

# OBJECT SHAPE EVALUATION

**Tomáš Babinec**

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xbabin01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloslav Richter

E-mail: richter@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

This paper discusses application of a computer vision in object shape evaluation. It is aimed at passive and active triangulation techniques. These methods were used to create an application environment that enables processing of acquired images, device calibration (camera, data projector), 3D information reconstruction and output data interpretation. A short example of shape evaluation is shown at the end of the thesis.

## 1. PROČ PRÁVĚ POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ

Vyhodnocování tvaru má za úkol vytvořit popis zkoumaného objektu v 3D prostoru. To lze realizovat na základě mnoha rozdílných přístupů. Počítačové vidění poskytuje řadu osvědčených metod pro bezkontaktní měření, která mohou být rychlá i přesná zároveň. Jejich uplatnění lze odhalit v mnoha odvětvích vědy i průmyslu. Jako příklad můžeme uvést kontrolu kvality, postupy zpětného inženýrství, bezpečnostní systémy či metody vizualizace v medicíně.

Přehled v současnosti užívaných metod pro rekonstrukci trojrozměrné informace je uveden v [1]. Patří mezi ně i triangulace, která je jedna z nejužívanějších technik. Její vlastnosti a možné provedení jsou zmíněny níže.

## 2. JAK VYHODNOCOVAT

Další text se zaměřuje na aplikaci postupů aktivní a pasivní triangulace, které jsou vhodné především pro povrchy bez větších prostorových nespojitostí (např. hlubokých děr). Hlavní předností je, že měřicí systém lze realizovat bez větších nároků na přístrojové vybavení.

### 2.1. MĚŘICÍ SYSTÉM

Aktivní i pasivní triangulaci můžeme uskutečnit pomocí běžně dostupných přístrojů: digitální kamera (fotoaparát) a data projektor. Možné schéma rekonstrukce je naznačeno na obrázku 1. Uvažujeme-li co nejjednodušší možné uspořádání, lze vytvořit kombinace:

- kamera – kamera: princip pasivní triangulace
- projektor – kamera: princip aktivní triangulace
- kamera – projektor – kamera: kombinace metod pasivní a aktivní triangulace

Vždy sestavujeme tzv. triangulační trojúhelník. Jeden jeho vrchol reprezentuje zkoumaný předmět, další dva pak tvoří užité přístroje. Tím zajistíme, že objekt, jehož tvar chceme vyhodnotit, je vždy snímán alespoň ze dvou rozdílných poloh.

Na rozdíl od pasivní triangulace, kde světlo slouží jen ke zvýraznění některých detailů v textuře zkoumaného objektu, při aktivní triangulaci se vlastnosti zdroje světla (poloha, natočení...) přímo zapojí do výpočtu tvaru. Jednu kameru tak můžeme zcela nahradit například data projektorem. Princip výpočtu 3D informace se přitom nezmění.



**Obrázek 1:** Schéma procesu vyhodnocení tvaru

## 2.2. KALIBRACE PŘÍSTROJŮ

Pro vyhodnocení tvaru objektu z obrazů, je potřeba popsat promítání, které probíhá v užitých přístrojích. Lze zvolit např. maticový model transformace v homogenních souřadnicích z rovnice (1) [2]. 3D bod  $\mathbf{B}$  se přes matici  $\mathbf{K}$  a  $\mathbf{P}$  zobrazí na 2D plochu snímače kamery. Stejný model platí i pro projektor, i když projekce probíhá v opačném směru.

$$\mathbf{B}' = \begin{bmatrix} wa \\ wb \\ w \end{bmatrix} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{f}{wp} & 0 & sa & 0 \\ 0 & \frac{f}{hp} & sb & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Při kalibraci určujeme prvky matic  $\mathbf{P}$  (tzv. vnitřní parametry: ohnisko  $f$ , šířka a výška pixelu  $wp$  a  $hp$ , poloha středu snímače  $sa$  a  $sb$ ) a  $\mathbf{K}$  (tzv. vnější parametry: natočení  $r_{ij}$  a posunutí  $t_i$  přístroje), když známe korespondence 3D bodů  $\mathbf{B}$  s jejich 2D obrazy  $\mathbf{B}'$ .

Model má celkem 11 stupňů volnosti. Každá korespondence generuje 2 nezávislé rovnice. Pro kalibraci proto postačuje znalost polohy 6 bodů v prostoru, které lze získat například z kalibrační tabule. Parametry přístrojů můžeme určit iterační minimalizací váhové funkce, tzn.: upravujeme maticový model transformace (prvky matic  $\mathbf{K}$  a  $\mathbf{P}$ ) tak, aby se vypočtené hodnoty co nejvíce blížily naměřeným.

## 2.3. REKONSTRUKCE TVARU

Po úspěšné kalibraci přístrojů můžeme přistoupit k rekonstrukci tvaru. Na povrchu předmětu detekujeme významné body. Následně určíme korespondence ze dvou pohledů. V rovnici (1) nyní známe  $\mathbf{B}'$ ,  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{K}$  a chceme určit 3 souřadnice v  $\mathbf{B}$ . Pro výpočet je možné znovu využít minimalizaci váhové funkce.

Z množiny rekonstruovaných 3D bodů můžeme sestavit trojúhelníkovou síť a na ni následně namapovat texturu. Na závěr lze data graficky prezentovat jako 3D počítačový model.

## 2.4. ZNAČENÍ SVĚTELNÝM VZOREM

Abychom mohli kontrolovat hustotu bodů určených k rekonstrukci a zároveň zjednodušili problém určení korespondence v pořízených snímcích, je vhodné značit zkoumaný před-

mět světelným vzorem. Vzor může být tvořen světlými a tmavými pruhy v horizontálním i vertikálním směru sestavenými do sekvence dle binárního kódu.

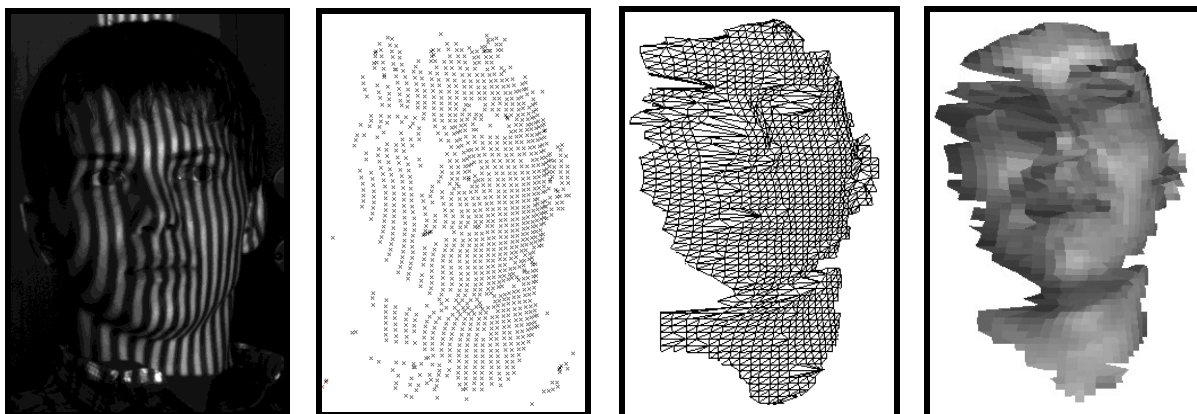
Tímto postupem je možné získat tisíce rekonstruovaných bodů. Sestavení trojúhelníkové sítě z takto husté množiny by bylo výpočetně velmi náročné. Apriorní znalost promítaného vzoru značně zjednoduší i tuto operaci.

## 2.5. REALIZACE PROGRAMU

Pro praktické experimenty s vyhodnocováním tvaru objektů bylo vytvořeno aplikační prostředí v jazyce C/C++. Prostředí je rozděleno do samostatných modulů: detekce kalibrační tabule, kalibrace přístrojů, generování a detekce světelného vzoru, rekonstrukce 3D informace a zobrazení výsledků umožňující např. síťovou reprezentaci povrchu, mapování textur nebo zobrazení polohy kamer a projektorů.

## 2.6. PRAKTICKÝ EXPERIMENT

Obličej byl nasvícen sérií vzorů s postupně narůstajícím počtem světelných přechodů v horizontálním i vertikálním směru a zaznamenán kamerou. Detekované body ze snímků byly předány k rekonstrukci tvaru a vykresleny jako 3D model. Postup ilustruje obrázek 2.



**Obrázek 2:** Příklad rekonstrukce (zleva: 2D obraz se světelným vzorem, detekované body vzoru, síť rekonstruovaných bodů, 3D obraz s texturou)

## 3. ZÁVĚR

Na základě triangulačních metod počítačového vidění byla sestavena aplikace pro vyhodnocení 3D tvaru objektu a zobrazení jeho modelu v počítači. Značení objektů sérií světelných vzorů značně omezuje rychlost měření a vyžaduje statickou scénu. Aplikace je proto převážně určena pro měření nehybných tvarů a offline zpracování dat. Vhodným rozšířením programu by bylo propojení dat z více pohledů a zvýšení přesnosti rekonstrukce.

## LITERATURA

- [1] Jähne, B., Haußecker, H., Geißler, P.: Handbook of Computer Vision and Applications, Volume 1 Sensors and Imaging, Academic Press, 1999, ISBN 0-12-379770-5
- [2] Owens, R.: Computer Vision IT412, Soubor přednášek na serveru Edinburské university informatiky [on-line], 29.10.1997