

# Obsah

1. Úvod .....	9
2. Družicová navigace .....	12
2.1. Princip družicové navigace .....	12
2.1.1. Úhломěrné systémy družicové navigace .....	12
2.1.2. Dopplerovské systémy družicové navigace .....	12
2.1.3. Dálkoměrné systémy .....	14
<i>Aktivní dálkoměrné systémy</i> .....	14
<i>Pasivní dálkoměrné systémy</i> .....	15
2.1.4. Interferometrické systémy .....	19
2.1.5. Interferometrické měření na nosné .....	20
2.2. Systémy družicové navigace .....	20
2.2.1. Transit .....	21
2.2.2. NAVSTAR - GPS .....	21
2.2.3. Glonass .....	22
2.2.4. Geostar .....	22
2.2.5. Locstar .....	23
2.2.6. Granas .....	23
2.2.7. Navsat .....	24
2.2.8. Starfix .....	24
2.2.9. Omnitrac .....	26
2.2.10. Euteltracs .....	26
2.2.11. GNSS .....	29
3. Systém družicové navigace GPS .....	31
3.1. Historie a současnost systému GPS .....	31
3.2. Signál GPS a jeho zpracování .....	34
3.2.1. Kódy družic .....	35
3.2.2. Data vysílaná družicemi - navigační zpráva .....	37
3.2.3. Struktura přijímače GPS .....	38
3.3. Přesnost GPS .....	42
3.3.1. Činitel zhoršení přesnosti PDOP .....	42
3.3.2. Opatření pro dosažení vysoké přesnosti .....	44
3.3.3. Služby SPS a PPS, výběrový přístup .....	45
3.4. Diferenční GPS .....	47
4. Přijímače (uživatelská zařízení) pro družicovou navigaci GPS .....	49
4.1. Typické uspořádání přijímače .....	49
4.1.1. Anténa .....	49
4.1.2. Blok anténní elektroniky (AE) .....	50
4.1.3. Přijímač a počítač (RPU) .....	51



4.1.4. Řídicí a zobrazovací jednotka (CDU).....	51
4.1.5. Zaváděč dat.....	52
4.2. Moduly pro finální výrobce (OEM).....	53
4.3. Přijímače - karty do počítačů .....	53
4.4. Přijímače přenosné (man-pack) a kapesní (hand-held).....	54
4.5. Referenční stanice .....	55
4.6. Hlavní výrobci a parametry uživatelských zařízení .....	56
4.7. Výroba a vývoj přijímačů GPS v České republice.....	57
<b>5. Aplikace družicové navigace.....</b>	<b>59</b>
5.1. Aplikace v civilním letectví .....	59
5.1.1. Dostupnost signálu GPS pro civilní letectví a její zajištění.....	59
5.1.2. Přijímače GPS v civilním letectví .....	63
5.2. Vojenské aplikace .....	63
5.3. Další aplikace .....	65
5.3.1. Použití GPS v námořní dopravě .....	65
5.3.2. Použití GPS v geodézii.....	65
5.3.3. Použití GPS v pozemní dopravě.....	66
5.3.4. Použití GPS pro měření úhlů.....	66
5.3.5. Použití GPS pro měření času.....	66
5.3.6. Použití GPS v zemědělství .....	66
<b>6. Systémy ADS a CNS .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Další rozvoj družicové navigace .....</b>	<b>71</b>
7.1. Podporovaný (integrováný, sdružený) přijímač GPS.....	71
7.2. Rozšíření systému GPS družicemi systému GLONASS .....	72
7.3. Velkoplošný rozšířený družicový navigační systém WAAS .....	74
7.3.1. Systém WADGPS .....	74
7.3.2. Systém WAAS (civilní).....	74
7.4. Rozšířený systém GPS - AGPS .....	77
7.4.1. Kosmický segment AGPS .....	78
7.4.2. Pozemský segment AGPS .....	79
7.4.3. Signál AGPS.....	79
7.4.4. Některé provozní otázky systému AGPS .....	81
<b>8. Obsah navigační zprávy GPS a algoritmy s ním spojené .....</b>	<b>82</b>
8.1. Struktura zprávy .....	82
8.2. Paritní bity.....	82
8.3. Slova TLM a HOW .....	83
8.4. Obsah 1. podrámce.....	84
8.4.1. Standardní algoritmus výpočtu odchylky časové základny družice .....	85



8.5. Obsah 2. a 3. podrámce .....	87
8.5.1. Standardní algoritmus výpočtu polohy družice .....	88
8.6. Almanach .....	89
8.6.1. Standardní algoritmus výpočtu přibližné polohy družice .....	91
8.6.2. Standardní algoritmus generování pseudonáhodné posloupnosti .....	91
8.7. Ostatní informace .....	91
8.7.1. Standardní algoritmus výpočtu korekce ionosférického zpoždění .....	94
8.7.2. Standardní algoritmus přepočtu UTC času z GPS času .....	95
<b>9. Výpočet polohy .....</b>	<b>100</b>
9.1. Rovnice měření .....	100
9.1.1. Zdánlivá vzdálenost .....	100
9.1.2. Zdánlivá rychlost .....	103
9.2. Přímý výpočet .....	104
9.3. Kalmanova filtrace .....	106
9.3.1. Algoritmus Kalmanovy filtrace .....	107
9.3.2. Model parametrů .....	109
<i>Model pohybu na dráze</i> .....	109
<i>Model pohybu v prostoru</i> .....	111
<i>Celkový model</i> .....	114
9.3.3. Model měření .....	114
9.3.4. Realizace Kalmanovy filtrace .....	116
9.4. Přepočet souřadnic .....	117
9.4.1. Transformace pravoúhlých souřadnic .....	117
9.4.2. Zeměpisné souřadnice .....	119
9.4.3. Přepočet pro Českou republiku .....	121
9.4.4. Nadmořská výška .....	124
9.4.5. Poloha a rychlost v místní souřadné soustavě .....	128
9.5. Čas a datum .....	129
<b>10. Vlastnosti GPS-SPS .....</b>	<b>131</b>
10.1. Definice GPS-SPS .....	131
10.2. Výkonnost služby SPS .....	132
10.2.1. Výkonnostní parametry .....	132
10.2.2. Pokrytí .....	132
10.2.3. Dostupnost služby .....	134
10.2.4. Spolehlivost služby .....	135
10.2.5. Přesnost .....	135
10.3. Normy minimální výkonnosti GPS-SPS .....	136
10.3.1. Norma pokrytí .....	136
10.3.2. Norma dostupnosti služby .....	136



10.3.3. Norma spolehlivosti služby .....	137
10.3.4. Norma přesnosti.....	138
10.4. Charakteristiky výkonnostních parametrů GPS-SPS .....	138
10.4.1. Charakteristiky pokrytí .....	139
10.4.2. Charakteristiky dostupnosti služby.....	140
10.4.3. Charakteristiky spolehlivosti .....	141
10.4.4. Charakteristiky přesnosti určení polohy .....	142
10.4.5. Charakteristiky opakovatelné přesnosti.....	144
10.4.6. Charakteristiky relativní přesnosti.....	145
<b>11. Vlastnosti GPS-SPS na území ČR .....</b>	<b>146</b>
11.1. Viditelnost družic z území ČR.....	146
11.2. Koeficienty DOP na území ČR.....	148
11.3. Záznam měření - SA zapnuto.....	150
11.4. Zvýšení přesnosti průměrováním.....	153
11.5. Záznam měření - SA vypnuto .....	153
<b>12. Diferenční GPS.....</b>	<b>156</b>
12.1. Princip diferenčního GPS.....	156
12.2. Přehled diferenčních metod.....	158
<i>Korigované údaje</i> .....	158
<i>Čas provedení korekce</i> .....	158
<i>Místo provedení korekce</i> .....	159
12.3. Určení korekcí .....	159
12.3.1. Referenční stanice s časovým etalonem .....	159
12.3.2. Referenční stanice s nestabilním oscilátorem.....	160
12.3.3. Referenční stanice se stabilním oscilátorem.....	162
12.3.4. Srovnání způsobů generování korekcí.....	163
12.3.5. Požadavky na kvalitu časové základny.....	164
12.4. Doporučení RTCM SC-104 .....	165
12.4.1. Referenční stanice podle RTCM SC-104 .....	166
12.4.2. Uživatelské zařízení podle RTCM SC-104 .....	167
12.4.3. Komunikační kanál podle RTCM SC-104 .....	168
12.4.4. Formát dat RTCM SC-104 .....	169
<i>Hlavička zprávy</i> .....	169
<i>Zpráva typu 1</i> .....	171
<i>Zpráva typu 2</i> .....	173
<i>Zpráva typu 3</i> .....	173
<i>Zpráva typu 6</i> .....	174
<i>Zpráva typu 9</i> .....	175
<i>Zpráva typu 16</i> .....	175
12.4.5. Rozhraní uživatelského zařízení .....	176
<i>Formát "6 z 8"</i> .....	176



<i>Formát "8 z 8"</i> .....	177
12.5. Rádiová distribuce korekcí .....	177
12.5.1. Požadavky na rádiový kanál .....	177
<i>Pokrytí</i> .....	178
<i>Přenosová rychlost a zpoždění v kanálu</i> .....	178
<i>Chybovost přenosu</i> .....	179
12.5.2. Volba kmitočtového pásma .....	180
<i>Dlouhé a velmi dlouhé vlny</i> .....	180
<i>Střední vlny</i> .....	180
<i>Krátké vlny</i> .....	181
<i>Velmi krátké vlny</i> .....	181
12.6. Některé realizované diferenční systémy .....	182
12.6.1. Systémy využívající středovlnné rádiové majáky .....	182
12.6.2. Systémy využívající geostacionární družice .....	183
<i>Systém SkyFix</i> .....	183
<i>Systém SEASTAR</i> .....	184
12.6.3. Systémy využívající rádiový datový systém - RDS .....	185
<i>Systém DCI</i> .....	185
<i>Systém EPOS</i> .....	186
<i>Systém PINPOINT</i> .....	186
12.6.4. Systémy s přenosem v pásmu krátkých vln .....	187
<i>Systém SERCEL</i> .....	187
<i>Systém DeltaFix LR</i> .....	187
12.7. Pseudolity .....	187
12.7.1. Rušení signálem pseudolitu .....	188
12.7.2. Činnost pseudolitu .....	188
12.7.3. Příjem pseudolitu .....	189
12.8. Přesnost diferenčního měření .....	191
12.8.1. Zbytková chyba způsobená ionosférickým zpožděním .....	191
12.8.2. Zbytková chyba způsobená troposférickým zpožděním .....	197
12.8.3. Zbytková chyba způsobená nepřesnou polohou družice .....	199
12.8.4. Zbytková chyba způsobená záměrným zneřádněním SA .....	199
12.8.5. Dosažitelná přesnost .....	200
<i>Vícecestné šíření</i> .....	200
<i>Šum přijímače</i> .....	201
<i>Nepřesnosti při zpracování změřených údajů</i> .....	202
12.8.6. Celková chyba diferenčního měření .....	202
<b>13. Velkoplošné diferenční GPS .....</b>	<b>205</b>
13.1. Princip WADGPS .....	206
13.2. Systém RA (Regional Augmentation) .....	206
13.2.1. Signál RA .....	207
<i>Přenos dat</i> .....	207
<i>Pseudonáhodné posloupnosti</i> .....	207



13.2.2. Formát dat RA .....	207
<i>Formát bloku dat</i> .....	208
<i>Zpráva typu 1 - maska identifikátorů družic</i> .....	210
<i>Zpráva typu 2 - rychlé korekce</i> .....	210
<i>Zpráva typu 25 - pomalé korekce chyb družic</i> .....	211
<i>Zpráva typu 24 - rychlé korekce a pomalé korekce chyb družice</i> .....	214
<i>Zprávy typu 18, 19, 20, 21 a 22 - maska sítě ionosférických bodů dopadu</i> .....	214
<i>Zpráva typu 26 - korekce ionosférického zpoždění</i> .....	217
<i>Zpráva typu 9 - navigační zpráva geostacionární družice</i> .....	220
<i>Zpráva typu 17 - almanach geostacionárních družic</i> .....	222
<i>Zpráva typu 27 - regionální zhoršení přesnosti</i> .....	222
<i>Stanovení přesnosti korekce</i> .....	223
<i>Zpráva typu 63 - prázdná zpráva</i> .....	225
<i>Zpráva typu 12 - odchylka mezi systémovým časem a časem UTC</i> .....	225
<i>Pravidla pro použití přijatých dat</i> .....	225
<i>Četnost vysílání zpráv</i> .....	226
<b>14. Přílohy</b> .....	<b>227</b>
14.1. Parametry pohybu družice.....	227
14.1.1. Poloha družice .....	227
14.1.2. Plánovaná konfigurace družic GPS .....	230
14.1.3. Maximální rychlost a zrychlení družice .....	230
14.2. Korekce zpoždění v atmosféře .....	233
14.2.1. Korekce ionosférického zpoždění.....	234
14.2.2. Korekce troposférického zpoždění .....	238
14.3. Geomagnetické pole .....	242
14.3.1. Potenciál geomagnetického pole .....	242
14.3.2. Složky geomagnetické indukce .....	244
14.3.3. Výpočet deklinace .....	245
14.4. Základní pojmy z teorie chyb.....	249
14.4.1. Náhodné veličiny .....	249
<i>Distribuční funkce</i> .....	249
<i>Hustota pravděpodobnosti</i> .....	250
<i>Střední hodnota a směrodatná odchylka</i> .....	250
<i>Normální (Gaussovo) rozložení</i> .....	250
14.4.2. Míry přesnosti.....	250
<i>Střední kvadratická chyba</i> .....	251
<i>Průměrná chyba</i> .....	251
<i>Pravděpodobná chyba - LEP, CEP, SEP</i> .....	251
<i>Chyba (95 %)</i> .....	251
<i>Chyba 2 dRMS</i> .....	252
<i>Přepočet mezi různými mírami přesnosti</i> .....	252
<b>Používané zkratky</b> .....	<b>254</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>260</b>



- [19] Cimbálník, M.: Vyšší geodézie geometrická a geodetické polohové základy. [Doplňkové skriptum]. Praha, ČVUT 1992.
- [20] Cimbálník, M.: Vyšší geodézie. Souřadnicové soustavy. [Doplňkové skriptum]. Praha, ČVUT 1995.
- [21] Clinton offers GPS to International Civil Air Users. *Global Positioning & Navigation News* 6 (1995), č. 7, s. 1 - 3.
- [22] Cochlar, J. - Hrdina, Z. - Vejražka, F. - Vrana, I.: Simulátor navigačního systému Navstar. [Výzkumná zpráva]. Praha, ČVUT-FEL 1987.
- [23] Colcy, J.N. - Hall, G. - Steinhäuser, R.: Euteltracs: the European Mobile Satellite Service. *Electronics & Communication Engineering Journal* 7 (1995), č. 2, s. 81 - 88.
- [24] Compact DGPS Stations NDS 200. Firemní publikace SERCEL - France.
- [25] ČSN EN 50 067, Specifikace rádiového datového systému (RDS).
- [26] Danaher, J. - Gerlach, R. R.: Digital Hopping GPS/GLONASS Receiver. *Proceedings of ION GPS-91*. Albuquerque, ION 1991, s. 69 - 76.
- [27] Diederich, P.: The developments of civil satellite navigation in Europe. *Navigation* 36 (1989), č.1, s.127-136.
- [28] Differential GPS Format for RBDS. Washington, D.C., National Radio Systems Committee 1994.
- [29] DoD Implements AS. *GPS World* 5 (1994), č. 5, s. 21.
- [30] Eckman, A.: A new international Positioning Reporting Service for maritime and land mobile users. In: *Second Technical Meeting of the Institute of Navigation, Satellite Division*. Colorado Springs, 1989.
- [31] Enge, P. - Levin, P. - Hansen, A.: Coverage of DGPS/Radiobeacons. *Navigation* 39 (1992), č. 4, s. 363-381.
- [32] European Concensus Emerges on GNSS. *GPS World* 5 (1994), č. 11, s. 16.
- [33] Eydaleine, G.: Navigation by satellite-the next step for civil aviation. *ICAO Bulletin* 43 (1988), č.3, s.16-18.
- [34] Fees, W.A. - Stephens, S.G.: Evaluation of GPS Ionospheric Time-Delay Model. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* AES-23 (1987), č. 3, s.332-338.
- [35] Firemní publikace Racal Positioning Systems Limited.
- [36] Gelb, A.: *Applied Optimal Estimation*. The Analytic Sciences Corporation 1974.
- [37] Georgiadou, Y. - Doucet, K.D.: The issue of selective availability. *GPS World* 1 (1990), č.5, s.53-56.
- [38] Gibbons, G.: On track with GPS. *GPS World* 1 (1990), č.3, s.28-37.
- [39] *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification*. Washington, DC, U.S. Department of Defense 1993.
- [40] GPS and RDS. Firemní publikace Differential Corrections Inc.
- [41] GPS/GLONASS activity gains momentum. *GPS World* 1 (1990), č.5, s.12-18.
- [42] GPS Launch, Satellite Constellation Status. *GPS World* 5 (1994), č. 4, s.18.
- [43] GPS Navigator. Airborne GPS/LORAN Navigation System. Firemní literatura Trimble. Sunnyvale, Trimble 1992.



- [44] GPS Now Meets US Coast Guard Carriage Requirements. ION Newsletter 4 (1994), č. 2, s. 1, 2.
- [45] GPS World Receiver Survey. GPS World 6 (1995), č. 1, s. 46-67.
- [46] Green, G.B. - Massat, P.D. - Rhodus, N.N.: The GPS 21 Primary Satellite Constellation. Navigation 36 (1989), č.1, s.9-24.
- [47] Haverland, M. - Redeker, A.: The Use of Differential GPS as Position Reference for Flight Inspection Purposes. Proceedings of Sixth International Flight Inspection Symposium. Washington, FAA 1990.
- [48] Hauf, M. a kol.: Geodézie. Praha, SNTL 1989.
- [49] Havlena, V. - Štecha, J.: Moderní teorie řízení. Praha, ČVUT 1994.
- [50] Hollister, W.M. - Dodge, S.M.: An evaluation of differential Omega for general aviation area navigation. Navigation 22 (1975), č.3, s.259-272.
- [51] Hrdina, Z. - Pánek, P. - Vejražka, F. - Zuzák, Z.: Zpracování signálu systému GPS Navstar. [Výzkumná zpráva 131- 132/86.] Praha, ČVUT-FEL 1986.
- [52] Hrdina, Z. - Pánek, P. - Vejražka, F.: Příjem signálů systému Navstar experimentálním přijímačem. [Výzkumná zpráva 52-89/87/337. Praha, ČVUT-FEL 1987.
- [53] Hrdina, Z. - Vejražka, F.: Lineární filtrace. Slaboproudý obzor 51 (1990), č.1, s.12-19.
- [54] Hrdina, Z. - Vejražka, F.: Digitální radiová komunikace. [Skriptum]. Praha, ČVUT-FEL 1994.
- [55] Hora, L.: Vyšší geodézie. [Doplňkové skriptum]. Praha, ČVUT 1990.
- [56] ICAO Committee concludes that satellite technology is key to future air navigation. Aeronautical Satellite News, č. 9, June 1988, s.1.
- [57] ICAO Meeting Recommends ILS Extension. CNS Outlook 3 (1995), č. 4, s. 4.
- [58] Introduction to NAVSTAR GPS User Equipment. Los Angeles, US Air Force Space Division 1987.
- [59] ILS into GNSS: Aviation's Difficult Transition. GPS World 5 (1994), č. 7, s. 40 - 45.
- [60] Jacobs, I.M. - Salmasi, A. - Bernard, T.J.: The application of a novel two-way mobile satellite communications and vehicle tracking system to the transportation industry. San Diego, QUALCOMM 1990.
- [61] Johnson, N.L.: GLONASS Spacecraft. GPS World 5 (1994), č. 11, s. 51 - 58.
- [62] Johnston, G.T.: Recent Development in DGPS. In: Proceedings of DSNS 95, The Fourth International Conference on Differential Satellite Navigation Systems. Bergen 24-28 April 1995.
- [63] Kalman, R.E.: A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering, March 1960, s. 35-45.
- [64] Kao, W.: Integration of GPS and Dead-Reckoning Navigation System. ETH Zurich Abt. Reports 1994.
- [65] Kee, C. - Parkinson, B. - Axelrad, P.: Wide Area Differential GPS. Navigation, Journal of The Institute of Navigation 38 (1991), č. 2.
- [66] Klein, D. - Parkinson, B.W.: The Use of Pseudo-Satellites for Improving GPS Performance. In: Global Positioning System, Papers Published in NAVIGATION, Volume III. Washington, D.C., The Institute of Navigation 1986, s. 135-146.