SPECKLE HOLOGRAFIE JAKO METODA PRO STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Hrabovský Miroslav

Referát podává informaci o metodice užití speckle holografie pro stanovení povrchového napětí těles. Dále jsou diskutovány okrajové podmínky užití této metody a způsob umožňující mechanizaci, ve vhodných případech automatizaci vyhodnocování specklegramů s využitím výpočetní techniky.

1. Úvod

Speckle holografie známá jako metoda bezkontaktního stanovení posunutí nebo deformací je doposud méně využívána oproti jiným metodám, a to i přes svou jednoduchost aplikace. Jedním z důvodů je nedostupnost průmyslově vyráběného experimentálního zařízení, potřeba relativně rychlého zpracování velkého množství získaných dat a v neposlední řadě přežívající názor o jakémsi vývojovém - nedokončeném stádiu této metody.

2. Speckle-holografie

Měření posunutí resp. deformací metodou speckle-holografie je realizováno podle známých postupů v zásadě ve dvou krocích [1, 2, 3 aj.].

V první fázi je povrch předmětu osvětlen z libovolného směru. Odražená vlnoplocha charakterizující povrch předmětu v rovině (x_1 , y_1) je transformována optickým členem(s využitím postupu pomocí Fresnel-Kirchhofova integrálu a Fresnelovy aproximace) do roviny (x_3 , y_3), v níž je umístěna fotografická deska s vysokou rozlišovací schopností - obr. 1. Na fotografickou desku jsou zaznamenány dva stavy předmětu (např. před a po deformaci). Vznikají dva speckle záznamy, jejichž rozdíl bod od bodu charakterizuje velikost a směr posuvu. Osvětlíme-li (druhá fáze) takovýto záznam - specklegram - laserovým paprskem malého průřezu, obdržíme v určité vzdálenosti (rovina x_4 , y_4 - obr. 2) tzv. difrakční halo charakterizované intenzitním výrazem

$$J = 4 \cos^2 \left[\frac{\pi}{\lambda m (z_4 - z_3)} (x_4 \cdot \Delta x_1 + y_4 \cdot \Delta y_1) \right] \cdot |N|^2 \qquad (1)$$

kde λ je vlnová délka laserového světla; Δx_1 , Δy_1 jsou složky vektoru $\vec{p}$ změny polohy vyšetřovaného bodu v rovině (x_1 , y_1); N je Fourierův obraz funkce intenzity v rovině (x_3 , y_3). Difrakční halo sestává z paralelních

ekvidistantních Youngových proužků, které jsou kolmé na směr vektoru posuvu, přičemž pro interferenční maximum platí

$$\vec{p}.\vec{d} = m\lambda(z_4 - z_3) \tag{2}$$

kde m je podélné zvětšení zobrazovací soustavy (obr. 1) a složky vektoru $\vec{d}$ $(\Delta x_4, \Delta y_4)$ jsou patrné z obr. 3.
Vliv posuvu $\vec{p}$ pak ve složkách má tvar

$$\Delta x_1 = u = |\vec{p}| \sin\theta \; ; \qquad \Delta y_1 = v = |\vec{p}| \cos\theta \tag{3}$$

3. Vyhodnocení napětí

Z experimentální pružnosti [4] pro poměrné prodloužení ve směru osy x je znám vztah

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \tag{4}$$

který pro ekvidistantní krok Δx na povrchu předmětu ve směru osy x nabývá výrazu

$$\varepsilon_{x_{11}} = \frac{u_{11} - u_{21}}{\Delta x} \quad \text{až} \quad \varepsilon_{x_{(i-1)j}} = \frac{u_{i-1,j} - u_{ij}}{\Delta x} \tag{5}$$

a pro poměrné prodloužení ve směru osy y analogicky

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \tag{6}$$

$$\varepsilon_{y_{11}} = \frac{v_{11} - v_{12}}{\Delta y} \quad \text{až} \quad \varepsilon_{y_{i(j-1)}} = \frac{v_{i(j-1)} - v_{ij}}{\Delta y} \tag{7}$$

Pro smykovou složku

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \tag{8}$$

$$\varepsilon_{xy_{11}} = \frac{u_{11} - u_{21}}{\Delta y} + \frac{v_{11} - v_{12}}{\Delta x} \tag{9a}$$

$$\varepsilon_{xy_{(i-1)(j-1)}} = \frac{u_{(i-1)(j-1)} - u_{i(j-1)}}{\Delta y} + \frac{v_{(i-1)(j-1)} - v_{(i-1)j}}{\Delta x} \tag{9b}$$

4. Problematika mechanizace vyhodnocení

Reálné provedení vyhodnocení je limitujícím faktorem nasazení této metody. V obecném případě je třeba vyhodnotit bod po bodu celou plochu, což přináší potřebu vyhodnocení velkého množství měřicích bodů a tedy velké časové nároky. Zkušenosti ukazují na potřebu zobrazení se zvětšením přibližně $m = 1$, pak je reálné dodržení kroku alespoň $\Delta x = \Delta y \doteq 1$ mm. Z pohledu mechanizace postupu vyhodnocení lze využít některý z následujících postupů.

a) Odměření veličin d, Θ z fotografického záznamu "ručně" nebo s využitím fotometru (obr. 3) bod po bodu a následný výpočet.

b) Specklegram v rovině (x_3, y_3) je umístěn do spec. držáku umožňující přesný posuv a odměření tohoto posuvu v osách x_3, y_3. V rovině (x_4, y_4) je nutné umístit zařízení pro měření úhlu Θ.

Oba postupy jsou velmi zdlouhavé i když v mnoha případech dostatečně přesné; vyhovují pro malé soubory měřených bodů nebo jednoduché případy.

c) Umístění specklegramu do držáku s posuvy x_3, y_3 řízené počítačem. Dále záznam difrakčního obrazu v rovině (x_4, y_4) TV kamerou na videozáznamu, v následném čase postupné vyhodnocení digitalizací obrazu a jeho přepisem do paměti počítače. V principu vyhovuje digitalizace každého difrakčního halo ve dvou kolmých směrech rovnoběžně s osami x_4, y_4 (řádek a sloupec tel. signálu), uložení výsledků do paměti a následný závěrečný výpočet povrchového napětí. Postup je výrazně rychlejší, vyžaduje však spec. techniku pro řízení posuvu x_3, y_3, digitalizaci obrazu a minipočítač vhodného typu - obr. 3.

d) Další varianta vychází z předcházející, kterou doplňuje obrazová paměť videozáznamu, která dovoluje přímé vyhodnocení obrazu - obr. 3.

e) Nejnovější směry směřují k dalšímu zvýšení přesnosti a zrychlení vyhodnocení. Obraz je digitalizován celý a hodnoty veličin d, Θ jsou získány pomaleji, ale přesněji využitím rychlé fourierovy transformace a dalších procedur. Minipočítač, který je řídícím počítačem celého procesu, je vhodné doplnit dalšími dvěma procesory, které urychlují proces vyhodnocení. První tzv.

"obrazový" procesor slouží pro rychlý přenos a zpracování obrazu mezi obrazovou a hlavní pamětí. Druhý tzv. "rychlý" procesor slouží pro velmi rychlé a výkonné využití fourierovy transformace. Tento decentralizovaný vyhodnocovací systém umožňuje extrémní zrychlení procesu vyhodnocení při současné max. přesnosti vyhodnocení. Obdobný systém byl např. vyvinut firmou PCS Mnichov. Při rozměru předmětu 100 x 100 mm (zvětšení 1, zobrazení např. na dostupnou fotografickou desku 4 x 5"), posuvy 1 mm, tj. 10 tis. měř. bodů lze odhadovat čas potřebný, při vyhodnocení jednoho měřeného bodu cca za 1 s (podle typů procesorů a způsobu komunikace), okolo 2,5 hodin.

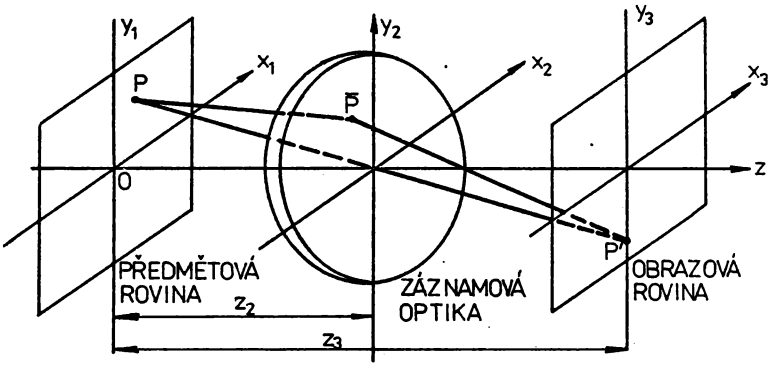
5. Literatura

[1] Khenton, R. P. - Chaing, F. P.:
Strain Analysis by One Beam Laser Speckle Interferometry - Part 1, 2. State Univ. of N. Y. At Stony Brook, College of Eng. and Applied Sciences Rep. No. 252, 253, Dec. 1974.

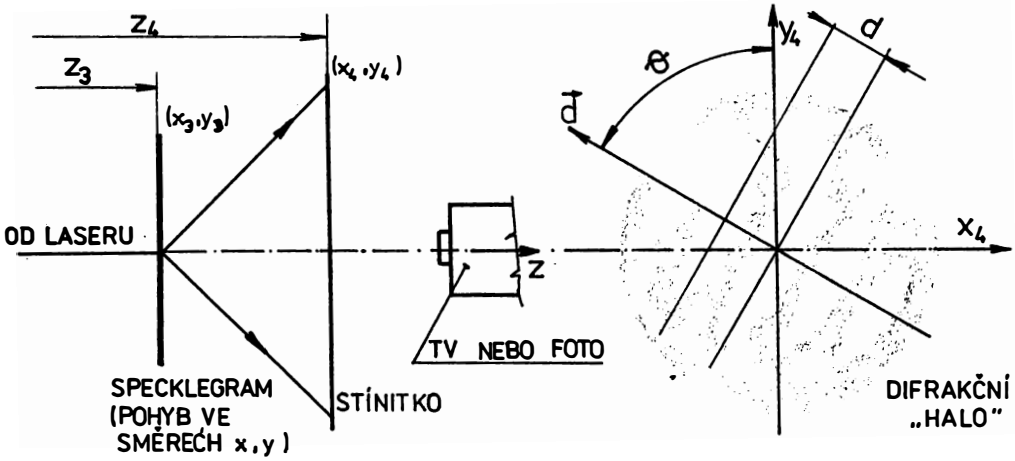
[2] Szabó, V.:
Využitie vlastností obrazu laserových škvrn pri vyšetrovaní premiestení. 15. čs. konf. EAN, Plzeň 1977.

[3] Ennos, A. E.:
Speckle Interferometry in Topies in Applied Physics. Vol. 9 Springer-Verlag, Berlin 1975, s. 205.

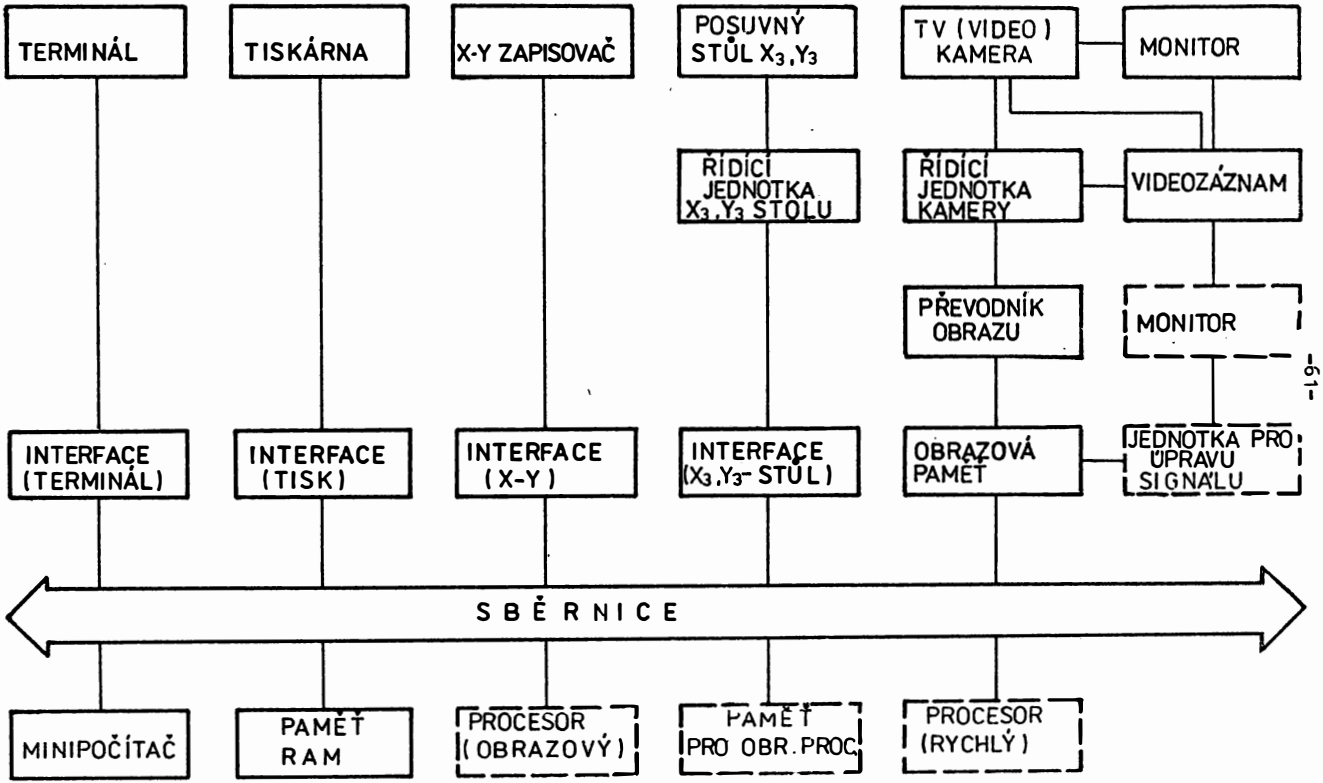
[4] Kol.:
Experimentální pružnost.
SNTL, Praha 1970.



Obr. 1 Princip záznamu speckle



Obr. 2 Rekonstrukce speckle; k vyhodnocení difrakčního obrazu



Obr. 3 Idealizované blokové schema vyhodnocení speckleogramu