

# Posudek oponenta bakalářské práce

Autor práce: **Bohdan Teplý**

Název práce: **Algoritmy pro korekci termografického obrazu**

Pan Bohdan Teplý se ve své bakalářské práci věnuje tématice zpracování obrazové informace získané v rámci nedestruktivní defektoskopie (NDT). Zabývá se velmi zajímavou oblastí zpracování snímků, popř. celých videosekvencí, pořízených termovizní kamerou, tj. pracuje v oboru nedestruktivního testování infračerveným zářením (metoda IRNDT). Cílem je navrhnout takové metody zpracování obrazové informace, které ve snímcích kompenzují tzv. nerovnoměrnou expozici a filtrují opakující se artefakty (textury), které jsou specifické pro kompozitní materiály.

Předložený text bakalářské práce obsahuje celkem 55 stran, vč. příloh, práce je členěna do 10 kapitol (+ dvě přílohy).

V první tematické části, 2. a 3. kapitola, je popsána problematika detekce infračerveného záření (IR) a je zde také zpracována přehledová studie NDT a IRNDT. Bohužel, postrádám detailnější vysvětlení principů detekce IR, odlišení podstaty získané informace, která reprezentuje termografický snímek, od vlastní vizualizace těchto termografických dat. Princip detekce IR je shrnut do jedné věty a odkazu: „*Termografické kamery vypočítávají teplotu měřeného tělesa pomocí Planckova vyzařovacího zákona.* [Pla18].“ Zde, ale ani v dalších částech práce, nenacházím konkrétnější popis typu a parametrů termovizní kamery, která byla v rámci řešení používána. Tj., autor práce má k dispozici naměřená data, se kterými dále pracuje, ale neznáme jejich vlastnosti, ani proces jejich získání. V dalším textu jsou používány velmi často pojmy *emisivita* a *citlivost kamery*, které nejsou nikde vysvětleny. Podobně jsou autorem používány „zvláštní“ popisy datových typů: *16 bitový ...*, *float*, *materiál se při měření může zahřát do teplot, které přesahují hodnotu 255*, ... (str. 23). Jaký je pak vlastně rozsah výstupních hodnot termovizní kamery v podobě původních termografických dat, jakému teplotnímu rozsahu testovaných vzorků odpovídají, co je výsledek úpravy komerčním software LabIR®, co je transformace/přebarvování pro účely vizualizace a co je výsledek zpracování obrazových dat autorem práce? Jaké je geometrické rozlišení termovizní kamery, tj. jaký minimální defekt jsme např. schopni v rámci IRNDT detekovat u testovaných vzorků?

Naopak v části, která se týká NDT obecně, nebo dále spec. případem IRNDT, se autor rozepisuje velmi detailně. Popis uspořádání konkrétního experimentu testování materiálu, ze kterého jsou v práci používána termografická data, však není v práci srozumitelně popsán. Z toho pak také plynou další nejasnosti v následujících kapitolách.

Jako další tematickou část práce považuji 4., 5. a 6. kapitolu. Zde autor podrobně rozebírá dva typy poruchy, které ovlivňují kvalitu IR snímků s ohledem na jejich další analýzu a zpracování. Jedním typem takové poruchy je nerovnoměrná expozice, druhým pak textura, která vzniká při IRNDT kompozitních materiálech. Logickým vyústěním tohoto rozboru je následné stanovení upřesněných cílů práce, viz 6. kapitola.

V kapitole 4, *Problém nerovnoměrné expozice*, je uváděno několik příčin nerovnoměrného tepelného zatížení testovaného vzorku. Autor hovoří o zdroji buzení, jeho umístění vzhledem k poloze vzorku, ale nikde již neudává parametry tohoto zdroje. Tj., např. informace o jeho technické realizaci, vlnové délce použitého záření, okamžitém výkonu a energii, kterou je zdroj schopen materiálu předat za dobu trvání  $\Delta t$  stimulačního impulsu, nebo k jakému teplotnímu posunu dojde ve vzorku díky tepelné stimulaci. Tyto informace jsou podle mě důležité pro nastavení termovizní kamery, pravděpodobně právě parametru *citlivosti*, o které se autor několikrát zmiňuje. Také je zde uváděn vliv „osvětlení“. Pravděpodobně se jedná o osvětlení místnosti a působení vnějších vlivů v podobě slunečního svitu. Odstranění takových vlivů, resp. jejich teplotní stabilizace, by měly být součástí popisu experimentu, který v práci chybí. Protože se autor zmiňuje o možných poruchách některých komponent termovizní kamery (čidlo, objektiv), pak by bylo dobré rozdělit vlivy na ty, které způsobují systematickou poruchu a poruchu náhodného charakteru. V závěru kapitoly je uvedeno několik možných technik pro odstranění nerovnoměrné expozice. Bohužel, bez dalších souvislostí tento výčet problematiku příliš nevyjasňuje, str. 19.

Ke kapitole 5, *Kompozitní materiály, problém s mřížkou v obraze při měření*, nemám zásadních připomínek, princip vzniku textury v termografickém snímku je popsán srozumitelně. Na str. 22 je ale uveden přehled metod filtrace, kterými by bylo možné tuto texturu, chápanou jako poruchový signál, ve snímku odstranit. Nabízí se otázka, zda má autor s těmito metodami zkušenost a zda je testoval. Uvádí-li např. Wienerův filtr, proč také nezmiňuje filtr inverzní?

Kapitoly 7 a 8 tvoří další tematický celek, ve kterém jsou popsány konkrétní metody použité pro řešení problému nerovnoměrné expozice a odstranění poruchy typu textura v kompozitních materiálech. Tento celek kombinuje teoretickou (popisnou) část metod s částí, řekněme implementační.

V kapitole 7, *Metody kompenzace expozice*, správně by asi mělo být „*Metody kompenzace nerovnoměrné expozice*“, jsou uvedeny dva přístupy. Jedním z nich je proložení plochy hodnot termografického snímku polynomem. Autor používá 4 polynomy různého stupně.

Připomínky a dotazy k této části:

- bývá zvykem, že vzorce, použité v odborném textu, jsou číslovány;
- označení fční hodnoty  $s_f(x,y)$ , nijak neodlišuje jednotlivé typy polynomů, podobně koeficienty  $p_{00}$ ,  $p_{01}$ ,  $p_{10}$ ,  $p_{11}$ ,  $p_{02}$  a  $p_{20}$  mají pro každý polynom a daný snímek obecně jiné hodnoty;
- pro výpočet koeficientů polynomů je používána metoda nejmenších čtverců, viz [Chr]; myslím si, že by bylo pro vysvětlení metody vhodnější použít matematický popis, než popisovat konkrétní implementaci metod z knihovny MathNet Numerics;
- str. 28, text: „... uživatel zvolí vhodný polynom ...“; podle čeho tak učiní, existuje nějaká kritériální fce pro takové rozhodnutí?
- str. 29, text: „... na ploše určí střed ...“; co je to „střed“, jaký je jeho význam?
- str. 29, text: „Kompenzaci bodu se souřadnicemi  $(x,y)$  provedeme ...“; nebylo lepší popsat výpočet matematickým vztahem + příklad + obrázky s hodnotami z příkladu?

Jako druhá metoda kompenzace nerovnoměrné expozice je uvedena metoda referenčního snímku.

Připomínky a dotazy k této části:

- co to je referenční snímek? jak je získán, co musí být zajištěno při použití této metody?
- co je metoda „dělení“?

Kapitola 8, *Filtrace mřížky z obrazu*, obsahuje popis metody pro odstranění šumu typu textura. Zpracování obrazové informace se provádí ve frekvenční oblasti, kdy autor používá standardní přístup s využitím Fourierovy transformace (DFT). Volbu tohoto přístupu považuji za zdařilou, k implementaci nemám připomínek. Po formální stránce v textu bakalářské práce, str. 35 a 36, u vzorců postrádám jejich číslování a kompletní popis proměnných  $(u,v)$  a  $(x,y)$ .

Kapitola 9, *Uživatelské rozhraní*, obsahuje stručný popis, který ovšem nelze chápat jako manuál. V práci jsem také nikde nenašel odkaz na popis/manuál komerčního software LabIR®. Dále by stálo za úvahu, podrobněji popsat implementaci vlastních filtrů do LabIR®.

Příloha – A, str. 47-50 prezentuje dosažené výsledky na celkem 11 vzorcích. Ovšem je bez komentářů a popisů, jakým způsobem byly sekvence zpracování uspořádány, které polynomy, popř. referenční snímky, byly použity. Čtenáři nezbývá nic jiného, než si výsledek zhodnotit sám pouhým pozorováním a vlastním odhadem.

Po formální stránce je práce na průměrné úrovni, viz předcházející připomínky. Dále obsahuje celou řadu překlepů a gramatických „problémů“. V některých případech chybí v textu úplný odkaz na obrázky, viz např. str. 30, „... je uveden v 7.4.“ nebo „... je uvedeno v 7.5.“

Práce s literaturou je v přiměřeném rozsahu, i když např. odbytí vysvětlení principu detekce IR záření odkazem na [Pla18] považuji za dost „odvážné“.

I přes výše uvedené připomínky a nedostatky považuji zadání bakalářské práce za splněné. Implementace filtrů do software LabIR® je funkční a odpovídá přehledu, který je uveden v kapitole 9.

Práci považuji tématem za inspirativní, přínosnou a vhodnou pro další rozvíjení. Vzhledem k výše uvedeným nedostatkům, které jsou podle mého mínění již většího rozsahu, navrhuji hodnocení známkou **dobře**. Práci doporučuji k obhajobě. Předpokládám, že pan Bohdan Teplý nejasnosti uváděné v tomto posudku detailně během obhajoby vysvětlí.

V Plzni 26. 5. 2023

Ing. Pavel Nový, Ph.D.

oponent bakalářské práce

Katedra informatiky a výpočetní techniky

Fakulta aplikovaných věd

Technická 8

301 00 Plzeň

tel.: 377 632 411

e-mail: [novyp@kiv.zcu.cz](mailto:novyp@kiv.zcu.cz)