

# Experimentální Analýza Napětí 2003

## IMAGE DATA ANALYSIS OF 3D TOPOGRAPHY

## ANALÝZA OBRAZOVÝCH DAT 3D TOPOGRAFIE

Dušan Mandát, Libor Nožka<sup>1</sup>, Miroslav Hrabovský<sup>2</sup>.

*This article is about 3D scanning topography. It is a new optical method that use the detection of laser trace projected on diffuse reflecting surface. The analyses of laser trace is executed by software XCAP-Std<sup>TM</sup> and the international standard for virtual objects ISO/IEC 14772-1:1997 - VRML language. The analyses contains treshold of the picture, detection of the trace, matrix operation on pictures and math operation with measuring data. The last section is about generating the three dimensional model of the scanning objects.*

### Keywords

topography, profilometry, image analysis, treshold, laser trace, matrix operation, XCAP-Std<sup>TM</sup>, ISO/IEC 14772-1:1997, VRML, optická topografie, profilometrie, obrazová analýza, prahování, laserová stopa, maticové operace, filtrování

## Úvod

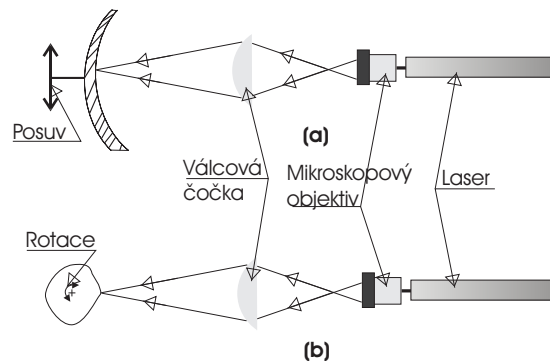
3D optická skenovací topografie je moderní bezkontaktní metoda zabývající se skenováním povrchu difuzně odrazných předmětů s cílem vytvořit jejich virtuální třírozměrnou mapu. Metoda je založena na detekci laserové stopy projektované na povrch zkoumaného objektu. Při její tvorbě se využije svazku z laseru, který je pomocí mikroskopového objektivu a válcové čočky upraven na tenkou stopu. Tato stopa promítaná na daný objekt je následně snímána a vyhodnocována. Zjistí se souřadnice několika vybraných bodů. Tyto body poslouží ke tvorbě 3D modelu. Tvorbu topografického modelu můžeme provést dvěma způsoby. První způsob je zaměřen na skenování předmětů v jedné rovině, obr. 1a. Výsledkem je mapa přilehlé viditelné plochy objektu, kdy výstupem je určitá "výšková mapa předmětu". Druhý způsob je založen na rotačním skenování objektu [1, 2, 3] obr. 1b. Předmět je snímán digitální kamerou a vyhodnocován softwarem v počítači. Při rekonstrukci plochy lze využít vlastních algoritmů, popřípadě hotových standardů 3D obrazových systémů.

Jako modelový objekt jsme zvolili lopatku oběžného kola čerpadla. Skenována byla konvexní plocha. Při našich měření využíváme ke snímání dat kamery SILICON VIDEO® 2112, program XCAP-Std<sup>TM</sup> a knihovny XCLIB<sup>TM</sup> V2.2 firmy EPIX. Počítačové zpracování výsledků měření spočívá v kalibraci systému, zaznamenání pozice proužku při posunutí předmětu, detekci stopy, vybrání reprezentativních bodů ze stopy, výpočet  $x, y, z$  souřadnic bodu a vytvoření virtuálního

<sup>1</sup>Mgr. Dušan Mandát, Mgr. Libor Nožka, Společná laboratoř optiky UP a FzÚ AV ČR, Olomouc, tř. 17.listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420585631573, e-mail: mandat@optnw.upol.cz, nozka@optnw.upol.cz

<sup>2</sup>Doc. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., Společná laboratoř optiky UP a FzÚ AV ČR, Olomouc, tř. 17.listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420585631501, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz

modelu ve standardu ISO/IEC 14772-1:1997. ISO/IEC 14772-1:1997 je mezinárodní norma pro vytváření virtuálních obrazů, jinak také označován jako VRML jazyk ( **V**irtual **R**eality **M**odeling **L**anguage).



obr. 1: 3D skenovací topografie, dva způsoby skenování objektu

## Skenovací topografie

Skenovací topografie sestává z těchto kroků : vytvoření tenké světelné stopy → projekce stopy na předmět → zaznamenání jednotlivých pozic → zpracování naměřených dat → vytvoření modelu. Tvorba stopy je popsána v úvodu článku, zpracování naměřených dat se vykonává v následujících krocích:

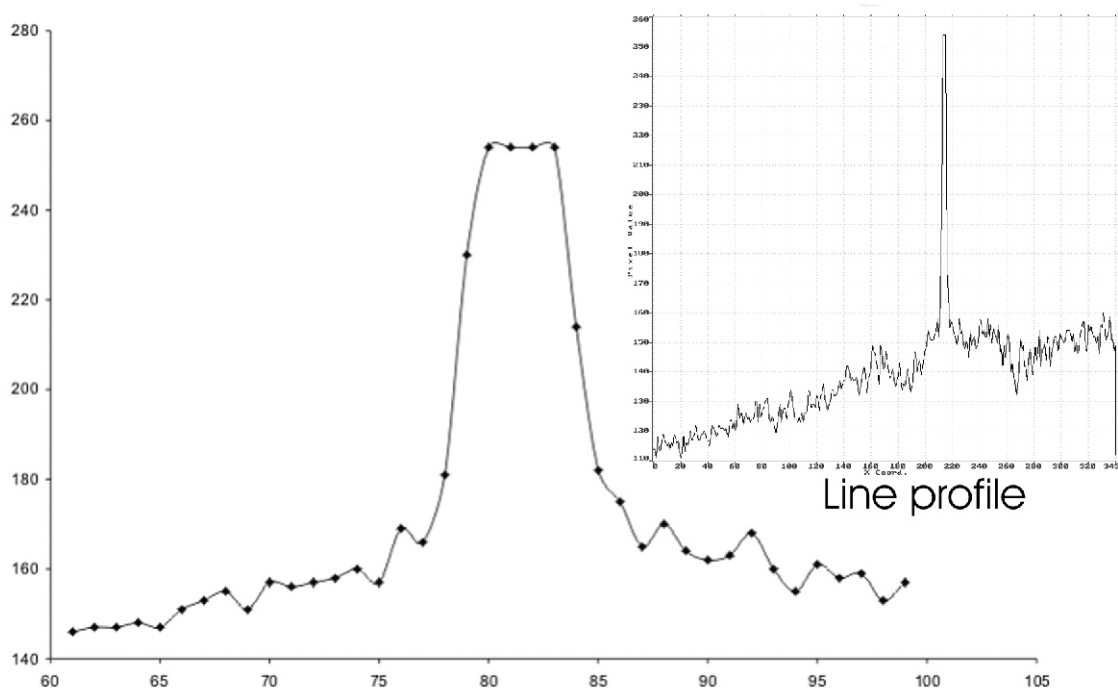
- prahování snímku
- filtrace zrn, separace stopy
- výpočet středu stopy
- výběr reprezentativních bodů na stopě
- výpočet souřadnic těchto bodů
- vytvoření virtuálního třírozměrného modelu předmětu.

### Prahování (Treshold)

Prvním krokem při zpracování uložených obrázků je vyseparování stopy ze snímku. K tomuto účelu se využije jednoduchá procedura zpracování obrazových dat. Tato procedura nese označení *TRESHOLD*. Postup je též nazýván *prahování*. Jedná se o operaci, kterou lze jednoduše popsat následovně :  $\forall X \in M, h(X) \in < 0, 255 >, h < TRESH = 0$ , jinými slovy pokud hodnota intenzity  $h(X)$  v jednotlivých pixelech je menší než prahová hodnota *TRESH*, nastav tuto hodnotu rovnu 0 v opačném případě ponechej stávající.  $M$  je množina všech pixelů v obraze. Vytvoří se tedy nový obraz, kde jsou nadprahové pixely obtékány černým pozadím. Toto je velice praktické,

jelikož v dalším zpracování pixely s nulovou intenzitou neuvažujeme a pracujeme pouze s vyseparovanými body.

Nejdůležitějším krokem v této fázi je stanovení prahovací úrovně. Na velikosti této hodnoty závisí tvar (respektive šířka) výsledné stopy. Z našich výsledků plyne že intenzita stopy symetricky klesá od jejího středu, tím tedy odpadájí pochybnosti o volbě prahu, obr. 2.



obr. 2: Průběh intenzity v jednom řádku nasnímaného objektu

Lze navrhnout hodnotu prahu tak, aby byly v obraze odstraněny ostatní objekty, které by mohly při dalším zpracování zkreslit výsledky. Při našich měřeních pracujeme s osmibitovými bitmapami (úroveň šedi), volíme prahovací úroveň 230. Ukazuje se, že i po prahování se v obraze vyskytují oblasti mimo stopu, které se pomocí této metody nepodařilo odseparovat. Jejich příčinou jsou lokální povrchové elementy, které vykazují vyšší odrazivost než zbytek objektu. Tyto plošky odráží světlo od okolních zdrojů a vytváří šum v obraze, jistý vliv zde může mít i speckle efekt. Toto pozadí však nemá vliv na charakter stopy a lze je odseparovat. Jednou možností jejich odseparování, týkající se vlivu pozadí na objekt, je jednoduché odstínění těchto zdrojů (například měření ve tmě). Další metodou je separace těchto chyb přímo v obraze pomocí filtrace.

## Filtrace

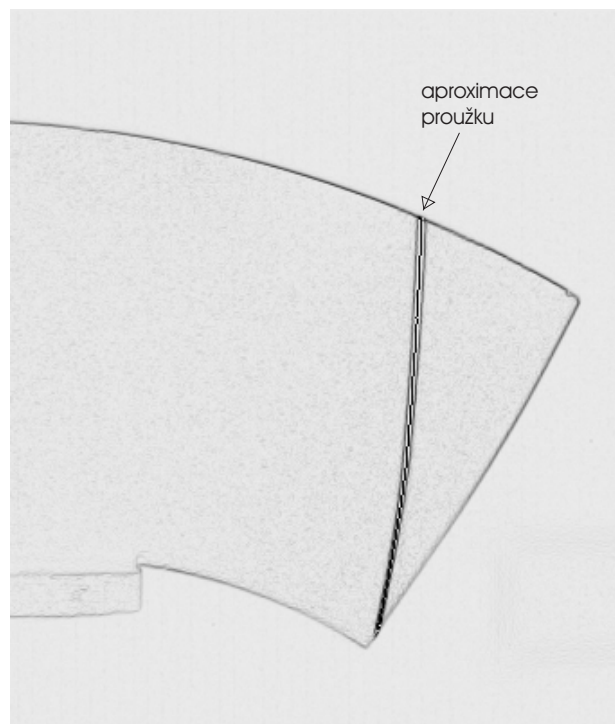
Pro kompenzaci lokálních chyb v obraze je nejvhodnější použít filtrační matici. Navrhne se taková čtvercová matice ( s lichým počtem řádků, sloupců), která provede definovanou operaci na celém snímku za účelem filtrování těchto chyb. V obraze, který se nejprve naprahuje, se vyhledají pixely s nenulovou hodnotou a ty se poté testují. Tyto body tvoří střed matice na které se testuje počet nenulových pixelů v jejich okolí. Podmínka je nastavena takto: *pokud počet nenulových pixelů je větší než definovaná hodnota je centrálnímu pixelu této matice ponechána jeho hodnota, jinak se tato hodnota nastaví na nulu.*

## Střed stopy a reprezentativní body

Po prahování a filtraci dostáváme snímek tvořený stopou a černým pozadím. Ze stopy je třeba vybrat reprezentativní body pro model. Jelikož je stopa široká, je jí potřeba nahradit jednotlivými body. Určíme jednoduše její střed podle vztahu pro výpočet váženého průměru

$$x_{cen} = \frac{\sum_i h(X)x}{\sum_i h(X)}, \quad (1)$$

kde  $h(X)$  je intenzita v pixelu se souřadnicí  $x$ . Na obr. 3 je stopa proložená křivkou tvořenou body  $x_{cen}$ . Celou délku stopy rozdělíme na zvolený počet  $p$  intervalů, kde krajní body jsou



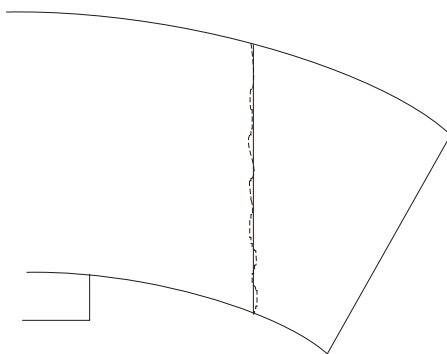
obr. 3: Stopa proložená křivkou tvořenou body  $x_{cen}$

tvořeny počátečním a koncovým bodem stopy. Vybereme tedy  $q$  hraničních bodů intervalů, kterým přiřadíme souřadnice  $[X_{pq}, Z_{pg}]$  v *pixelech*. Souřadnice  $X_{pg}$  reprezentuje velikost výchylky plochy lopatky od roviny  $YZ$ . Tyto souřadnice je nutno dopočítat. K tomuto účelu poslouží kalibrace Skenovací metody.

## Kalibrace

Kalibraci provádíme tak, že s referenčním tělesem (hranolem) pohybujeme směrem k a od zdroje světla definovanými kroky. Pro jednotlivé posuvy proložíme stopu křivkou s použitím metody nejmenších čtverců. Dostaneme tedy  $n$  kalibračních křivek, v dalším kroku se vypočítají kalibrační konstanty.

Opět určíme střed stopy pomocí vztahu (1). Soubor hodnot pro lineární regresi je tedy tvořen hodnotami  $x_{cen}$  ve všech řádcích celé stopy a souřadnicí  $z$ , která reprezentuje řádek pixelu. Situace je patrná na obr. 4.



obr. 4: Proložení stopy body, které tvoří vážené průměry

Tyto body proložíme křivkou  $\bar{x} = az + b$ . Metoda nejmenších čtverců[4] má nastavenou podmínku

$$S = \sum_{i=1} (x_{cen} - \bar{x})^2 = \min. \quad (2)$$

Hledáme tedy křivku  $\bar{z} = ax_i + b$ , s přihlédnutím na první podmínku a podmínky  $\frac{\delta S}{\delta a} = 0$  a  $\frac{\delta S}{\delta b} = 0$ . Po dosazení a vypočítání derivací dojdeme ke vztahu

$$\sum_i z_i^2 a + \sum_i z_i b = \sum_i x_i z_i, \quad (3)$$

$$\sum_i z_i a + nb = \sum_i x_i. \quad (4)$$

Zavedeme zjednodušení, kdy jednotlivé sumy nahradíme koeficienty  $\sum_i z_i^2 = A$ ,  $\sum_i z_i = B$ ,  $\sum_i x_i z_i = C$ ,  $\sum_i x_i = D$ , potom se situace zjednoduší na

$$Aa + Bb = C, \quad (5)$$

$$Ba + nb = D. \quad (6)$$

Pak koeficienty  $a, b$  vypočítáme po úpravách takto

$$a = \frac{nC - BD}{nA - B^2}, \quad (7)$$

$$b = \frac{CB - DA}{B^2 - nA}. \quad (8)$$

## Určení souřadnic bodů

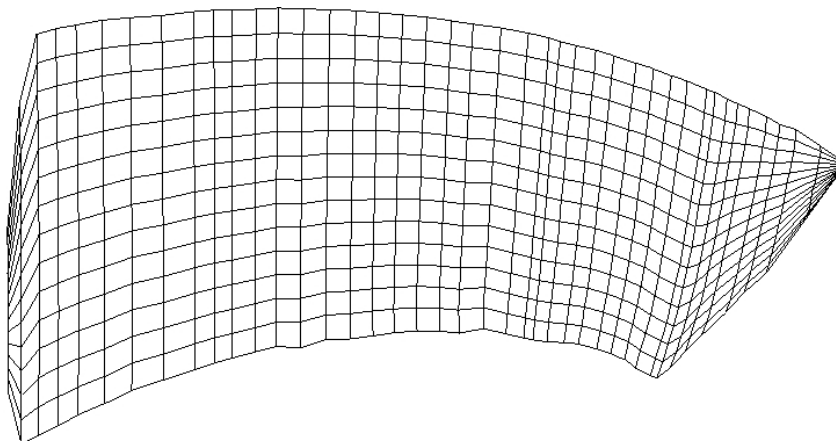
Posledním krokem při zpracování je přiřazení souřadnic bodům. Souřadnice  $y$  je stanovena posuvem lopatky v této ose, v ose  $z$  se přepočítá pozice pomocí kalibračních konstant. Pro výpočet polohy  $x$  použijeme celý soubor regresních křivek aproximovaných proužků. Vzájemným srovnáním jejich polohy a polohy reprezentativního bodu určíme tuto souřadnici dle vztahu

$$\Delta x_i = (x_i - x_{ref}) + (x_{rb} - x_i), \quad (9)$$

kde  $x_{ref}$  je souřadnice referenčního proužku,  $x_i$  souřadnice  $i$ -teho proužku a  $x_{rb}$  souřadnice reprezentativního bodu. Ze všech hodnot  $\Delta x_i$  se vypočítá průměrná hodnota. Tato hodnota po přepočtu přes kalibrační konstantu poslední souřadnicí tohoto bodu.

## VRML jazyk

VRML [5] jazyk je mezinárodní standard ISO/IEC 14772-1:1997 pro tvorbu virtuálních obrazů. Standard jazyka byl navržen firmou Silicon Graphics, Inc. v roce 1995 pod označením VRML 1.0, posléze byl skupinou VAG (VRML Architecture Group) dotvořen do normalizované formy VRML 2.0. Struktura jazyka dovoluje automatické generování obrazů naskenovaných 3D objektů, obr. 5. Formát VRML dovolují prohlížet volně šiřitelné programy, které je možné začlenit do



obr. 5: Pohled na virtuální obraz lopatky oběžného kola čerpadla získané skenováním

internetových prohlížečů a tím výsledky snadno publikovat na síti internet. Prohlížeče umožňují měnit úhel pohledu na objekty, měnit měřítko, posouvat jimi atd. Při tvorbě mapy objektu využíváme možnosti tvorby virtuálních předmětů pomocí bodů a přímek. Mapa je tedy tvořeny jednotlivými naměřenými body lopatky, které jsou spojeny přímkami, obr. 5. Struktura lopatky ve VRML kódu je následující:

```
#VRML V2.0 utf8 - verze VRML a kódování  
#strip analysis, refstrip 0 - poznámky  
Transform { scale 1 1 0.2 - první uzel, volba měřítka  
children Shape { geometry  
IndexedLineSet {  
coord Coordinate { point [ - souřadnice bodů  
#strip 1  
12.57 33.54 231.00 , - souřadnice prvního bodu, prvního proužku  
12.57 33.54 231.86 ,  
12.57 33.33 232.71 ,  
12.57 33.75 233.57 ,  
.  
.  
.  
] } - konec souboru bodů  
coordIndex [ - příkaz pro tvorbu přímek  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 -1, ] } - definice bodů propojených přímkou
```

## EPIX

K pořizování snímků profilovací topografie využíváme vývojový kit SILICON VIDEO® 2112 firmy EPIX Inc. [6] a software XCAP-Std. Systém tvoří dvě digitální CMOS kamery osazené čipy ZR32112MLC izraelského výrobce Zoran Corporation. Čip má maximální rozlišení 1288 x 1032 a velikost jednoho pixelu  $7,5 \times 7,5 \mu m$ . Kamery jsou propojeny s počítačem pomocí digitalizačních karet. Kit obsahuje program XCAP-Std, který zabezpečuje komunikaci počítače s kamerami, je tvořen uživatelským rozhraním, které umožňuje pracovat se získanými obrazy. Jednou z možností je zásah přímo do obrazu jako například umístění značek, textu a kreslení do obrazu. Další je měření v obraze, zahrnující délková měření, měření úhlů a další. Program dovoluje také provádět maticové operace s obrazy. Obrazy je možno filtrovat, detekovat hrany, pracovat s šumy atd. Lze též využít logických a podmíněných operací, Fourierovy transformace a dalších operací běžných u profesionálních programů pro zpracování obrazu. K tomuto kitu jsou také dodány knihovny v programovacím jazyce C++, pomocí nichž lze vytvářet vlastní aplikace pro ovládání systému a zpracování obrazu.

## Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci podpory projektu výzkumu a vývoje LN00A015.

## Literatura

- [1] ASUNDI A., CHAN C.S., SAJAN M.R.: 360 Degree Profilometry - New Techniques for Display and Acquisition. *Optical Engineering*, Aug. 1994, vol. 33, no. 8, p. 2760 - 2768.
- [2] CHENG X.X., SU X.Y., GUO L.R.: Automated measure method for 360° profilometry of 3-D diffuse objects. *Applied Optics*, Apr. 1991, vol. 30, no. 10, p. 1274 - 1278.
- [3] HALIOUA M., KRISHNAMURTHY R.S., LIU H.CH., CHIANG F.P.: Automated 360° profilometry of 3-D deffuses objects. *Applied Optics*, Jul. 1985, vol. 24, no. 14, p. 2193 - 2196.
- [4] REKTORYS K.: Přehled užité matematiky. Praha, Česká Matice Technická, 1995.
- [5] ŽÁRA J.: VRML 97 Laskavý průvodce virtuálními světy. Brno, Computer Press, 1999.
- [6] <http://www.epixinc.com>