

# Obsah

<b>1 Úvod do družicových navigačních systémů</b>	<b>13</b>
<b>2 Souřadnicové systémy</b>	<b>17</b>
2.1 Souřadnicové systémy svázané se zemským tělesem (ECEF) . . .	17
2.2 Transformace XYZ na LLA . . . . .	19
2.3 Transformace LLA na XYZ . . . . .	20
2.4 Referenční elipsoidy . . . . .	21
2.5 Transformace mezi souřadnicovými systémy . . . . .	22
2.6 Lokální ENU souřadnicová soustava . . . . .	24
2.7 Rychlost a směr pohybu . . . . .	25
2.8 Inerciální systém ECI . . . . .	25
2.9 Příklad . . . . .	26
<b>3 Poloha družice</b>	<b>29</b>
3.1 Rovnice dráhy družice . . . . .	29
3.2 Keplerovské parametry dráhy družice . . . . .	30
3.3 Výpočet dráhy družice z keplerovských parametrů . . . . .	31
3.4 Výpočet dráhy navigační družice GPS a Galileo . . . . .	33
3.5 Výpočet dráhy navigační družice GLONASS . . . . .	33
<b>4 Výpočet polohy</b>	<b>39</b>
4.1 Čas . . . . .	39
4.2 Relativistické jevy . . . . .	40
4.3 Časová základna družice . . . . .	40
4.4 Formulace navigační úlohy . . . . .	41
4.5 Řešení navigační úlohy . . . . .	42
4.6 Chyba polohy . . . . .	46
4.7 Rozšířený Kálmánův filtr . . . . .	47
4.8 Stavový model . . . . .	50
4.9 Model měření . . . . .	51
4.10 Příklad . . . . .	52
<b>5 Družicové navigační signály</b>	<b>55</b>
5.1 Požadavky . . . . .	55
5.2 Modulace . . . . .	55
5.3 BPSK . . . . .	56
5.4 BOC . . . . .	58

5.5	Dálkoměrné posloupnosti . . . . .	60
5.6	Náhodná posloupnost . . . . .	61
5.6.1	Posloupnost maximální délky . . . . .	61
5.6.2	Goldovy kódy . . . . .	64
5.6.3	Další kódy . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Šíření signálu</b>	<b>67</b>
6.1	Ionosférická refrakce . . . . .	67
6.1.1	Index lomu a doba šíření signálu . . . . .	67
6.1.2	Ionosférické zpoždění . . . . .	69
6.1.3	Dvoufrekvenční měření . . . . .	70
6.1.4	Modelování ionosférického zpoždění . . . . .	71
6.1.5	Klobucharův model ionosférického zpoždění . . . . .	72
6.1.6	Korekce ionosférického zpoždění systému Galileo . . . . .	73
6.1.7	Korekce ionosférického zpoždění systému GLONASS . . . . .	74
6.2	Troposférické zpoždění . . . . .	74
6.3	Mnohocestné šíření . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Zpracování navigačních signálů</b>	<b>77</b>
7.1	Sledování signálu . . . . .	78
7.1.1	Korelátor . . . . .	79
7.1.2	Diskriminátory . . . . .	80
7.1.2.1	Diskriminátory fáze . . . . .	80
7.1.2.2	Diskriminátory kmitočtu . . . . .	82
7.1.2.3	Diskriminátory zpoždění . . . . .	83
7.1.3	Filtr smyčky . . . . .	83
7.1.4	Chyby měření . . . . .	85
7.1.4.1	Chyba měření fáze . . . . .	85
7.1.4.2	Chyba měření kmitočtu . . . . .	89
7.1.4.3	Chyba měření zpoždění . . . . .	89
7.1.4.4	Chyby měření způsobené mnohocestným šířením signálu . . . . .	92
7.2	Demodulace navigační zprávy . . . . .	95
7.3	Počáteční synchronizace . . . . .	95
7.3.1	Sériové vyhledávání . . . . .	97
7.3.2	Paralelní metody vyhledávání . . . . .	101
7.4	Pokročilé algoritmy zpracování signálu . . . . .	102
7.4.1	Carrier smoothing . . . . .	103
7.4.2	Vysoká citlivost . . . . .	103
<b>8</b>	<b>Družicové navigační systémy</b>	<b>105</b>
8.1	GPS . . . . .	105
8.1.1	Historie . . . . .	105
8.1.2	Struktura systému a konstelace . . . . .	106

8.1.3	Signál a služby . . . . .	107
8.1.4	Navigační zpráva . . . . .	107
8.1.5	Modernizace . . . . .	109
8.2	GLONASS . . . . .	109
8.2.1	Historie . . . . .	109
8.2.2	Konstelace . . . . .	111
8.2.3	Signál . . . . .	111
8.2.4	Modernizace . . . . .	111
8.3	Galileo . . . . .	111
8.3.1	Historie . . . . .	111
8.3.2	Konstelace . . . . .	112
8.3.3	Signály a služby . . . . .	112
8.4	Compass . . . . .	114
8.5	Rozšiřující navigační systémy . . . . .	114
8.5.1	GBAS . . . . .	115
8.5.2	SBAS . . . . .	116
<b>9</b>	<b>Pokročilé metody výpočtu polohy</b>	<b>117</b>
9.1	PPP . . . . .	117
9.2	RTK . . . . .	117
9.2.1	Statické metody . . . . .	119
9.2.2	Kinematické metody . . . . .	119
9.2.3	Vlastnosti RTK . . . . .	120
<b>10</b>	<b>Softwarové rádio</b>	<b>121</b>
10.1	Programovatelné prostředky číslicového zpracování signálu . . . . .	122
10.1.1	Mikroprocesory . . . . .	122
10.1.2	Programování mikroprocesorů . . . . .	125
10.1.3	FPGA . . . . .	126
10.1.4	Programování FPGA . . . . .	128
10.2	Rekonfigurovatelná rádiová část . . . . .	130
10.2.1	Přijímač s přímým zesílením . . . . .	130
10.2.2	Superheterodynní přijímač . . . . .	131
10.2.3	Přijímač s přímou konverzí do základního pásma . . . . .	132
10.3	Srovnání softwarového rádia s klasickým . . . . .	133
10.4	Aplikace . . . . .	136
<b>11</b>	<b>Aplikace softwarového rádia v družicové navigaci</b>	<b>137</b>
11.1	Simulátory GNSS signálu . . . . .	137
11.2	Přijímače pro vědecké, výzkumné a pedagogické účely . . . . .	137
11.3	Specializované GNSS přijímače . . . . .	138
11.3.1	piNAV . . . . .	139
11.3.1.1	Rozvoj přijímače . . . . .	140
11.3.1.2	Testování přímače . . . . .	142

11.4 Shrnutí . . . . .	142
<b>Literatura</b>	<b>145</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>151</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>155</b>
<b>Seznam zkratk</b>	<b>157</b>
<b>Seznam symbolů</b>	<b>163</b>