināšana	85
5.3.5. Noslēguma piezīmes	88
6. Cikliskā nenoteiktība	90
6.1. Kinemātiskā pozicionēšana	90
6.2. Cikliskās nenoteiktības aprēķināšana.....	91
6.2.1. Ciklisko nenoteiktību N_{L1} , N_{L2} un N_w savstarpējā saistība	91
6.2.2. Platās joslas cikliskās nenoteiktības noteikšana	93
6.2.3. Trīs nesējfrekvenču izmantošana	95
6.3. Nepārtrauktības kontrole	96
6.3.1. Cikliskās nenoteiktības lēcienu registrēšana	96
6.3.2. Noslēguma piezīmes	98

7. Relatīvā pozicionēšana	99
7.1. Diferenciālā pozicionēšana (DGPS).....	99
7.1.1. DGPS ideja un divas tās realizācijas.....	99
7.1.2. DGPS korekciju izplatīšana.....	101
7.1.3. Papildinformācijas nodrošināšanas sistēmas (PNS).....	102
7.2. Relatīvā pozicionēšana.....	103
7.2.1. Pirmo diferencu vienādojumi.....	103
7.2.2. Otro diferencu vienādojumi.....	105
7.2.3. Trešo diferencu vienādojumi.....	106
7.2.4. Statiskā relatīvā pozicionēšana.....	107
7.2.5. Diferencu vienādojumu atrisināšana.....	109
8. Gadījuma kļūdas	112
8.0.6. Gadījuma kļūdas GNSS mērījumos.....	112
8.1. Mazāko kvadrātu metode.....	113
8.1.1. Metodes formulējums.....	113
8.1.2. Metodes algoritms.....	115
8.2. Kalmana filtrs.....	118
8.2.1. Svērtā mazāko kvadrātu metode.....	118
8.2.2. Kalmana filtrs.....	119
8.3. DOP faktori un korelāciju problēmas.....	120
8.3.1. DOP faktori.....	120
8.3.2. Korelāciju problēmas GNSS mērījumos.....	124
9. Orbitālā informācija GNSS signālā	128
9.0.3. Orbitālās informācijas trīs līmeņi.....	128
9.1. Almanaha dati.....	128
9.1.1. Satelīta kustības diferenciālvienādojumi.....	128
9.1.2. Impulsa momenta integrāļi un orbītas plakne.....	130
9.1.3. Enerģijas integrālis.....	132
9.1.4. Laplasa integrāļi.....	134
9.1.5. Orbīta kā virsmu šķēlums.....	136
9.1.6. Pirmie integrāļi orbītas plaknē.....	138
9.1.7. Keplera vienādojums.....	139
9.1.8. Orbitālā koordinātu sistēma.....	141
9.1.9. Satelītu kustības matemātiskais modelis.....	143
9.1.10. Almanaha datu tuvinājums.....	145
9.2. Pārraidītās efemerīdas.....	146
9.2.1. Perturbācijas un orbītu oskulējošie elementi.....	146
9.2.2. Orbitālo koordinātu perturbācijas.....	149
9.2.3. Pārraidīto efemerīdu tuvinājums.....	151
9.3. Precīzās efemerīdas.....	154

II. PIELIETOJUMI ĢEODĒZIJĀ.....	156
10. Ģeodēziskie tīkli	157
10.1. Jēdziens par ģeodēziskajiem tīkliem.....	157
10.2. Ģeodēzisko tīklu veidi	159
10.3. Litosfēras deformāciju ietekme	161
11. Latvijas ģeodēziskie tīkli	164
11.1. ETRS realizācija Latvijā	164
11.2. Valsts ģeodēziskie tīkli.....	166
11.3. Ģeodēzisko tīklu sasaistes risinājumi Latvijā	168
12. GNSS pielietošana precīzajā mērīšanā.....	170
12.1. Tehnoloģijas diferenciālajai un relatīvajai pozicionēšanai	170
12.2. Diferenciālās pozicionēšanas precizitāte.....	176
12.3. Bāzes staciju tīkli un relatīvās pozicionēšanas metodes.....	177
12.4. Pieredze un prakse citās Eiropas valstīs	181
13. LATPOS bāzes staciju tīkls.....	187
13.1. LATPOS sistēmas definīcija un uzdevumi.....	187
13.2. Priekšizpēte LATPOS sistēmas izveidei	189
13.3. LATPOS integrācija Valsts ģeodēziskajā sistēmā.....	197
14. LATPOS sistēmas darbības pārbaude	201
14.1. Kontrolmērījumi ģeodēziskajos atbalsta punktos	201
14.2. Saules aktivitātes ietekme.....	207
14.3. Korekciju stabilitātes kontrole	212
14.4. Bāzes staciju koordinātu izmaiņas laikā	215
15. Ģeoīds un tā izmantošana	217
15.1. Vispārīgs ievads.....	217
15.2. Jūras līmeņa mērīšana un augstumu modeļi Latvijā	218
15.3. Ģeoīda modeļu novērtēšanas tehnika	219
15.4. Latvijas ģeoīda modeļa raksturojums	222
15.5. Noslēguma piezīmes.....	224
Atsauces.....	225