



**TECHNICKÁ
UNIVERZITA
V KOŠICIACH**

František TREBUŇA
Róbert HUŇADY
Martin HAGARA

**EXPERIMENTÁLNE METÓDY
MECHANIKY – DIGITÁLNA
OBRAZOVÁ KORELÁCIA**



EDÍCIA VEDECKEJ A ODBORNEJ LITERATÚRY
Košice, 2015



© Dr.h.c. mult. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc.
doc. Ing. Róbert HUŇADY, PhD.
Ing. Martin HAGARA, PhD.

Experimentálne metódy mechaniky - Digitálna obrazová korelácia

Lektori:

prof. Ing. Ján Vavro, PhD. – TrU A. Dubčeka
prof. Ing. František Šimčák, CSc. – TU Košice

ISBN 978-80-553-2346-6
EAN 9788055323466

OBSAH

PREDHOVOR	5
1 FOTOGRAMETRIA	7
1.1 ZÁKLADNÁ MYŠLIENKA FOTOGRAMETRIE	7
1.2 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY FOTOGRAMETRIE	7
1.2.1. Nájdenie vhodnej polohy kamery od analyzovaného objektu	7
1.2.2. Orientácia obrazu	8
1.2.3. Vzájomná poloha kamier	9
1.3 DIGITÁLNE SNÍMAČE	11
1.3.1. CCD snímače	11
1.3.2. CMOS snímače	16
1.3.3. Záznam farebného obrazu	19
2 POČÍTAČOVÉ VIDENIE	21
2.1 MODEL ŠTRBINOVEJ KAMERY	21
2.2 GEOMETRICKÉ ASPEKTY STEREO-OBRAZOVEJ ANALÝZY	23
2.3 STEREO-OBRAZOVÁ ANALÝZA V ZMYSLE PROJEKČNEJ GEOMETRIE	26
2.3.1. Definícia súradníc a parametrov kamery	26
2.3.2. Esenciálna matica	27
2.3.3. Fundamentálna matica	27
2.3.4. Projekčná rekonštrukcia obrazu	29
2.3.5. Metóda vyrovnávania zväzkov	31
3 KALIBRÁCIA JEDNEJ A VIACERÝCH KAMIER	33
3.1 STRUČNÝ HISTORICKÝ PREHĽAD KALIBRAČNÝCH METÓD	33
3.2 METÓDA PRIAMEJ LINEÁRNEJ TRANSFORMÁCIE	33
3.3 METÓDA KALIBRÁCIE KAMIER PODĽA TSAIA	37
3.4 METÓDA KALIBRÁCIE KAMIER PODĽA ZHANGA	38
4 DIGITÁLNA OBRAZOVÁ KORELÁCIA	43
4.1 PRINCÍP METÓDY DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	43
4.2 KORELAČNÉ ALGORITMY	45
4.2.1. Algoritmus sledovania translačného pohybu	45
4.2.2. Metóda zahnutých plôch	46
4.2.3. Newton-Raphsonova metóda	47
4.2.4. Algoritmus založený na optickom toku	49
4.2.5. Korelácia využitím pseudo-afinitnej transformácie	50
4.3 MERACIE ZARIADENIA PRE DIGITÁLNU OBRAZOVÚ KORELÁCIU	50
4.3.1. Systém Q-400	51
4.3.2. Systém Q-400 Micro	52
4.3.3. Systém Q-480	53
4.3.4. Systém Q-450	54
5 POSTUP PRI PRÁCI S KORELAČNÝMI ZARIADENIAMI	57
5.1 MODUL PRE AUTOMATICKÚ A MANUÁLNU AKVIZÍCIU SNÍMOK	59



5.2	MODUL PRE KALIBRÁCIU KAMIER	61
5.3	MODUL PRE KORELÁCIU SNÍMOK	64
5.4	MODUL PRE VIZUALIZÁCIU VÝSLEDKOV MERANIA	66
5.5	PRÍDAVNÉ MODULY	70
5.5.1.	Univerzálny vyhodnocovací modul	70
5.5.2.	Modul pre online koreláciu	79
6	CHYBY DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE, VPLYV VYBRANÝCH FAKTOROV NA JEJ PRESNOŠŤ	83
6.1	KORELAČNÉ CHYBY	83
6.2	3D REKONŠTRUKČNÉ CHYBY	85
6.3	VPLYV VYBRANÝCH FAKTOROV A PODMIENOK MERANIA NA PRESNOŠŤ DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	85
6.3.1.	Posúdenie vplyvu kalibračných parametrov	86
6.3.2.	Posúdenie vplyvu svetelných podmienok	96
6.3.3.	Posúdenie vplyvu kvality povrchového vzoru	100
7	UKÁŽKY PRAKTICKÝCH APLIKÁCIÍ NÍZKORÝCHLOSTNEJ DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	105
7.1	VERIFIKÁCIA NUMERICKÝCH MODELOV	105
7.2	POROVNANIE VÝSLEDKOV DEFORMAČNEJ ANALÝZY ZÍSKANÝCH METÓDOU DIC S KONVENČNÝMI MERACÍMI TECHNIKAMI	107
7.3	MOŽNOSTI DOPLNKOVÉHO SPRACOVANIA NAMERANÝCH DÁT	110
7.4	PROGRAM Q-STRESS V.1.0 – NÁSTROJ PRE VÝPOČET A VIZUALIZÁCIU NAPĚŤOVÝCH POLÍ	112
7.4.1.	Aplikácia programu Q-STRESS pri napät'ovej analýze okolia malého otvoru	115
7.4.2.	Program Q-STRESS ako nástroj pre overenie napät'ových polí získaných metódou fotoelasticimetrie	117
8	UKÁŽKY PRAKTICKÝCH APLIKÁCIÍ VYSOKORÝCHLOSTNEJ DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	121
8.1	TROJROZMERNÁ POHYBOVÁ ANALÝZA MECHANICKÝCH SYSTÉMOV	121
8.2	ANALÝZA KMITANIA ROTUJÚCEHO OBJEKTU	125
8.3	URČOVANIE OBRAZCA STOJATEJ VLNY	130
8.4	ANALÝZA NELINEARÍT PRI KMITANÍ KYVADLA	133
8.5	PÁDOVÁ SKÚŠKA CYKLISTICKEJ PRILBY	137
8.6	PROGRAM MODAN 3D – NÁSTROJ PRE VYKONÁVANIE EXPERIMENTÁLNEJ MODÁLNEJ ANALÝZY	140
8.6.1.	Identifikácia násobných vlastných tvarov kmitania využitím funkcie CMIF	144
8.6.2.	Analýza vplyvu teploty na posuv vlastných frekvencií kmitania	146
9	LITERATÚRA	149

PREDHOVOR

Značný rozvoj v rámci výpočtovej techniky, zaznamenaný v posledných desaťročiach, viedol nielen k významnému pokroku v oblasti numerických metód, ale aj k rozvoju prístrojového, či softvérového vybavenia pre experimentálne metódy. K najmodernejším meracím metódam patria tie, ktoré umožňujú bezkontaktnú analýzu polí posunutí, deformácií, či napätí na celých analyzovaných oblastiach konštrukcií. Ich výhodou oproti numerickému modelovaniu je najmä možnosť realizácie analýz na reálnych objektoch, pri skutočných okrajových podmienkach a podmienkach zaťaženia, čo často vedie práve k zdokonaleniu výsledkov získaných numericky.

Tieto aspekty viedli autorov k rozhodnutiu spracovať vysokoškolskú učebnicu „Experimentálne metódy mechaniky – Digitálna obrazová korelácia“. Publikácia je určená ako študijný materiál najmä pre študentov 3. ročníka denného bakalárskeho štúdia a 1. a 2. ročníka denného inžinierskeho štúdia. Keďže ide o vôbec prvú slovenskú učebnicu týkajúcu sa tejto modernej metódy experimentálnej mechaniky, môže slúžiť aj ako vhodný podkladový materiál pri riešení bakalárskych, diplomových, či dizertačných prác. Cieľom predkladanej publikácie je vysvetliť základné princípy digitálnej obrazovej korelácie, popísať metodiku meraní pomocou korelačných zariadení Dantec Dynamics a poukázať na praktické aplikácie metódy digitálnej obrazovej korelácie pri deformačnej a napäťovej analýze, analýze kmitania a pohybu.

Autori pri zostavovaní učebnice nadviazali na poznatky uvedené v monografii „Využitie optických metód v experimentálnej mechanike II.“, pričom informácie čerpali z diel významných osobností ako aj z vlastných skúseností a výsledkov výskumnej činnosti, nadobudnutých počas dlhoročnej práce so zariadeniami v prezentovanej oblasti, pri riešení úloh v rámci projektov, ale aj pre potreby technickej praxe.

Naše poďakovanie patrí predovšetkým lektorom učebnice prof. Ing. Jánovi Vavrovi, PhD. z TnU AD v Trenčíne a prof. Ing. Františkovi Šimčákovi, CSc. z TU v Košiciach za dôsledné preštudovanie rukopisu, cenné rady, podnety i pripomienky, ktorými výrazne prispeli ku skvalitneniu učebnice.

Učebnica bola spracovaná v rámci riešenia projektu KEGA 021 TUKE-4/2013 „Využitie moderných optických metód experimentálnej mechaniky pre rozvoj vedomostnej bázy študentov druhého a tretieho stupňa vysokoškolského štúdia“.

Čitateľom učebnice želáme množstvo inšpirácií smerujúcich k odhaleniu nepoznaného a súčasne sa obraciam s prosbou o námety, postrehy, prípadne pripomienky, ktoré budú viesť k ďalšiemu zdokonaleniu učebnice v oblasti vysvetlenia teoretických princípov, aplikačných postupov, prípadne i ďalšieho využitia digitálnej obrazovej korelácie, ako v oblasti výskumu a vývoja, tak i v úlohách praxe.

Košice 23.11.2015

Dr.h.c. mult. prof. Ing. František Trebuňa, CSc.
Doc. Ing. Róbert Huňady, PhD.
Ing. Martin Hagara, PhD.