

Program Denoiser v1.4 (10.11.2012)

doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D.,
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Anotace

Program pro potlačení šumu v datech 3D skenování na základě využití okolních dat prokládáním bivariantními polynomickými plochami nultého až čtvrtého řádu. Pro plochy druhého až čtvrtého řádu jsou použity Čebyševovy polynomy pro zajištění ortogonalitu jednotlivých členů a zvýšení stability výpočtu.

Obsah

1. ÚVOD.....	2
2. POPIS ALGORITMU ZPRACOVÁNÍ.....	2
2.1 PŘEPOČET SOUŘADNIC NA ZPROSTŘEDKUJÍCÍ VELIČINY	2
2.2 ALGORITMUS VYHLEDÁNÍ ZVOLENÉHO OKOLÍ BODU	3
2.3 PROLOŽENÍ OKOLÍ BODŮ PLOCHOU - KONSTRUKCE PLOCH POMOCÍ POLYNOMŮ A ČEBYŠEVOVÝCH POLYNOMŮ	3
2.4 ŘEŠENÍ PROLOŽENÍ PLOCHY METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ A POMOCÍ NORMY L1, VOLBA VAH	4
2.5 VÝPOČET VYHLAZENÉ DÉLKY, SOUŘADNIC A DOPLŇUJÍCÍ KRITÉRIA VYHLAZENÍ	4
3. POPIS PROGRAMU.....	5
3.1 UŽIVATELSKÉ ROZHŘANÍ PROGRAMU	5
4. ZÁVĚR.....	6
5. LITERATURA.....	6

1. Úvod

3D pozemní skenování založené na prostorové polární metodě (často nazývané také laserové skenování) je geodetická metoda určování prostorových souřadnic bodů, obvykle v rámci jednoho skenu v pravidelném úhlovém rastru. Měří se vždy vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá délka. Souřadnice se v místní soustavě definované počátkem = vztažným bodem skeneru a základním (nulovým) vodorovným směrem určujícím směr kladné osy X. Mnohé skenovací systémy pracují libovolně natočeny a tedy rovina XY není nutně ve skutečnosti vodorovná.

Významnou charakteristikou skenovacího procesu je vysoká rychlost měření, a také neselektivita výběru bodů. Přesnost měření lze charakterizovat směrodatnými odchylkami měření již zmíněných veličin (blíže k 3D terestrickému skenování v [1]).

U běžně prováděných geodetických měření lze při vyšších požadavcích na přesnost, než odpovídá jedenkrát provedenému měření, běžně zvyšovat počty opakování a aritmetickým průměrem získat přesnější výsledky, případně téhož dosáhnout měření nadbytečných veličin a zvýšit přesnost vyrovnáním. U 3D skenování to (až na výjimky u některých přístrojů firmy Trimble, např. typ GS 200 [2]; nebo využitím programu ScanAverager [4] pro opakovaně pořízená data z konkrétních vybraných přístrojů) není běžně možné.

Přesnost měřené délky je obvykle u víceúčelových 3D skenerů jedním z limitujících faktorů dosažitelné přesnosti výsledku měření, tuto přesnost lze u spojitých povrchů vylepšit odstraněním šumu (náhodných chyb) na základě vlastností okolních bodů.

Byl vytvořen specializovaný program pro zpracování skenů, kde se na vybrané okolí bodů aplikuje proložení vybranou plochou a nová vzdálenost bodu se určí jako vzdálenost k bodu promítnutého na proloženou plochu.

2. Popis algoritmu zpracování

Při zpracování se postupně pro každý bod skenu vybere zvolený počet nejbližších bodů, tyto se proloží vybranou plochou a prodloužením či zkrácením paprsku o daném vodorovném směru a zenitovým úhlu se na průsečík s plochou se získá nová (vyhlazená) poloha bodů.

Skenovaná data, ačkoli jsou při měření vždy získána v určitém pořadí, si po exportu si toto uspořádání nezachovávají, proto pro vyhledání okolí bodu ve velkém mračnu (statisíce až milióny bodů) byl zvolen postup převodů problému vyhledání okolí v prostoru (3D) na vyhledání v rovině (2D), byl navržen algoritmus, jehož základem využití souřadnic přepočtených na šikmé délky, vodorovné směry a zenitové úhly v místní souřadnicové soustavě skeneru. Aby tento postup byl využitelný, je nutné vyhlazovat data netransformovaná.

2.1 Přepočet souřadnic na zprostředkující veličiny

Prvním krokem výpočtu je výpočet zprostředkujících hodnot, tj. „měřených veličin“, šikmé délky d , vodorovného směru φ a zenitového úhlu z v místní souřadnicové soustavě skeneru z exportovaných souřadnic jednotlivých bodů X , Y , Z podle následujících vzorců. Přímo měřené hodnoty ze skeneru získat nelze.

$$d = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (1)$$

$$j = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \text{ pro } X \neq 0, \quad (2)$$

se zařazením do správného kvadrantu

$$\text{pro } X < 0 \text{ platí } \varphi = j \pm 200\text{gon}, \text{ pro } X > 0 \text{ platí } \varphi = j. \quad (3)$$

$$z = \arccos\left(\frac{Z}{d}\right) \text{ pro } d > 0. \quad (4)$$

2.2 Algoritmus vyhledání zvoleného okolí bodu

Pro proložení plochy okolím o velikosti n bodů je nutné nalézt $(n-1)$ nejbližších bodů v mračnu. Pro zvýšení rychlosti vyhledávání byl implementován algoritmus zásadně zrychlující vyhledávání odpovídajících si bodů v různých skenech. Body jsou při načítání předtříděny do struktury gontree, tj. do „čtvercových buněk“ o rozsahu $0,5 \text{ gon} \times 0,5 \text{ gon}$, vyhledávání se pak děje pouze v buňce odpovídající buňce daného bodu a v buňkách sousedních (prohledává se tedy zorné pole $1,5 \text{ gon} \times 1,5 \text{ gon}$). Pokud se nenalezne dostatečný počet bodů v tomto zorném poli, přidá se ještě jedna vrstva okolo (zorné pole celkem $2,5 \times 2,5 \text{ gon}$).

Kvalitativní efekt je různý v závislosti na hustotě skenování, za běžných podmínek se vyhledávání zrychlí několikasetnásobně, zároveň byl výpočet paralelizován, což přináší další zrychlení výpočtu.

Určené hodnoty šikmé délky a úhlů umožní zjednodušit vyhledávací algoritmus. Prvním krokem je pro řešený bod daný „měřenými“ hodnotami φ_z, z_z určit buňku a jejích osm sousedních, v těchto buňkách nalezené body se seřadí dle kritéria

$$h_i = (\varphi_z - \varphi_i)^2 + (z_z - z_i)^2 \quad (5)$$

A pro další výpočet se použije prvních n bodů, první bod je vždy řešená bod a kritérium h je rovno nule.

2.3 Proložení okolí bodů plochou - konstrukce ploch pomocí polynomů a Čebyševových polynomů

Plocha pro proložení může být jednoduše konstruována, v následujícím předpisu je uvedena s využitím členů druhého řádu.

$$d_i = a_0 + a_1 \cdot \varphi + a_2 \cdot z + a_3 \cdot \varphi^2 + a_4 \cdot z^2 + a_5 \cdot \varphi \cdot z. \quad (6)$$

Délka je funkcí úhlových souřadnic směru a zenitového úhlu. Vyšší řád pro proložení vzhledem k velmi pravidelné mřížce dat 3D skenování nelze použít, výpočet je pak numericky nestabilní. Nižší řád se získá vyškrtnutím přebytečných členů.

Pro plochu tvořenou členy vyššího řádu je nutné využít ortogonální polynomy, např. Čebyševovy polynomy, které se snadno konstruují. Nejprve se libovolný interval lineárně transformuje na interval $\langle -1, 1 \rangle$. Každému $x \in \langle ax, bx \rangle$ bude přiřazena hodnota $tx \in \langle -1, 1 \rangle$ funkčním předpisem:

$$t\varphi = 2 \cdot \frac{\varphi - \frac{1}{2}(a\varphi + b\varphi)}{b\varphi - a\varphi}, \quad tz = 2 \cdot \frac{z - \frac{1}{2}(az + bz)}{bz - az}. \quad (7)$$

V případě dvou proměnných se každá z nich transformuje nezávisle. Následně pro člen polynomu platí:

$$T_n(x) = \cos(n \cdot \arccos(x)) . \quad (8)$$

Tvar plochy čtvrtého stupně:

$$d_i = f(t\varphi, tz) = a_0 + a_1 \cdot T_1(t\varphi) + a_2 \cdot T_1(tz) + a_3 \cdot T_2(t\varphi) + a_4 \cdot T_1(t\varphi) \cdot T_1(tz) + a_5 \cdot T_2(tz) + a_6 \cdot T_3(t\varphi) + a_7 \cdot T_2(t\varphi) \cdot T_1(tz) + a_8 \cdot T_1(t\varphi) \cdot T_2(tz) + a_9 \cdot T_3(tz) + a_{10} \cdot T_4(t\varphi) + a_{11} \cdot T_3(t\varphi) \cdot T_1(tz) + a_{12} \cdot T_2(t\varphi) \cdot T_2(tz) + a_{13} \cdot T_1(t\varphi) \cdot T_3(tz) + a_{14} \cdot T_4(tz) . \quad (9)$$

Konstrukce a využití Čebyševových polynomů je podrobně popsána v [5], konkrétní využití ve fotogrammetrické problematice pro potlačení vlivu distorze na velmi podobném principu je popsáno v [6].

2.4 Řešení proložení plochy metodou nejmenších čtverců a pomocí normy L1, volba vah

Podrobný rozpis postupu proložení plochou lze nalézt v [5]. Řešení lze provést metodou nejmenších čtverců, ale také robustní metodou – minimalizací sumy absolutních hodnot oprav (norma L1), postup výpočtu lze nalézt tamtéž. Tato metoda byla zvolena vzhledem k tomu, že pro výpočet není nutné znát předpokládanou přesnost pro stanovení vah a robustní výpočet. Pro výpočet metodou nejmenších čtverců lze zvolit výpočet s vahami určenými na základě intenzit nebo na základě úhlové vzdálenosti od vyhlazovaného bodu.

Podle intenzity se váha určuje podle vzorce:

$$p_i = 1,0 - K \cdot \frac{|I_0 - I_i|}{\Delta I_{max}} , \quad (10)$$

kde I_0 je intenzita vyhlazovaného bodu a I_i je intenzita bodu, kterému je přidělována váha, ΔI_{max} je maximální rozdíl intenzit v prokládaném okolí bodu. Maximální váha je tedy 1, vliv intenzity na váhu lze určovat pomocí koeficientu k , který se volí $K \in (0,1)$.

Podle úhlové vzdálenosti se váha určuje podle vzorce:

$$p_i = 1,0 - K \cdot \left(\frac{dU_i}{dU_{max}} \right)^M , \quad (11)$$

kde dU_i je úhlová vzdálenost bodu okolí, kterému je přidělována váha, od vyhlazovaného bodu, dU_{max} je maximální úhlová vzdálenost v prokládaném okolí bodu. Maximální váha je tedy 1, vliv úhlové vzdálenosti na váhu lze určovat pomocí koeficientu K , který se volí $K \in (0,1)$, pomocí koeficientu M lze určit průběh váhy (kvadratický $M = 2$, lineární $M = 1$, s odmocninou $M = 1/2$).

2.5 Výpočet vyhlazené délky, souřadnic a doplňující kritéria vyhlazení

Vyhlazená délka se určí dosazením úhlových hodnot vyhlazovaného bodu (φ_i, z_i) do rovnice plochy s využitím koeficientů získaných proložením. Souřadnice se vypočítají prostorovou polární metodou, před jejich výpočtem se provede kontrola, zda oprava

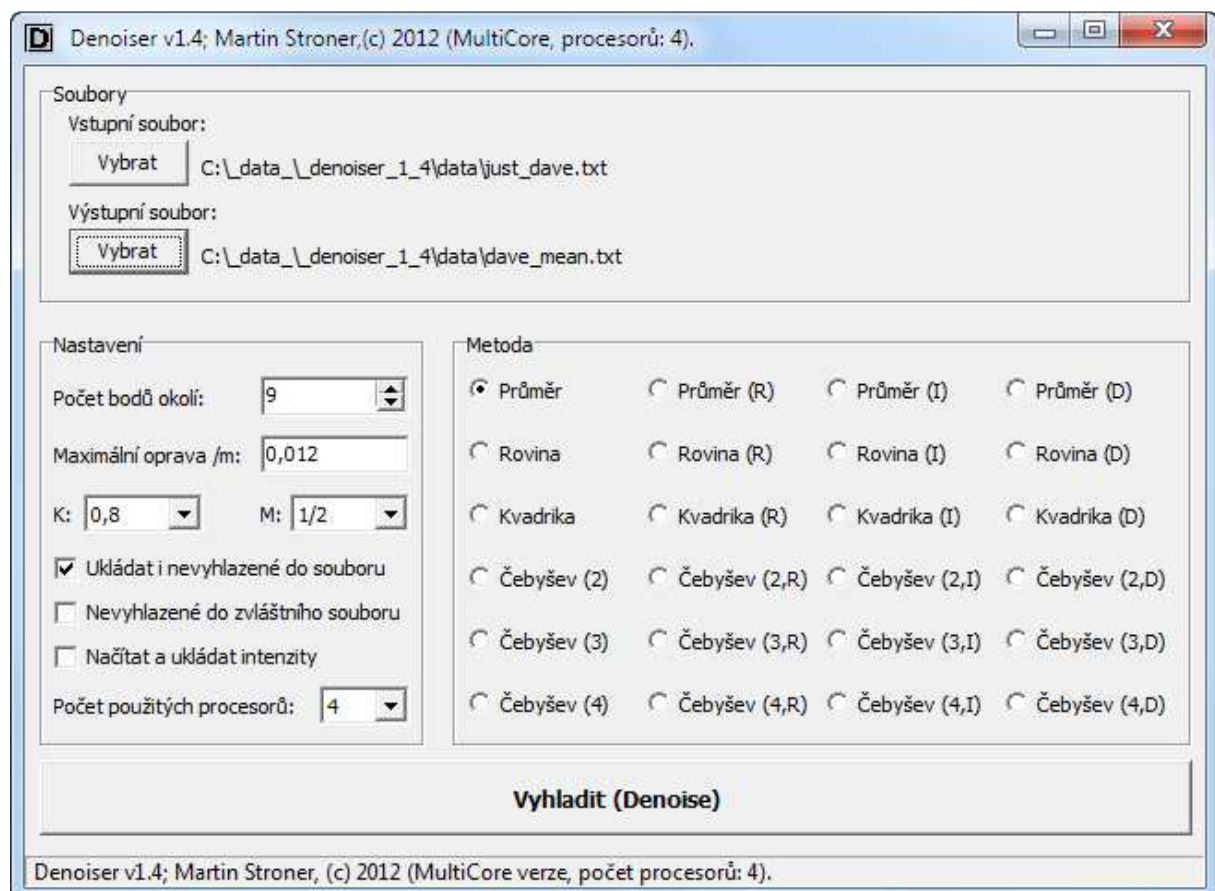
(změna) měřené délky nepřekračuje maximální opravu definovanou uživatelem na základě znalosti přesnosti použitého dálkoměru nebo ze zkušenosti. Zavedení této kontroly je provedeno proto, aby např. nebyly spojovány body na různých sousedících plochách a nedocházelo k vyhlazení na základě mylných předpokladů. Nastavení této hodnoty lze předpokládat o velikosti $v_M = \sigma_d \cdot u_p$; kde u_p se doporučuje volit 2,5; tj. pro dálkoměr se směrodatnou odchylkou 4 mm je $v_M = 10 \text{ mm}$.

3. Popis programu

Program byl zpracován v prostředí Delphi ([3]), což je v současné době jeden z nejrozšířenějších nástrojů RAD vývojových prostředí (Rapid Application Development). Program aplikuje výše uvedené postupy, umožňuje načíst data a provést vyhlazení zvolenou metodou. Vzhledem k náročnosti výpočtu byl výpočet paralelizován pro volitelné množství logických procesorů.

3.1 Uživatelské rozhraní programu

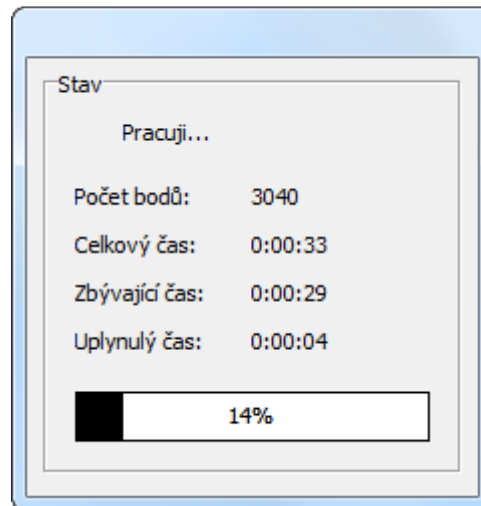
Program se skládá z hlavního formuláře na Obr. 1. Před spuštěním výpočtu je vhodné nastavit parametry v části Nastavení a vybrat metodu vyhlazení, kde „R“ u metody značí robustní výpočet normou L1, „I“ u metody značí přidělení vah na základě intenzity a „D“ u metody značí přidělení váhy na základě úhlové vzdálenosti, připojené číslo pak řád polynomu. Kromě popsaných proložení plochami je implementována i metoda nejjednodušší – prostý průměr vzdáleností zvoleného okolí bodu.



Obr. 1 Hlavní formulář programu po načtení dat

Po spuštění výpočtu tlačítkem „Vyhladit (Denoise)“ se objeví formulář zobrazující průběh výpočtu spolu s odhadovanou dobou výpočtu (Obr. 2).

Po provedení výpočtu se výsledná data uloží do předem vybraného souboru, v případě nastaveného odděleného uložení nevyhlazených bodů se uloží do souboru se stejným jménem s přidaným znakem podtržítka na konec („_“).



Obr. 2 Průběh výpočtu

4. Závěr

Program je vzhledem k principu vyhledávání využitelný pro neupravená data, je vhodné provést vyhlazení a poté další zpracování počínaje transformací. Na základě hustoty a charakteru dat je nutné volit velikost okolí a tvar funkce, neplatí, že vyšší řád automaticky značí kvalitnější výsledky. Vždy je nutná nejméně vizuální kontrola výsledku a také hodnocení kvality výsledku.

Využití programu má vždy dva protichůdné efekty. Čím více dojde k odstranění šumu, tím více dojde k potlačení detailů a naopak a je tedy nutné vážit velikost použitého okolí a tvar plochy.

*Program i návod byl zpracován v rámci řešení grantového SGS12/051/OHK1/1T/11
Optimalizace získávání a zpracování 3D dat pro potřeby inženýrské geodézie.*

5. Literatura

- [1] Štroner, M. - Pospíšil, J.: Terestrické skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [2] Trimble GS-200. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-217217/022543-119A_GSSeries_DS_0405_lr.pdf. 8.8.2010.
- [3] <http://www.embarcadero.com/products/delphi>, 8.8.2010.
- [4] http://sgeo.fsv.cvut.cz/~stroner/ScanAverager_v2, 18.6.2012.
- [5] Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.

- [6] Urban, R.: Lens Distortion Influence Suppression. In: Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2008 [CD-ROM]. Košice: Technical University , BERG Faculty, 2008, p. 1-10. ISBN 978-80-553-0079-5.