

Obsah

1 ÚVOD (MARTIN ŠTRONER)	12
2 PRINCIPY FUNGOVÁNÍ TERESTRICKÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ (JIŘÍ POSPÍŠIL)	13
2.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ.....	13
2.2 ZÁKLADNÍ TYPY SKENERŮ	15
2.2.1 Metoda prostorového protínání vpřed	16
2.2.2 Prostorová polární metoda	16
2.3 ZÁKLADNÍ SOUČÁSTI SKENERŮ.....	17
2.3.1 Zdroje záření.....	17
2.3.1.1 Lasery	17
2.3.1.2 Projektory.....	20
2.3.2 CCD snímače	20
2.3.2.1 Princip snímání osvětlení a převodu náboje na napětí.....	21
2.3.2.2 Parametry důležité pro CCD snímače	23
2.3.2.2.1 Kvantová účinnost EQ (Quantum Efficiency)	23
2.3.2.2.2 Proud za temna (Dark Current)	23
2.3.2.2.3 Čtecí šum (Read noise)	23
2.3.2.2.4 Bitové rozlišení A/D převodníku.....	24
2.3.3 Principy určení délky.....	24
2.3.3.1 Elektronické určení délky.....	24
2.3.3.2 Optoelektronické určení délky.....	25
2.3.4 Principy rozmítání svazku	26
2.4 DĚLENÍ SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ	29
2.4.1 Statické systémy	29
2.4.1.1 Dělení skenerů podle principu	29
2.4.1.2 Dělení skenerů podle dosahu	30
2.4.1.3 Dělení skenerů podle přesnosti	30
2.4.1.4 Dělení skenerů podle rychlosti skenování	31
2.4.2 Kinematické systémy	31
2.4.2.1 Kinematické terestrické skenovací systémy	32
3 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA MĚŘENÍ TERESTRICKÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ (MARTIN ŠTRONER)	34
3.1 VNITŘNÍ VLIVY (CHYBY SKENERU)	34
3.2 VNĚJŠÍ VLIVY	35
3.2.1 Vliv prostředí na průchod svazku	35
3.2.2 Vliv geometrie skenovaných objektů na měření.....	39
3.2.3 Systematické chyby při měření na objekty s nenulovou křivostí	41
3.2.3.1 Podstata problému	41
3.2.3.2 Použité algoritmy ortogonálního prokládání	46

3.2.3.2.1	Algoritmus pro kružnici	46
3.2.3.2.2	Algoritmus pro kouli	48
3.2.3.3	Simulace působení systematického vlivu	49
3.2.3.3.1	Výsledky simulace skenování kružnice	49
3.2.3.3.2	Výsledky simulace skenování koule	51
3.2.3.4	Závěr	52
3.2.4	Vliv povrchu skenovaných objektů na měření	53
4	MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT (MARTIN ŠTRONER)	54
4.1	REKOGNOSKACE OBJEKTU MĚŘENÍ, VOLBA STANOVISEK SKENOVÁNÍ	54
4.2	SIGNALIZACE A ZAMĚŘENÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ	54
4.3	MĚŘENÍ	55
4.4	VSTUPNÍ ÚPRAVY MRAČEN BODŮ	56
4.5	SPOJOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SKENŮ POMOCÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ	56
4.5.1	Rovnice transformace	57
4.5.2	Lineární transformace	57
4.5.3	Obecná afinní transformace	59
4.5.4	Výpočet transformačního klíče metodou MNČ	60
4.5.5	Výpočet počátečních hodnot pro iteraci	62
4.5.6	Shrnutí postupu výpočtu	63
4.6	SPOJOVÁNÍ SKENŮ NA ZÁKLADĚ PŘEKRYTÍ	63
4.7	ÚPRAVY MRAČEN BODŮ	64
4.7.1	Odstraňování nadbytečných bodů	65
4.7.2	Přiřazování skutečných barev	65
4.7.2.1	Direktní lineární transformace	65
4.7.2.1.1	Matematický základ	66
4.7.2.1.2	Iterační výpočet	67
4.7.2.1.3	Výpočet přibližných hodnot pro iterační výpočet	67
4.7.2.1.4	Iterační výpočet s korekcí distorze objektivu	68
4.7.2.1.5	Shrnutí	68
4.7.2.2	Úloha protínání svazku paprsků	68
4.7.2.2.1	Výpočet prvků orientace vyrovnáním	70
4.7.2.2.2	Výpočet přibližných hodnot pro vyrovnání	73
4.7.2.2.3	Shrnutí postupu výpočtu	73
4.7.2.3	Postup určení barvy bodu ze snímkových souřadnic	73
4.7.2.3.1	Interpolace	73
4.7.2.3.2	Vážený průměr	74
4.8	ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ	74
4.8.1	Aproximace objektů matematickými primitivy	75
4.8.1.1	Algebraické prokládání	75
4.8.1.2	Ortogonální prokládání	75
4.8.1.3	Určení parametrické rovnice přímky – jednokrokový algoritmus	77
4.8.1.4	Určení parametrické rovnice přímky – dvoukrokový algoritmus	80

4.8.1.5	Řetězovka – jednokrokový algoritmus.....	81
4.8.1.5.1	Matematická formulace problému	81
4.8.1.5.2	Výpočet přibližných hodnot	84
4.8.1.5.3	Výpočet vyrovnaním.....	85
4.8.1.5.4	Testování postupu výpočtu	86
4.8.1.6	Řetězovka – dvoukrokový algoritmus.....	87
4.8.1.7	Požadavky a problémy výpočtu	88
4.8.2	Liniové vyhodnocení (drátový model)	88
4.8.3	Vyhodnocení založené na trojúhelníkových sítích	88
4.8.3.1	Triangulace mračna bodů	88
4.8.3.2	Redukce trojúhelníkových sítí.....	90
4.8.3.2.1	Výšková pole.....	91
4.8.3.2.2	Obecné povrchy.....	91
4.8.3.2.3	Redukce vrcholů	91
4.8.3.2.4	Redukce hran.....	91
4.8.3.2.5	Redukce trojúhelníků (oblastí)	92
4.8.3.2.6	Geometrická chyba aproximace.....	92
4.9	ZHUŠTĚNÍ BODŮ POVRCHU NA ZÁKLADĚ DIGITÁLNÍ FOTOGRAFIE.....	93
4.9.1	Postup zhuštění	93
4.9.2	Určení souřadnic bodu s DLT	94
4.9.3	Určení souřadnic bodu projektivní transformací	94
4.9.4	Určení, zda bod leží uvnitř trojúhelníku	95
4.9.4.1	Řešení výpočtem ploch	95
4.9.4.2	Řešení výpočtem úhlů	96
4.9.5	Algoritmus řešení úlohy.....	97
4.10	VIZUALIZACE	97
5	POROVNÁNÍ S DALŠÍMI METODAMI MĚŘENÍ, PRAKTICKÉ VYUŽITÍ, EKONOMICKÉ PŘÍNOSY (MARTIN ŠTRONER)	99
5.1	POROVNÁNÍ S DALŠÍMI METODAMI	99
5.2	PRAKTICKÉ VYUŽITÍ.....	100
5.2.1	Zaměřování reálného stavu stavebních konstrukcí.....	101
5.2.2	Dopravní stavby	101
5.2.3	Topografické mapování terénních útvarů	101
5.2.4	Využití v podzemních prostorech	102
5.2.5	Dokumentace památek v oblasti architektury a archeologie	102
5.2.5.1	Zaměřování historických budov.....	102
5.2.5.2	Zaměřování objektů v oblasti archeologie.....	103
5.2.6	Měření posunů a přetvoření objektů	103
5.3	EKONOMICKÉ PŘÍNOSY	105
6	TESTOVÁNÍ TERESTRICKÝCH SKENOVAČÍCH SYSTÉMŮ A PŘESNOSTI JEJICH MĚŘENÍ (MARTIN ŠTRONER, JIŘÍ POSPÍŠIL)	108

6.1	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘESNOST MĚŘENÍ DÉLEK	108
6.2	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘESNOST MĚŘENÍ ÚHLŮ	115
6.3	TESTY ZKOUMAJÍCÍ VLIV ODRAZIVOSTI POVRCHU SKENOVANÉHO MATERIÁLU A ÚHLU DOPADU SVAZKU PAPERŮ	116
6.4	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘÍSTROJOVÉ CHYBY	120
6.5	TESTY ZKOUMAJÍCÍ VLIV GEOMETRIE SKENOVANÉHO OBJEKTU	121
6.6	DALŠÍ TESTY	124
6.7	KOMPLEXNÍ METODIKA TESTOVÁNÍ (DLE [63])	127
6.7.1	Popis testovacích měření	128
6.7.2	Popis vyhodnocení měření	129
6.7.3	Technologický postup	130
6.8	ZÁVĚR	133
7	VYBRANÉ DOSTUPNÉ SKENERY (MARTIN ŠTRONER)	134
7.1	VÍCEÚČELOVÉ SKENOVACÍ SYSTÉMY SE ZÁKLADNOU	134
7.1.1	Atos III	134
7.1.2	Callidus CT 180	134
7.1.3	Callidus CT 900	135
7.2	VÍCEÚČELOVÉ POLÁRNÍ SKENERY S DOSAHEM DO 1000 M	135
7.2.1	Callidus CPW 8000	135
7.2.2	Faro Photon 80	136
7.2.3	I-Site 4400LR	136
7.2.4	Leica HDS 6000	137
7.2.5	Leica Scanstation 2	137
7.2.6	MDL LaserAce Scanner	138
7.2.7	Riegl LMS-Z210ii	138
7.2.8	Riegl LMS-Z390i	139
7.2.9	Riegl LMS-Z420i	139
7.2.10	Trimble GX	139
7.3	VÍCEÚČELOVÉ POLÁRNÍ SKENERY S DOSAHEM VÍCE NEŽ 1000 M	140
7.3.1	Iliris 36D	140
7.3.2	Riegl LPM-321	140
7.3.3	Riegl LMS-Z620	141
7.4	SKENOVACÍ TOTÁLNÍ STANICE	141
7.4.1	Topcon Imaging Station IS-1	141
7.4.2	Trimble VX	142
7.5	SPECIALIZOVANÉ SYSTÉMY	143
7.5.1	C-ALS systém (MDL)	143

7.5.2	Leica T-Scan AT – 901 LR.....	143
7.5.3	HandyScan 3D.....	144
7.5.4	Cyberware Whole Body X 3D Scanner.....	144
7.6	KINEMATICKÉ SYSTÉMY	145
7.6.1	Street Mapper	145
7.6.2	Lynx Mobile Mapper.....	145
8	SKENOVACÍ SYSTÉMY VYVÍJENÉ V LABORATOŘI LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ (MARTIN ŠTRONER).....	147
8.1	LASEROVÝ A OPTICKÝ ROTAČNÍ SKENER (LORS)	147
8.1.1	LORS 1.....	147
8.1.2	LORS 2.....	148
8.1.3	LORS 3.....	151
8.1.4	LORS 4.....	151
8.2	SKENER S VIRTUÁLNÍMI BINÁRNÍMI ZNAČKAMI (BiMATRIK).....	153
8.2.1	Základní princip skeneru.....	154
8.2.2	Základní princip generování a dekodování náhodných značek.....	154
8.2.2.1	Volba velikosti a tvaru značky.....	155
8.2.2.2	Celkový počet značek.....	155
8.2.2.3	Rozmístění a barva značek.....	155
8.2.3	Konkrétní řešení vyhodnocení a dekodování virtuálních značek	155
8.2.3.1	Praktické vyhodnocení bodů.....	155
8.2.3.2	Určení, zda je pixel „nula“ nebo „jedna“	156
8.2.3.3	Určení kódu bodu.....	156
8.2.3.4	Určení snímkových souřadnic bodu.....	156
8.2.3.5	Výpočet prostorových souřadnic bodů.....	156
8.2.4	Přístrojové a programové vybavení.....	156
8.2.5	Testování skeneru.....	157
8.2.6	Další vývoj systému.....	159
8.3	VIRTUÁLNÍ LASEROVÝ SKENER (VLS).....	159
8.3.1	Matematický základ generátoru měření	159
8.3.2	Princip generování bodů.....	161
8.3.3	Postup generování bodů	164
8.3.4	Dostupné třídy a metody.....	164
8.3.4.1	Třída skener	164
8.3.4.2	Třída pstore	165
8.3.4.3	Třída normgen	165
8.3.5	Příklad generování pro eliptický válec.....	165
8.3.6	Závěr	165
8.4	KNIHOVNA PRO ORTOGONÁLNÍ PROKLÁDÁNÍ SPATFIG	166
8.5	POINTCLOUDER	167

8.5.1	Funkční moduly programu	167
8.5.2	Jádro programu	168
8.5.3	Ovládání pohledů.....	168
8.5.4	Výběry bodů, viditelnost	168
8.5.5	Funkce.....	170
8.5.6	Možnosti nastavení	170
8.5.7	Vyvíjené funkce a moduly.....	170
8.5.7.1	Implementace VLS - Virtual Laser Scanner	170
8.5.7.2	Implementace SPATFIGU.....	170
8.5.7.3	Další funkce	171
8.5.8	Závěr	171
9	ZÁVĚR.....	172
10	LITERATURA.....	173
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	180
12	SEZNAM TABULEK.....	183
	ABSTRACT	184