

VYUŽITÍ DATAPROJEKTORU PRO PROJEKCI SVĚTELNÉ MŘÍŽKY V OPTICKÝCH 3D METODÁCH

APPLICATION OF THE DATAPROJECTOR FOR THE LIGHT GRATING PROJECTION IN OPTICAL 3D METHODS

Tomáš RÖSSLER¹, Dušan MANDÁT², Michal POCHMON²

Abstrakt

Obecným principem optických 3D metod je triangulace. V sestavě jsou tři základní prvky: měřený povrch, osvětlení a pozorování. Pomocí projektoru je na měřený objekt promítnuta optická stopa, která má charakter strukturovaného osvětlení. Tento obrazec je deformován povrchem objektu. Pro projekci optické stopy na měřený povrch se využívá mnoha způsobů, každý má své výhody či nevýhody pro dané použití. Dataprojektor je univerzálním zařízením, na povrch předmětu může být promítána libovolná struktura. V příspěvku jsou komentovány možnosti použití tohoto zařízení v jednotlivých 3D metodách.

Klíčová slova: topografie, profilometrie, dataprojektor, optické mřížky.

Abstract

The general principle of optical 3D methods is called the triangulation. There are three components in every set-up: the measured surface, the illumination and the observation. The projector creates the structured optical pattern on the measured surface. This pattern is deformed by the surface shape. Various methods are employed to project the optical pattern onto the measured surface. Everyone has advantages and disadvantages for the given purpose. The main advantage of the dataprojector is the universality, the arbitrary pattern can be projected. Possibilities of the application of the dataprojector in 3D methods are discussed in the contribution.

Keywords: topography, profilometry, dataprojector, optical gratings.

ÚVOD

Obecným principem nekoherentních optických 3D metod je trojúhelník, vytvořený ze tří objektů. Jde o měřený předmět, záznamové zařízení (kamera) a projektor světelné stopy (obr.1). Tyto metody jsou proto také někdy označovány jako triangulační [1]. 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).

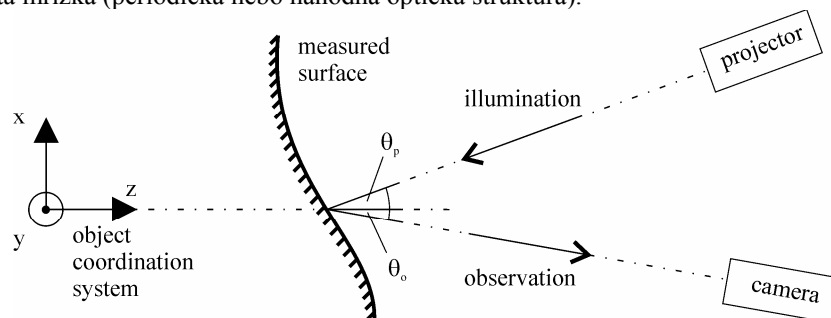
Osvětlení projektorem může být strukturované nebo difúzní. Může být koherentní nebo (částečně) nekoherentní. Může být časově koherentní nebo širokopásmové. Může být polarizované

¹ RNDr. Tomáš RÖSSLER, PhD., KEF, PřF, Univerzita Palackého v Olomouci, rossler@optnw.upol.cz

² Mgr. Dušan MANDÁT, Mgr. Michal POCHMON, Společná laboratoř optiky UP a FzÚ AV ČR, Olomouc, mandat@optnw.upol.cz, pochmon@optnw.upol.cz

Lektoroval: doc. Ing. Vladimír JURICA, CSc., KAMaM, SjF TU v Košiciach, vladimir.jurica@tuke.sk

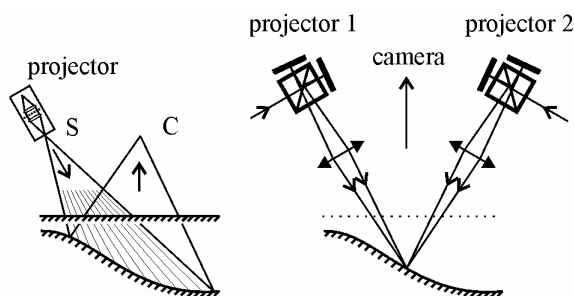
nebo nepolarizované. Obecně aktivní triangulace využívá strukturovaného osvětlení. Na měřený povrch je promítnut buď světelný bod (tzv. bodové měření, je určena topografická výchylka pouze v jednom jediném bodě) nebo tenká čára (tzv. lineární měření). Také může být celoplošně promítnuta mřížka (periodická nebo náhodná optická struktura).



Obr.1 Obecné triangulační schéma optických 3D metod

TRIANGULAČNÍ 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 (obr.2a) 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 (obr.2b).



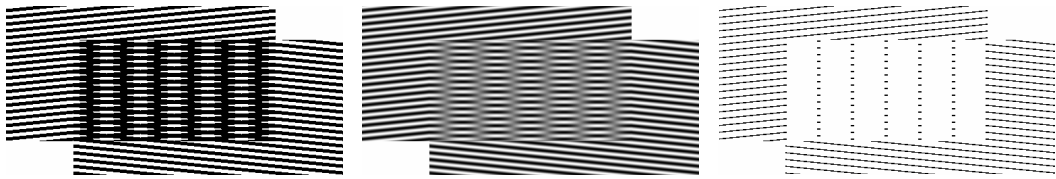
Obr.2 Projekční moiré topografie. a) jednoprojektorová, b) dvouprojektorová

Promítanou strukturou je v případě projekčních moiré metod plošná periodická struktura (mřížka). Výsledný moiré obrazec není závislý na typu promítané struktury. Základní mřížka má obdélníkový tvar (obr.3a), vzniká jako stín rastru, což je velmi jednoduchá struktura. Pozorovatelnost moiré proužků je velmi vysoká (obr.4a). Reálně však mřížka na měřeném povrchu nemá čistě obdélníkový tvar, ten se blíží spíše průběhu sinusovému na obr.3b. Je to způsobeno zejména ohybem, rozostřením soustavy projektoru a jinými optickými jevy. Pozorovatelnost moiré proužků pak klesá, jak je vidět na obr.4b. Velmi dobrých výsledků je dosaženo použitím čárového průběhu proužků (obr.3c). Při vyhodnocování měření lze použít logických operací, výsledné moiré proužky mají charakter podle obr.4c.

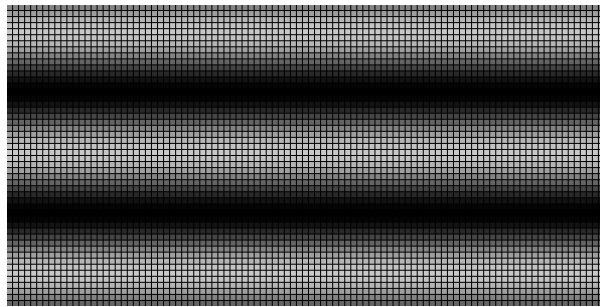
Velmi přesnou metodou je Fourierovská profilometrie [3], založená na výpočtu a analýze fáze promítané harmonické mřížky. Proti moiré metodám je projekce harmonické mřížky nezbytnou podmínkou. Navíc na kvalitě této mřížky velmi závisí přesnost metody. Na obr.5 je zobrazena simulace obrazce projektoru. Ilustruje základní problém při použití dataprojektoru. Jedná se o diskrétní projekci, jednotlivé jsou od sebe vzájemně odděleny. V případě obdélníkové či čárové mřížky není tento jev tak významný jako v případě projekce harmonické mřížky, kde je nutné jeho vliv eliminovat použitím metod digitálního zpracování zaznamenaného obrazce.



Obr.3 Typy promítaných plošných struktur (obdélníková, harmonická a čárová mřížka)



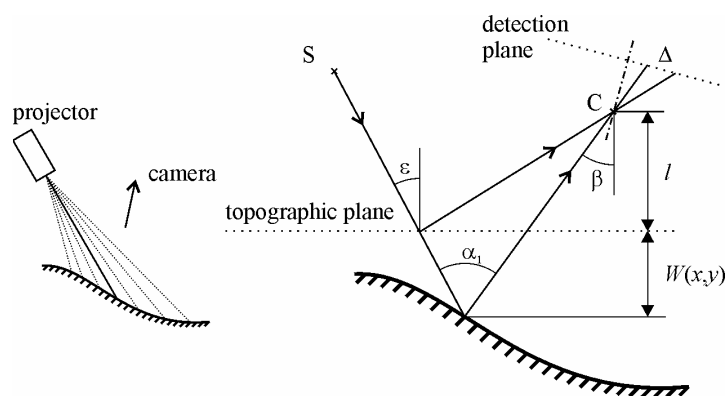
Obr.4 Typy moiré mřížek (multiplikatívní, aditivní, logická mřížka)



Obr.5 Simulace sinusové mřížky, promítané dataprojektorem.

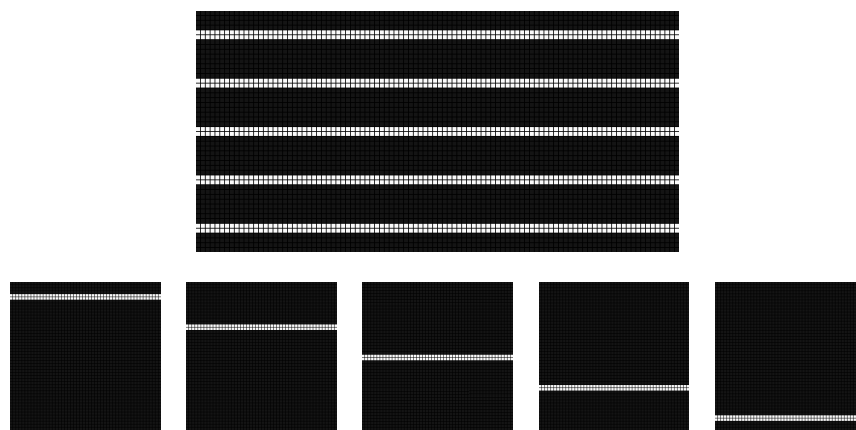
Dalším možným přístupem k vyhodnocení tvaru předmětu je matematický výpočet deformace jednotlivých proužků promítuté mřížky a určení topografické výchylky. Na měřený povrch lze promítnout celou mřížku, s výhodou se však používá postupné projekce. Na povrch se promítá pouze jeden proužek, se kterým se postupně pohybuje. Popřípadě se pohybuje měřený objekt. Tímto způsobem je celý povrch naskenován, metoda se proto nazývá skenovací profilometrie [4]. Princip metody je na obr.6.

Výhoda dataprojektoru spočívá v možnosti jednoduchého programového ovládání promítané lineární stopy, čímž je zajištěno skenování po měřeném povrchu.



Obr.6 Skenovací profilometrie

Princip skenování pomocí dataprojektoru je ilustrován na obr.7.

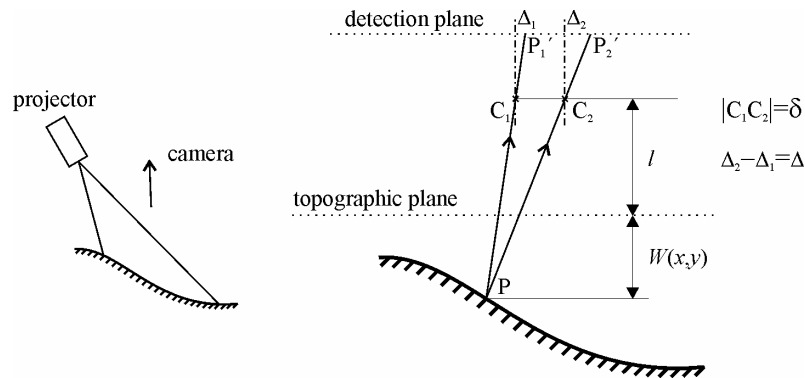


Obr.7 Simulace skenování pomocí dataprojektoru

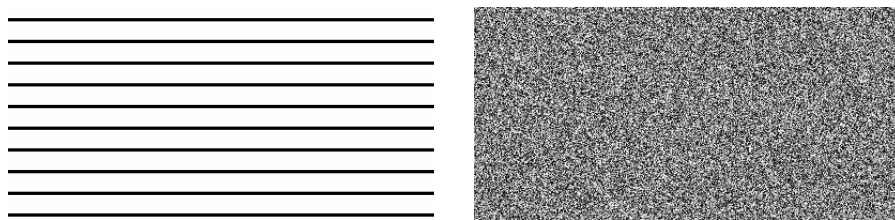
Často se pro 3D profilometrické měření využívá principů prostorového vidění. Metoda se nazývá stereoskopická profilometrie [5]. Je založena na srovnání polohy dvou stejných bodů měřeného povrchu na záznamech stejné optické stopy při různých polohách stejné kamery nebo na záznamech stejné optické stopy pomocí dvou různých kamer (obr.8).

Optická struktura v tomto případě slouží k jednoznačné identifikaci dvou totožných bodů povrchu předmětu. Podle přístupu k vyhodnocení lze použít buď periodickou nebo náhodnou mřížku (obr.9). V prvním případě je používáno určování počtu proužkův daném směru. Ve druhém případě je používáno Fourierovy transformace. Je určováno maximum korelační funkce mezi oběma záznamy.

Pomocí této metody lze realizovat také optickou sondu, kdy je na měřený povrch promítnuta bodová stopa (ideálně bod, reálně malá plocha). Z rozdílu pozice tohoto bodu na dvou záznamech lze určit vypočítat topografickou hloubku v daném bodě.



Obr.8 Stereoskopická profilometrie



Obr.9 Periodická a náhodná struktura

ZÁVĚR

Hlavní výhodou dataprojektoru je jeho univerzálnost, je možné programově promítnout v podstatě libovolnou plošnou strukturu, nebo realizovat na měřeném povrchu lineární či bodovou stopu. Lze jej tedy použít v jakékoliv optické 3D triangulační metodě. Najde využití zejména při testování použití metod pro konkrétní účely. Možností je také použití při výuce pro snadné pochopení principů metod.

Nevýhodou dataprojektoru je projekce diskrétního obrazce, možnosti jsou limitovány zejména velikostí každého pixelu i celé matice pixelů. Na výsledném obrazci je také kromě požadované struktury pozorovatelná mřížka matice pixelů, což může ovlivnit kvalitu dané metody.

Těchto výsledků bylo dosaženo s podporou ministerstva školství České republiky, projekt MSM 6198959213: Měření a informace v optice.

Těchto výsledků bylo dosaženo s podporou ministerstva školství České republiky, projekt 1M06002.

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., HRABOVSKÝ, M., POCHMON, M.: *Moiré methods for measurement of displacement and topography*. Czechoslovak Journal of Physics, Vol.56, No.2, p 101-124, 2006
- [3] POCHMON, M., RÖSSLER, T., MANDÁT, D., HRABOVSKÝ, M., GALLO, J.: *Vybrané biomedicínské aplikace Fourierovské profilometrie*. 44th Int. Conf. on Experimental Stress Analysis, Proc., 2003 (in print)
- [4] NOŽKA, L., MANDÁT, D., HRABOVSKÝ, M.: *3-D Optical Scanning Topography*. 41st Int. Conf. on Experimental Stress Analysis, Proc., 71-72, 2003
- [5] VINCENT, É., LAGANIERE, R.: *Matching Feature Points in Stereo Pairs: a Comparative Study of some Matching Strategie* – Machine Graphics & Vision, Vol.10, No.3, 237-259, 2001