

# E xperimentální A nalýza N apětí 2005

## REVIEW OF THE TOPOGRAPHIC AND PROFILOMETRIC METHODS DEVELOPED IN THE JOINT LABORATORY OF OPTICS IN OLOMOUC

### PŘEHLED TOPOGRAFICKÝCH A PROFILOMETRICKÝCH METOD VYVÍJENÝCH VE SPOLEČNÉ LABORATOŘI OPTIKY V OLOMOUCI

Tomáš Rössler<sup>1</sup>, Dušan Mandát<sup>2</sup>, Miroslav Hrabovský<sup>3</sup>

*The presented paper is dealt with the methods of the optical 3D measurement of the shape of objects. Generally, optical methods are employed especially for the possibility of contact-less measurement (and also whole-field or real-time in some cases). They can be divided into coherent and non-coherent ones. Interferometers, in the first case, are characterized except the high accuracy by the complicated technical realization. On the contrary, non-coherent methods are very simple. These methods are often called triangulation ones. The general principle of them is the triangle created from three objects. These are the measured surface, recording device (camera) and projector of the light pattern. The presented methods are the shadow and projection moiré topography and the computational, Fourier and stereoscopic profilometry.*

#### Keywords

profilometry, topography, 3D shape measurement, moiré topography, Fourier profilometry, computational profilometry, stereoscopic profilometry

#### Úvod

Cílem každého 3D měření je určení tvaru povrchu předmětu, který je popsán hodnotou  $z(x,y)$  v pravidelné či nepravidelné síti bodů povrchu  $(x,y)$ . Pokud tato hodnota určuje vzdálenost daného bodu  $(x,y)$  od topografické roviny, je nazývána topografickou hloubkou (výškou, odchylkou). Popřípadě může vyjadřovat přímo hodnotu souřadnice  $z$  v kartézském souřadnicovém systému, pokud je topografická rovina ztotožněna s rovinou  $xy$ . Výsledkem celého 3D měření je soubor těchto souřadnic.

Optické 3D metody lze obecně dělit na koherentní a nekoherentní. V prvním případě jde o interferometry, vyznačující se kromě vysoké přesnosti také složitou technickou realizací. Naopak obecnou vlastností nekoherentních metod je jednoduchost a pro daný účel může být jejich menší přesnost dostačující. Navíc současný stav rozvoje mikroelektroniky a výpočetní techniky posouvá možnosti těchto metod směrem k možnostem metod koherentních.

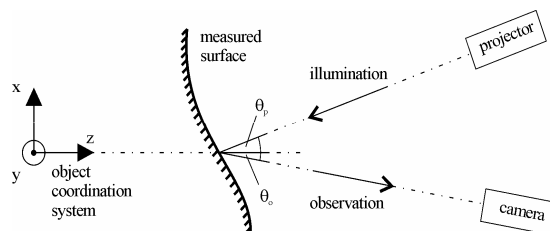
<sup>1</sup> RNDr. Tomáš Rössler Ph.D.: Katedra Experimentální fyziky PŘF UP v Olomouci, tř. 17.listopadu 50, Olomouc, 77205; tel.: +420-58-5634302; e-mail: [rossler@optnw.upol.cz](mailto:rossler@optnw.upol.cz)

<sup>2</sup> Mgr. Dušan Mandát: Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR; tř. 17.listopadu 50, Olomouc, 772 07; tel.: +420-58-5631573; e-mail: [mandat@optnw.upol.cz](mailto:mandat@optnw.upol.cz)

<sup>3</sup> prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.: Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, tř. 17.listopadu 50, Olomouc, 772 07; tel.: +420-58-5631501, e-mail: [hrabovsky@optnw.upol.cz](mailto:hrabovsky@optnw.upol.cz)

## Optická triangulace – princip 3D metod

Nekoherentní metody jsou také označovány jako triangulační [1]. Jejich obecným principem je trojúhelník vytvořený ze tří objektů. Jde o měřený předmět, záznamové zařízení (kamera) a projektor světelné stopy. Pomocí projektoru je na povrchu měřeného předmětu vytvořen světelný obrazec, deformovaný prostorovým tvarem povrchu předmětu. Světlo je odraženo nebo rozptýleno (v závislosti na charakteru měřeného povrchu) ve směrem pozorování. Optický systém pozorovatele zobrazí každý bod povrchu objektu na detektor (ve většině případů jde o matici fotodetektorů). Osvětlení projektorem může být strukturované nebo difúzní. Může být koherentní nebo (částečně) nekoherentní. Může být časově koherentní nebo širokopásmové. Může být polarizované nebo nepolarizované. Obecně aktivní triangulace využívá strukturovaného osvětlení. Na měřený povrch je promítnut buď světelný bod (tzv. bodové měření, je určena topografická výchylka pouze v jednom jediném bodě) nebo tenká čára (tzv. lineární měření). Také může být celoplošně promítnuta mřížka (periodická nebo náhodná optická struktura).



Obr.1 Obecné schéma optické triangulace.

## Triangulační 3D metody

Velmi známým principem v optice je jev moiré, který se často používá pro velmi jednoduché 3D měření. Na tomto jevu je založeno několik topografických metod [2]. První z nich je stínová moiré topografie. Nad měřeným povrchem je umístěn rastr, osvětlený zdrojem světla. Stín rastru dopadá na měřený povrch, je zde deformován a je z jiného úhlu pozorován přes tentýž rastr. Výsledkem je vrstevnicová mapa povrchu. Dalšími metodami jsou projekční moiré topografie. Základem je projekce mřížky pomocí projektoru na měřený povrch. Tato předmětová mřížka je srovnána s jinou mřížkou. V případě jednoprojektorové moiré topografie se jedná o referenční mřížku, získanou na stínítku, které je umístěno před měřeným povrchem. Další možností je srovnání s druhou předmětovou mřížkou, získanou projekcí z jiného úhlu.

Další metody se již řadí mezi profilometrické. Velmi přesnou metodou je Fourierovská profilometrie [4], založená na výpočtu a analýze fáze promítnuté sinusové mřížky. Jinou možností je pak výpočetní profilometrie [3], která využívá matematického výpočtu deformace jednotlivých proužků promítnuté mřížky a přepočet na výchylku. Také se poměrně často využívá principů prostorového vidění. Metoda se nazývá stereoskopická profilometrie [5]. Je založena na srovnání polohy dvou stejných bodů měřeného povrchu na záznamech optické stopy při různých polohách kamery. Optická struktura v tomto případě slouží k jednoznačné identifikaci bodů.

## Literatura

- [1] Häusler G.: *Three-Dimensional Sensors – Potentials and Limitations*. Handbook of Computer Visions and Applications, Vol.1: Sensors and Imaging. Academic Press, 485-506, 1999.
- [2] Rössler T. and Hrabovský M.: *Moiré methods for measurement of displacement and topography* – Czech. Journal of Physics, 2005. (in print)
- [3] Nožka L., Mandát D. and Hrabovský M.: *3-D Optical Scanning Topography* – 41<sup>th</sup> Int. Conf. on Experimental Stress Analysis, Proc., 71-72, 2003.
- [4] Gruber M. and Häusler G.: *Simple, robust and accurate phase-measuring triangulation* – Optik, Vol.89, No.3, 118-122, 1992.
- [5] Vincent É. and Laganier R.: *Matching Feature Points in Stereo Pairs: a Comparative Study of some Matching Strategie* – Machine Graphics & Vision, Vol.10, No.3, 237-259, 2001.