

## VYBRANÉ BIOMEDICÍNKÉ APLIKACE FOURIEROVSKÉ PROFILOMETRIE

### USED BIOMEDICAL APPLICATIONS OF FOURIER PROFILOMETRY

Michal POCHMON<sup>1</sup>, Tomáš RÖSSLER<sup>2</sup>, Dušan MANDÁT<sup>1</sup>,  
Miroslav HRABOVSKÝ<sup>1</sup>, Jiří GALLO<sup>3</sup>

#### *Abstrakt*

Měření 3D tvaru předmětů našlo uplatnění při hodnocení opotřebení kloubních implantátů. Při namáhání v těle pacienta dochází k úbytku materiálu implantátu, který se projeví ve změně jeho tvaru. Při klinických testech je úbytek hmoty implantátu po extrakci z těla pacienta jedním z nejdůležitějších parametrů hodnocení kvality jednotlivých typů implantátů. Měření profilu extrahovaného implantátu a srovnáním s původním tvarem lze úbytek materiálu vyčíslit. Na měření tvaru předmětu byla aplikována Fourierovská profilometrie. V příspěvku jsou popsány základní vlastnosti a experimentální uspořádání této metody, spočívající v analýze fáze harmonické mřížky, promítané na měřený povrch. Jsou také diskutovány limity a omezení metody pro dané použití. Závěrem jsou uvedeny dosažené výsledky měření implantátu kolenního kloubu.

**Klíčová slova:** Fourierova transformace, Fourierovská profilometrie, implantát kolenní jamky.

#### *Abstract*

Measurement of 3D shape of object has proved itself useful also in the examination of abrasion of juncture implants. These implants are under stress in the patient's body and therefore they change their shape and waste some material. This waste is a key parameter for examination of quality of the given type of implant. The surface of the used implant is measured and compared with unused one. This comparison gives possibility to enumerate the waste of material of implant. For the measurement of 3D shape of the implants was used the optics method called Fourier profilometry. This method is based on the analysis of harmonic structure projected on the surface of the measured object. Fundamentals of Fourier profilometry, its features and used experimental setup are described in this paper. The limits of the used method are discussed, too. At the end of the paper, results of 3D shape measurement of the juncture implants are presented.

**Keywords:** Fourier transform, Fourier profilometry, knee implants.

## ÚVOD

Tato nekoherentní optická měřicí metoda je založena na projekci a následném digitálním snímání periodické struktury na referenční rovinu a následně na objekt, jehož povrch měříme. Výpočtem rozdílů fáze této periodické struktury na obou předmětech je poté určen 3D profil měřeného objektu, v tomto případě implantátu kolenní jamky.

<sup>1</sup> Mgr. Michal POCHMON, Mgr. Dušan MANDÁT, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., Společná laboratoř optiky UP a FzÚ AV ČR, Olomouc, [pochmon@optnw.upol.cz](mailto:pochmon@optnw.upol.cz), [mandat@optnw.upol.cz](mailto:mandat@optnw.upol.cz), [hrabovsky@optnw.upol.cz](mailto:hrabovsky@optnw.upol.cz)

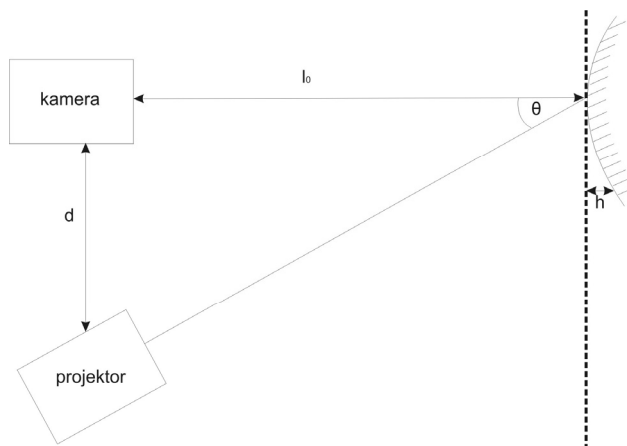
<sup>2</sup> RNDr. Tomáš RÖSSLER, PhD., KEF, PřF UP, Olomouc, [rossler@optnw.upol.cz](mailto:rossler@optnw.upol.cz)

<sup>3</sup> MUDr. Jiří GALLO, PhD., Katedra biofyziky, LF UP, Olomouc, [jiri.gallo@volny.cz](mailto:jiri.gallo@volny.cz)

Lektoroval: prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, CSc., KPaBI, Sjf TU v Košiciach, [jozef.zivcak@tuke.sk](mailto:jozef.zivcak@tuke.sk)

## EXPERIMENTÁLNÍ USPOŘADÁNÍ

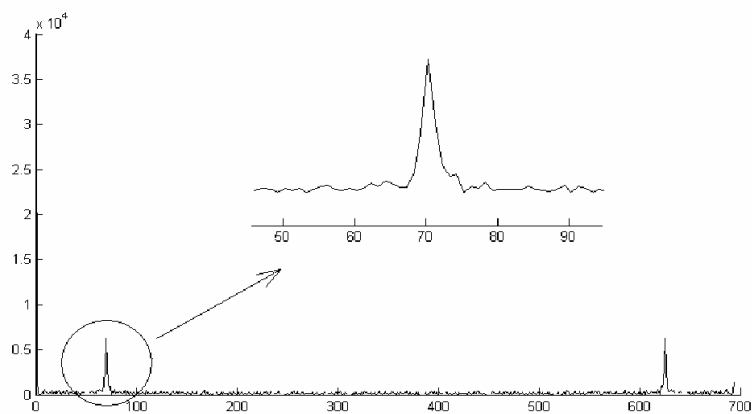
Promítanou periodickou strukturou je sinusová mřížka, jejíž periodu je třeba vhodně zvolit dle tvaru povrchu předmětu a uspořádání experimentální sestavy. Tato sinusová mřížka je promítnuta nejdřív na referenční rovinu. Odražená mřížka, jejíž průběh je stále sinusový, se kamerou sejme a uloží do počítače. Poté je místo referenční roviny do experimentální sestavy vložen měřený objekt, přičemž je důležité, aby byl od kamery ve stejné vzdálenosti jako tato rovina. Na měřený objekt se opět promítne sinusová mřížka, která je tvarem objektu deformována, což se projeví změnou fáze mřížky v závislosti na výškovém profilu předmětu. Tato deformovaná mřížka je opět uložena do počítače. Geometrické uspořádání experimentu je na obr. 1.



Obr.1 Experimentální sestava

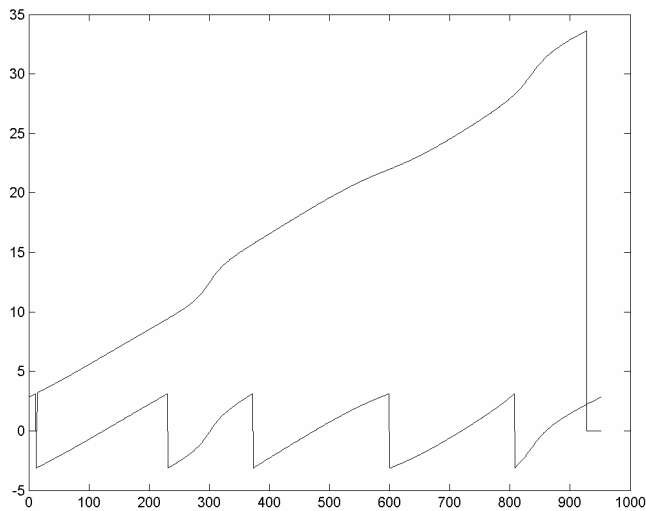
## PRINCIP METODY

Na obraz deformované mřížky je aplikována Fourierova transformace. Před samotným výpočtem fáze z obou snímaných objektů je třeba provést odfiltrování šumů a frekvencí, které nesou nedůležité informace. To se provede ponecháním nosné frekvence signálu ve Fourierově spektru, jak je zobrazeno na obr.2, a potlačením všech ostatních frekvencí.



Obr.2 Fourierovo spektrum sinusového signálu se šumem

Z takto upravených snímků je specifickým algoritmem vypočtena fáze sinusové mřížky promítnuté jak na referenční rovině, tak na měřeném objektu. Hodnoty této fáze ovšem leží v intervalu  $\langle -\pi, \pi \rangle$ . K odstranění těchto nespojitostí se používá algoritmus zvaný „unwrap“. Funkce tohoto algoritmu je dobře patrná na obr.3. V dolní části obrázku je zobrazen původní průběh fáze naměřené sinusové mřížky, v horní části je fáze po použití algoritmu „unwrap“.



Obr.3 Znárodnění funkce algoritmu „unwrap“

Tento algoritmus je použit jak na snímek referenční roviny, tak na snímek měřeného objektu. Tímto postupem získané fáze se od sebe odečtou, výsledkem je prostorový graf, který ukazuje rozdíl fáze sinusové mřížky na předmětu a referenční rovině v každém bodě povrchu měřeného objektu. Kalibrací této metody na předmětu známé velikosti a tvaru se přiřadí k jednotce změny fáze příslušná jednotka topografické hloubky  $h$ :

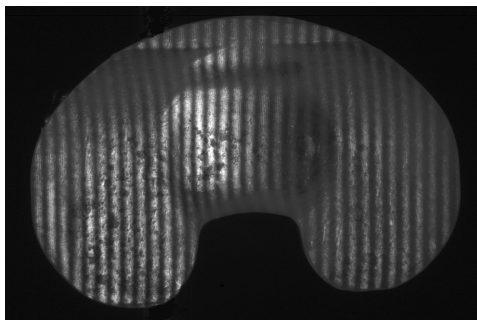
$$h(x, y) = \frac{\left[ l_0 p_0 \left[ \frac{\Delta\Phi(x, y)}{2\pi} \right] \right]}{\left\{ p_0 \left[ \frac{\Delta\Phi(x, y)}{2\pi} \right] - d \right\}},$$

kde  $d$  je vzdálenost mezi kamerou a projektorem,  $p_0$  je perioda mřížky dělená výrazem  $\cos(\theta)$ ,  $l_0$  je vzdálenost referenční roviny od roviny pozorování a  $\Delta\Phi$  je rozdíl fází mřížek promítnutých na referenční rovinu a měřený objekt.

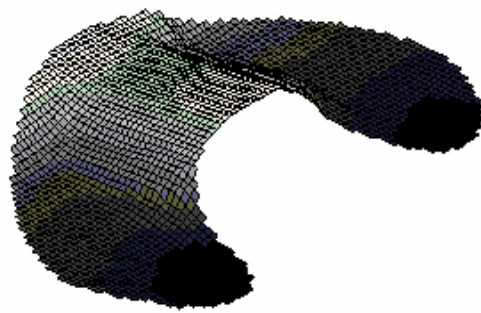
### EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

Lidská kolenní jamka může být poškozena, ať už věkem nebo úrazem. V takových případech je pacientovi implantována kolenní jamka z polyethylenu. U této nové kloubní jamky je samozřejmostí snaha o co nejdélší životnost. Měřením typu a velikosti opotřebení přispívá k výběru optimálního tvaru kolenní jamky a použitého materiálu. Kolenní jamka s promítnutou sinusovou mřížkou je zobrazena na obr.4.

Data naměřená Fourierovskou profilometrií jsou uložena v matici a lze s nimi libovolně pracovat. Pro názornost mohou být zobrazena v trojrozměrném grafu (obr.5).



Obr.4 Kolenní implantát  
s promítnutou sinusovou mřížkou



Obr.5 Trojrozměrný graf povrchu  
kolenního implantátu

## ZÁVĚR

Tato metoda je vhodná pro měření předmětů s hladkým povrchem bez nespojitostí, které by mohly způsobovat potíže při užití algoritmu „unwrap“, což kolenní implantát splňuje. Metoda je rychlá, experimentální část se skládá pouze z pořízení snímku referenční roviny a měřeného objektu s promítnutou sinusovou mřížkou, vyhodnocení počítačem je pak otázkou několika sekund v závislosti na výkonu počítačové sestavy.

Nevýhodou této metody je zejména její technická náročnost co se týče projekce přesné sinusové struktury. Na kvalitě projektované sinusové mřížky závisí do značné míry přesnost této metody. S dosud používanými mřížkami bylo dosaženo nejistoty měření cca 5%. Rozlišení metody je závislé na použitém zobrazovacím zařízení, konkrétně na počtu pixelů CCD prvku použité kamery a kvalitě objektivu.

Výsledkem popsaného experimentu je profilometrická mapa povrchu kolenního implantátu. Srovnáním s výsledkem měření nepoužitého implantátu je možno stanovit a vyčíslit objemový úbytek hmoty implantátu způsobený opotřebením. Ze znalosti hustoty materiálů, ze které je kolenní implantát vyroben, je možno z objemového úbytku stanovit také úbytek hmotnostní.

Naměřená data poslouží dále k hodnocení kvality jednotlivých typů implantátů. Dle stupně opotřebením jednotlivých typů bude vyvíjen optimální tvar kolenní jamky a nejodolnější materiál.

Těchto výsledků bylo dosaženo díky podpoře ministerstva školství České republiky, projekt číslo 1M06002.

## LITERATURA

- [1] DURSUN, A., ECEVÍT, N., ZDER, S. *Application of wavelet and Fourier transforms for the determination of phase and three-dimensional profile*. Proc. of Int. Conf. on Signal Processing, 2003, Vol. 1, p. 168-172
- [2] GRUBER, M., HÄUSLER, G.: *Simple, robust and accurate phase-measuring triangulation*. Optik, 1992, No. 3, p. 118-122
- [3] GONZALES, R. C., WOODS, R. E., EDDINS, S. L.: *Digital image processing using Matlab*. Pearson Education, Inc., 2004, ISBN 0-13-008519-7