



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Využití fuzzy transformace a obrazové fúze pro zpracování obrazu

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Jakub Kutík**
Vedoucí práce: Ing. Radek Horálek, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Kutík**
Osobní číslo: **M12000059**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Využití fuzzy transformace a obrazové fúze pro zpracování obrazu**
Zadávající katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Seznamte se s metodou fuzzy logiky a s principy fuzzy transformace.
2. Navrhněte aplikaci pro modelové odzkoušení algoritmů fuzzy transformace při zpracování obrazu.
3. Navrhněte modelové algoritmy fuzzy transformace a proveďte diskusi jejich časové náročnosti.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 30–40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- [1] Navara, M., Olšák, P.: **Základy fuzzy množin, přednášky FEL ČVUT Praha 2002**, odkaz: <ftp://math.feld.cvut.cz/pub/olsak/fuzzy/fuzzy.pdf>;
- [2] Novák, V.: **Základy fuzzy modelování, BEN Praha 2000, ISBN 978-80-7300-009-9**;
- [3] Pavliska, V.: **Technika fuzzy modelování v algoritmickém a programovém zpracování, doktorská disertační práce, Ostravská univerzita Ostrava 2009**, odkaz: http://irafm.osu.cz/f/PhD_theses/Pavliska.pdf;
- [4] Perfilieva, I.: **Fuzzy Transforms, Research report No. 58, University of Ostrava, IRAFM Ostrava 2004**, odkaz: http://irafm.osu.cz/research_report/58_rep58.pdf;
- [5] Vlach, J., Kolar, M.: **Fuzzy Logic Methods and Image Fusion in a Digital Image Processing, In: AEEE, Digital Image Processing And Computer Graphics, Volume 10, Number 1, 2012, March, s. 35 ? 41, ISSN 1804-3119**, odkaz: <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/550>;
- [6] Zadeh, L. A.: **Fuzzy Sets, Information & Control, 8, 1965, s. 338-353**, odkaz: <http://www-bisc.cs.berkeley.edu/zadeh/papers/Fuzzy%20Sets-1965.pdf>;
- [7] Zadeh, L. A.: **Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, In: IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 1973; 3, s. 28?44**, odkaz: <http://www-bisc.eecs.berkeley.edu/Zadeh-1973.pdf>;

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radek Horálek**
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Vlach, Ph.D.**
PRECIOSA a.s., Jablonec n. Nisou

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2016**


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 12.5.2016

Podpis: 

Poděkování

Děkuji zejména mému konzultantovi, panu ing. Jaroslavu Vlachovi, Ph.D, z firmy PRECIOSA a.s., za jeho přínosné rady a neocenitelné konzultace k tomuto zajímavému tématu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá využitím relativně nových technik zpracování obrazů pomocí metod fuzzy transformace a obrazové fúze. Cílem je navrhnout modelové algoritmy pro aplikaci na hodnocení estetických vad bižuterních kamenů a provést diskuzi jejich časové náročnosti.

První část práce je věnována teoretickému rozboru. Nejprve jsou popsány bižuterní kameny a problémy jejich hodnocení. Dále jsou analyzovány základní metody, pojmy a techniky zpracování obrazu. Následně jsou rozebrány pojmy fuzzy množina, fuzzy logika a fuzzy transformace a je vysvětlena obrazová fúze.

Ve druhé části práce je nejprve popsán princip možného stroje pro hodnocení a třídění kamenů, na kterém by se daly odzkoušet dále navržené algoritmy. Následuje samotný návrh modelových algoritmů v prostředí LabView. První algoritmy využívají funkce pro výpočet přímé a zpětné fuzzy transformace a porovnání výsledného obrazu s originálním. Další používají také fúzi čtyř obrazů jednoho kamene s různým nasvícením. Tyto obrazy byly pořízeny stacionárně, ve stejné vzájemné pozici snímače a kamene, a tak v této práci není řešeno jejich sesazení. Navržené algoritmy jsou poté porovnány s některými klasickými metodami zpracování obrazu a je zhodnocena jejich účinnost a časová náročnost.

Klíčová slova

Zpracování obrazu, fuzzy transformace, obrazová fúze, bižuterní kameny, hodnocení vad, počítačové vidění, LabView

Abstract

The Bachelor thesis deals with the use of relatively new techniques of image processing using fuzzy transform and image fusion. The objective is to design a model algorithms for the evaluation of esthetical defects on jewellery stones and to make the discussion of their time demand.

The first part is dedicated to the theoretical analysis. The jewellery stones and problems of their evaluation are described first. Then it analyses the basic methods, terms and techniques of image processing. Subsequently it describes fuzzy set, fuzzy logic and fuzzy transformation and the image fusion is explained.

The second part first describes the principle of possible machine for evaluation and classification the stones. Following the design process of model algorithms in LabView. The first algorithms use functions for calculating direct and inverse fuzzy transform and comparing the resulting image with the original one. Others also use the fusion of four images of one stone with different illumination. These images were taken statically in the same relative position of sensor and stone, and so their registration isn't solved in this work. The proposed algorithms are then compared with some classical methods of image processing and their effectiveness and time-consuming is evaluated.

Key words

Image processing, fuzzy transform, image fusion, jewellery stones, evaluation of defects, machine vision, LabView

Obsah

Úvod.....	11
Cíle práce.....	12
1 Teoretický rozbor.....	13
1.1 Bižuterní kameny.....	13
1.1.1 Zkoumané vady.....	14
1.2 Zpracování obrazu.....	15
1.2.1 Reprezentace obrazu.....	15
1.2.2 Základní techniky předzpracování obrazu.....	16
1.2.3 Základní techniky segmentace obrazu.....	17
1.2.4 Cannyho hranový detektor.....	18
1.2.5 Houghova transformace.....	19
1.3 Teorie fuzzy množin.....	20
1.3.1 Fuzzy množina.....	20
1.3.2 Fuzzy systém.....	22
1.3.3 Fuzzy transformace.....	23
1.4 Obrazová fúze.....	25
1.4.1 Základní úvahy.....	25
1.4.2 Geometrické sesazení (registrace) obrazů.....	25
1.4.3 Odstranění degradací.....	26
1.4.4 Zvýšení prostorového rozlišení.....	26
1.4.5 Fúze obrazů z různých typů senzorů.....	26
2 Řešení.....	27
2.1 Princip stroje pro třídění kamenů.....	27
2.1.1 Zásobník a podavač.....	27
2.1.2 Snímací soustava.....	27
2.1.3 Počítač.....	28
2.1.4 Třídící mechanismus.....	28
2.2 Využití klasických detektorů hran.....	28
2.2.1 Filtr typu horní propust.....	28
2.2.2 Cannyho detektor.....	29

2.3	Využití fuzzy transformace	30
2.3.1	Detektor hran pomocí fuzzy transformace	30
2.3.2	Rozšíření metody o eliminaci odlesků	31
2.3.3	EDFT s alternativní chybovou funkcí	32
2.4	Aplikace obrazové fúze	33
2.4.1	Fúze transformovaných obrazů	33
2.4.2	Fúze obrazů s výběrem nejtmavšího bodu	35
2.4.3	Fúze obrazů s výpočtem průměru.....	36
2.5	Zhodnocení účinnosti a časové náročnosti	38
2.5.1	Odlišení dobrých a vadných kamenů	38
2.5.2	Časová náročnost.....	41
3	Závěr	43
	Literatura	44
A	Obsah přiloženého CD	45
B	Algoritmy v LabView	46

Seznam obrázků

<i>Obr. 1.1: Obecný tvar bižuterního kamene.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 1.2: Zkoumané vady</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 1.3: Stejná vada při různém úhlu nasvícení</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 1.4: Jasové profily nejběžnějších hran</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 1.5: Nejčastější tvary funkce příslušnosti.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 1.6: Struktura fuzzy systému</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 1.7: Příklad rovnoměrného fuzzy rozkladu</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení pro hodnocení a třídění výrobků</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 2.2: Detektor hran s využitím filtru horní propust</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 2.3: Cannyho hranový detektor</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 2.4: Blokové schéma algoritmu pro detekci hran s využitím F-transformace.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 2.5: Příklad aplikace algoritmu EDFT</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 2.6: Blokové schéma algoritmu s eliminací odlesků</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 2.7: Příklad použití algoritmu s eliminací odlesků</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 2.8: Blokové schéma EDFT s alternativní porovnávání metodou.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 2.9: Příklad aplikace alternativní porovnávací funkce</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 2.10: Blokové schéma fúze výstupních obrazových funkcí EDFT</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 2.11: Příklad aplikace fúze výstupních funkcí algoritmu EDFT</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 2.12: Blokové schéma algoritmu fúze pomocí funkce minimum</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 2.13: Příklad aplikace fúze s použitím funkce minimum</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 2.14: Blokové schéma algoritmu fúze pomocí funkce průměru.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 2.15: Příklad aplikace fúze s použitím funkce průměru</i>	<i>37</i>
<i>Obr. B.1: Algoritmus pro výpočet přímé fuzzy transformace</i>	<i>46</i>
<i>Obr. B.2: Algoritmus pro výpočet zpětné fuzzy transformace</i>	<i>46</i>
<i>Obr. B.3: Blokové diagramy algoritmu EDFT</i>	<i>47</i>
<i>Obr. B.4: Blokový diagram algoritmu EDFT s eliminací odlesků</i>	<i>48</i>
<i>Obr. B.5: Blokový diagram obrazové fúze výstupů EDFT</i>	<i>49</i>
<i>Obr. B.6: Blokový diagram obrazové fúze s využitím funkce minimum</i>	<i>50</i>
<i>Obr. B.7: Blokový diagram obrazové fúze s využitím funkce průměru.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. B.8: Blokové algoritmy použitých funkcí.....</i>	<i>52</i>

Seznam grafů

<i>Graf 2.1: Porovnání výsledků metody EDFT pro různé typy vad</i>	<i>38</i>
<i>Graf 2.2: Porovnání výsledků EDFT s eliminací odlesků pro různé typy vad</i>	<i>39</i>
<i>Graf 2.3: Porovnání výsledků obrazové fúze výstupů EDFT pro různé typy vad.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 2.4: Porovnání výsledků obrazové fúze s funkcí minimum pro různé typy vad.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 2.5: Porovnání výsledků obrazové fúze s funkcí průměru pro různé typy vad.....</i>	<i>41</i>
<i>Graf 2.6: Porovnání časové náročnosti jednotlivých algoritmů</i>	<i>42</i>
<i>Graf 2.7: Závislost časové náročnosti fuzzy transformace na kroku rozkladu.....</i>	<i>42</i>

Úvod

V dnešní době se, hlavně kvůli udržení konkurenceschopnosti, klade stále větší důraz na co možná nejkomplexnější automatizaci celého výrobního procesu, od návrhu až po hodnocení kvality finálního výrobku. Ve firmě PRECIOSA, a. s., která se zabývá výrobou a prodejem šperkových a bižuterních kamenů, se počítá s nahrazením manuálního hodnocení kvality hodnocením automatizovaným, což bude mít za následek spolehlivější a rychlejší třídění kamenů a zefektivnění výrobního procesu.

Požadavky na hodnocení kvality strojově broušených kamenů jsou především přesnost a opakovatelnost měření (zejména tvaru, rozměrů a případných estetických vad). Firma PRECIOSA, a.s. v současné době provádí hodnocení kvality měřením geometrických rozměrů výrobku kontaktním nebo bezkontaktním způsobem, a pomocí subjektivního vizuálního posuzování optických vlastností v definovaných světelných podmínkách.

Právě manuální posuzování estetických vad šperkových a bižuterních kamenů je potřeba nahradit automatizovaným řešením. Jako nejlepší řešení se jeví snímání výrobků optickou soustavou a následné počítačové vyhodnocení snímků. Poměrně složitý problém je však najít rychlou a spolehlivou metodu zpracování a vyhodnocení obrazu. Zažité algoritmy a hranové detektory nedávají uspokojivé výsledky z hlediska přesnosti nebo času. Jako nadějná se jeví metoda s využitím fuzzy transformace a obrazové fúze, kterou budu dále zkoumat v této práci.

Cíle práce

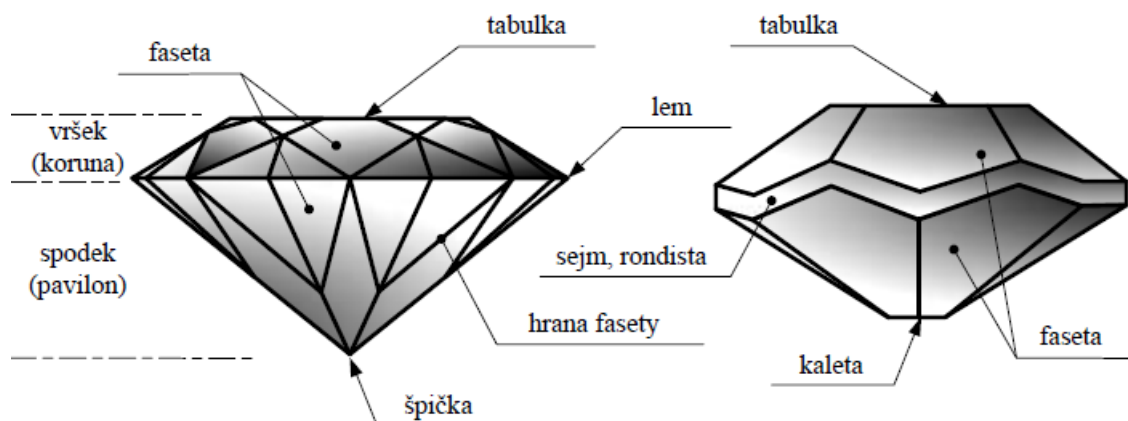
Hlavním cílem bakalářské práce je navržení modelových algoritmů pro zpracování obrazu, s využitím metod fuzzy transformace a obrazové fúze a jejich aplikace na hodnocení vad bižuterních kamenů.

Dalším cílem je porovnání navržených algoritmů s některými klasickými metodami zpracování obrazu a jejich zhodnocení z hlediska použitelnosti pro hodnocení vad bižuterních kamenů a časové náročnosti.

1 Teoretický rozbor

1.1 Bižuterní kameny

Šperkové a bižuterní kameny (jako jsou např. šatony, šatonové růže, perle, tvarové kameny, nažehlovací kameny s plochým spodkem, atd.) můžeme chápat jako prostorové geometrické útvary ohraničené několika vybroušenými plochami (fasetami), jejichž základní funkcí je především funkce opticko-estetická. Plochy můžeme rozdělit na opticky funkční a opticky nefunkční. Opticky funkční plochy se aktivně podílejí na optickém efektu výrobku. Plochy opticky nefunkční se na optickém efektu nepodílejí. Ve firmě PRECIOSA, a.s. se vyrábějí kameny ze skla či kubické zirkonie v různých tvarech (nejčastěji briliant) většinou do velikosti 1 cm.

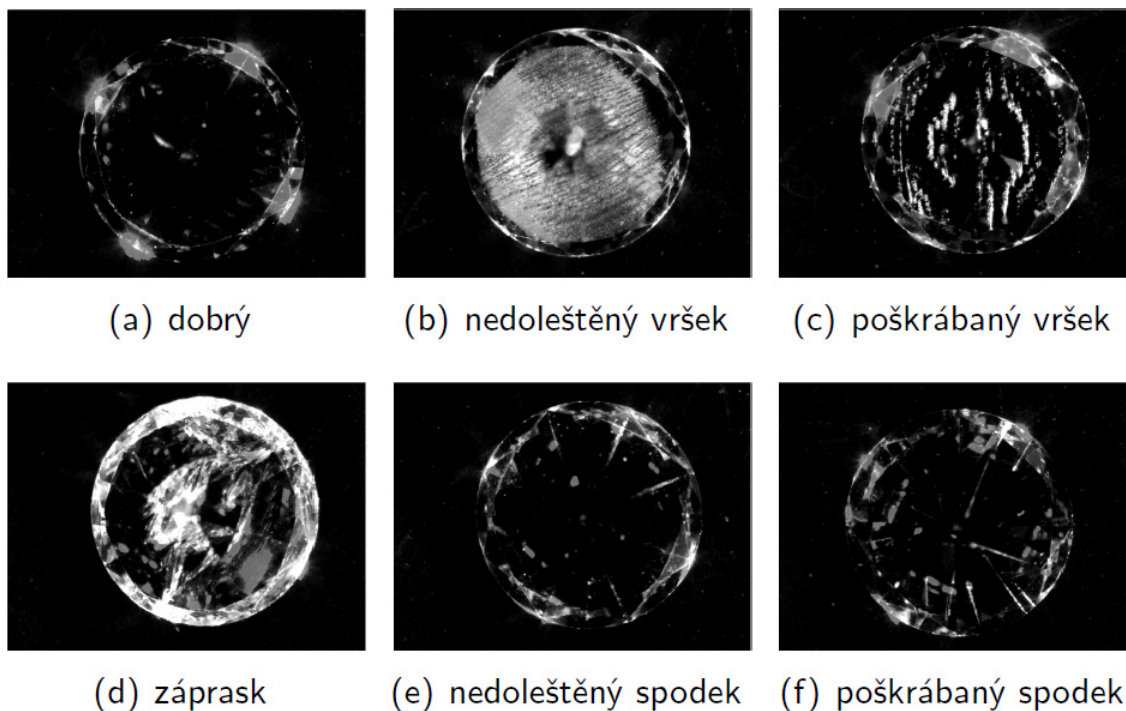


Obr. 1.1: Obecný tvar bižuterního kamene (vlevo – briliant, vpravo - šaton) [7]

Na Obr. 1.1 jsou popsány bižuterní kameny a jejich části. Vlevo je vyobrazen briliantový výbrus, který má 57 faset (33 na koruně a 24 na pavilonu) a je nejpoužívanější. Výpočet moderního briliantového brusku provedl v roce 1919 Marcel Tolkowski. Ten dokázal spočítat ideální sklon faset, čímž docílil optimálního odrazu světla v celém spektru barev. Vpravo je potom vyobrazen šatonový výbrus.

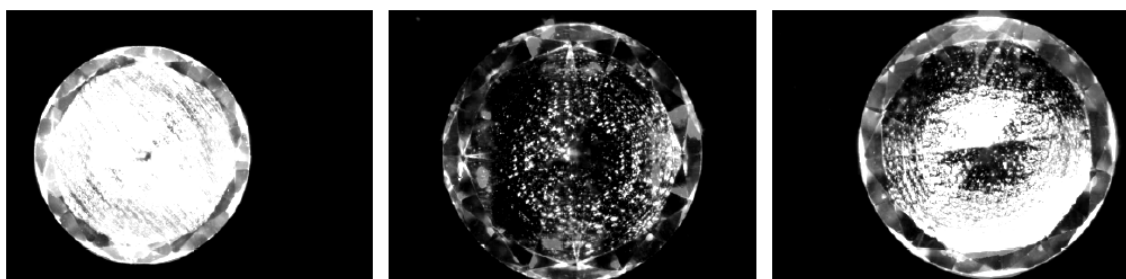
1.1.1 Zkoumané vady

Při hodnocení kvality šperkových kamenů můžeme narazit na různé typy vad, které mohou vzniknout vadou materiálu (suroviny) nebo během výrobního procesu. Ukázky některých vad jsou na Obr. 1.2.



Obr. 1.2: Zkoumané vady [14]

Problém klasifikace vady spočívá v tom, že už při lehkém pootočení kamene vzhledem ke zdroji světla se znatelně mění odlesky od ploch kamene. Stejná vada pak může na různém kameni vypadat výrazně odlišně. Na Obr. 1.3 můžeme vidět tři kameny se stejnou vadou (nedoleštěná tabulka, viz Obr. 1.2b), ale při různém úhlu dopadajícího světla.



Obr. 1.3: Stejná vada při různém úhlu nasvícení [14]

1.2 Zpracování obrazu

Cílem zpracování obrazu je porozumění jeho obsahu. Postup zpracování a rozpoznávání obrazu lze obvykle rozložit (např. podle [9]) do několika základních kroků:

1. **Snímání a digitalizace.** Obraz je nejprve sejmuto např. pomocí kamery, fotoaparátu či scanneru. Vstupní analogový signál je pomocí vzorkování a kvantování převeden do diskrétního tvaru a je popsán funkcí dvou proměnných (souřadnic v obraze) $f(x, y)$. Poté je v číselné formě uložen do paměťového média. Funkční hodnota odpovídá např. hodnotě jasu. Výsledkem je matice čísel popisující obraz (digitální obraz). Jednomu prvku matice se říká obrazový element (pixel).
2. **Předzpracování obrazu.** Cílem je potlačit šum a zkreslení vzniklé při digitalizaci a přenosu obrazu. Jindy se předzpracování snaží zvýraznit určité rysy obrazu podstatné pro další zpracování. Nejčastěji se jedná o nějaký druh filtrování.
3. **Segmentace,** která dovolí v obraze rozlišit jednotlivé objekty. Za objekty lze považovat ty části obrazu, které nás z hlediska dalšího zpracování zajímají.
4. **Porozumění obsahu** obrazu. Typickými problémy jsou detekce a rozpoznávání objektů v obraze, tvorba modelů objektů v obraze a další.

1.2.1 Reprezentace obrazu

To jak je obraz interpretován lze hrubě rozdělit (podle [8]) do čtyř úrovní. Ty jsou seřazeny od signálů s nízkou úrovní abstrakce k popisu vhodnému pro vnímání. Hranice mezi nimi však nejsou striktní a v reálných aplikacích se často používá jemnější odstupňování.

1. **Digitální obraz** – nejnižší úroveň reprezentace. Výstup kroku snímání a digitalizace. Obraz není nijak interpretován, je to pouze celočíselná matice s údaji o jasu v příslušných bodech.
2. **Příznaky** – některé části obrazu jsou spojeny do skupin, které pravděpodobně patří k jednotlivým objektům. Při hledání příznaků je užitečná nějaká informace o konkrétním aplikačním oboru, umožňující obrazové signály alespoň částečně interpretovat.

3. **Objekty** - jsou to části obrazu, které představují nějaký samostatný předmět (objekt) v reálné scéně, zachycené na zkoumaném obrazu. Jsou výsledkem segmentace.
4. **Relační modely** – popisují a hodnotí kvantitativní i kvalitativní vlastnosti objektů v obraze. Je zde využíváno technik rozpoznávání a umělé inteligence.

Jednotlivé kroky zpracování obrazu jsou úlohy, které umožňují přechod mezi jednotlivými reprezentacemi obrazu.

1.2.2 Základní techniky předzpracování obrazu

Předzpracování obrazu je dosahováno většinou filtrací nebo také pomocí matematické morfologie (popsána např. v [8]). Filtraci lze provádět dvěma způsoby:

- Filtrace v prostorové oblasti
- Filtrace ve frekvenční oblasti

Pro převod do frekvenční oblasti se využívá **Fourierova transformace**.

Dále si představíme metody lokální filtrace obrazu, které pro výpočet nové hodnoty pixelu, využívají jeho malé okolí. Základním matematickým nástrojem je **diskrétní konvoluce**. Vzorec diskrétní konvoluce je následující:

$$f(x, y) * h(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k f(x - i, y - j) \cdot h(i, j) \quad (1.1)$$

Funkce $f(x, y)$ je původní obraz a matice $h(i, j)$ je konvoluční maska. Obvykle se pro konvoluční masku používá lichý počet řádků a sloupců a zpracováváný pixel je poté uprostřed matice.

Zvýraznění hran

Pro zvýraznění hran v obraze se používají filtry typu horní propust, které potlačí nízké frekvence v obraze. Existuje mnoho různých operátorů (např. Robertsův, Prewittové, Laplaceův, Sobelův, Robinsonův, Kirschův, jsou popsány např. v [8]), které lze vyjádřit jako konvoluční masky. Některé operátory vrací velikost (gradient) a směr hrany, některé pouze velikost a jsou invariantní vůči otočení (Laplacián).

Konvoluční maska Laplaciánu pro okolí 3×3 může vypadat následovně:

$$h_8 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad h_4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Vlevo je konvoluční maska pro 8-okolí zkoumaného bodu, vpravo je maska pro 4-okolí. Jak můžeme vidět součet prvků konvoluční masky je vždy roven nule.

Vyhlazení

Základní metodou vyhlazování obrazu je obyčejné průměrování, kde každému bodu přiřadíme nový jas, který je aritmetickým průměrem hodnot jasů všech pixelů ve zvoleném okolí. Konvoluční maska s normálním rozložením hodnot pro okolí 3×3 je:

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Někdy se zvětšuje váha zkoumaného pixelu (středový bod) či pixelů blíže ke středu masky (např. Gaussovo rozložení). Operátor Gaussián o velikosti masky 3×3 může potom vypadat např. takto:

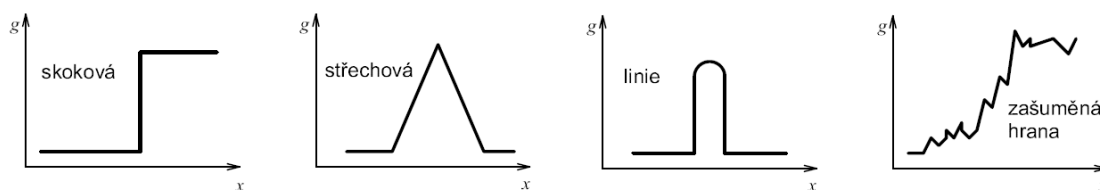
$$h = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

1.2.3 Základní techniky segmentace obrazu

Detekce hran

Detekce hran je jedna z nejdůležitějších a nejpoužívanějších úloh zpracování obrazu na nižší úrovni. Je to poměrně snadný a již vyřešený problém, správná interpretace nalezených hran je však v některých situacích velmi složitá.

Hranami rozumíme body obrazu, u kterých se hodnota jasu prudce mění. Změny v jasu obrazu jsou jedny z nejzákladnějších charakteristik obrazu, protože naznačují fyzické rozmístění objektů v obraze. Hrana je reprezentovaná velikostí a směrem. Jednotlivé typy hran jsou znázorněny na následujících grafech, kde na ose x je pozice bodu na řádku a na ose g je hodnota jasové funkce.



Obr. 1.4: Jasové profily nejběžnějších hran [8]

Základní metody detekce hran se potom dají rozdělit do dvou hlavních skupin. Metody využívající první derivaci (hledání lokálního maxima) a metody využívající druhou derivaci (přechod druhé derivace nulou).

Detekce oblastí

Metody detekující přímo oblasti v obraze (namísto hran těchto oblastí) jsou efektivnější pro zašumělý obraz, kde hranové detektory obtížně detekují hrany. Hlavním segmentačním kritériem pro detekci oblastí v obraze je homogenita oblasti. Kritériem homogenity může být např. úroveň šedi, barva, textura, tvar, model, apod.

Prahování

Prahování je jedna z nejstarších a nejjednodušších metod segmentace obrazu. Přestože je hodně omezena v možnostech nastavení parametrů, je široce používaná. Výhodou této metody je její jednoduchost.

Princip spočívá v tom, že objekty a pozadí mají většinou jinou úroveň intenzity jasu. Stačí tudíž určit tuto rozdílovou úroveň (práh) a poté každý pixel, který má menší hodnotu než zvolený práh, je určen jako součást pozadí a pixel s větší hodnotou než tento práh jako součást objektu, který chceme segmentovat.

1.2.4 Cannyho hranový detektor

Cannyho detektor je považován za jeden z nejlepších klasických hranových detektorů s malou citlivostí na šum. Bude tak velmi zajímavé vyzkoušet jeho kvality pro hledání vad bižuterních kamenů. Obecný postup vypadá následovně:

1. Eliminace šumu
2. Určení gradientu
3. Nalezení lokálních maxim
4. Eliminace nevýznamných hran

Pro odstranění šumu se nejčastěji používá Gaussův filtr, který lze aplikovat jako konvoluční masku na celý obraz. Konvoluční maska je vypočtena podle vzorce

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.5)$$

kde x, y jsou souřadnice pixelu v obraze a σ je standardní odchylka rozdělení.

Pro určení gradientu lze použít např. Sobelův operátor pro detekci hran. Jednou pro horizontální a jednou pro vertikální hrany obrazu.

Dále je potřeba vybrat z hodnot gradientů jen lokální maxima. To znamená, že pixel bude označen jako hrana pouze pokud je jeho hodnota gradientu vyšší než hodnoty gradientů jeho okolních pixelů v příslušném směru.

Odstranění nedůležitých hran lze dosáhnout jednoduchým prahováním.

1.2.5 Houghova transformace

Houghova transformace je metoda, která slouží pro hledání tvarů v obraze, které je možno parametrizovat (přímka, kružnice, elipsa). Principem je transformace z kartézského souřadnicového systému do polárního. Její obrovskou výhodou je, že tvar nemusí být dokonalý a nevadí jí ani chybějící pixely.

Pro aplikaci na obraz bižuterního kamene bude zajímavá hlavně Houghova transformace pro hledání kružnice. Princip je následující:

1. Vytvořím prázdné dvourozměrné pole (akumulátor) o rozměrech původní obrazové matice.
2. Zvolím poloměr hledané kružnice R .
3. Pro každý pixel původního obrazu, který má vhodnou jasovou hodnotu, v akumulátoru označím (přičtu hodnotu 1) všechny středy potencionálních kružnic s poloměrem R , kterých by byl pixel součástí.
4. Najdu v akumulátoru člen s největší hodnotou a indexy tohoto členu určím jako souřadnice středu hledané kružnice.

Zjednodušeně řečeno, kolem každého pixelu, který má úpravě původního obrazu (prahování) určitou jasovou hodnotu, „nakreslím kružnici“ o poloměru R a bod, kde se protne nejvíce těchto kružnic je středem hledané kružnice.

Výsledek segmentace pomocí Houghovy transformace je velmi závislý na kvalitním předzpracování (nejčastěji prahování) původního obrazu. Největší nevýhodou je velká výpočetní náročnost. Z toho důvodu je vhodné omezit počet zpracovávaných pixelů, např. odstranit z obrazu body, které nepatří hledanému objektu.

1.3 Teorie fuzzy množin

Výraz „fuzzy logika“ se poprvé objevil v roce 1965 v článku, jehož autorem byl profesor Lotfi A. Zadeh. Tehdy byl definován základní pojem fuzzy logiky, a to fuzzy množina. Slovo „fuzzy“ znamená neostrý, matný, mlhavý, neurčitý, vágní. Odpovídá tomu i to, čím se fuzzy teorie zabývá - snaží se pokrýt realitu v její nepřesnosti a neurčitosti.

Fuzzy logika je nadsoubor ke konvenční dvoustavové logice a naopak dvoustavová logika je tedy podmnožinou fuzzy logiky. Soubor funkcí fuzzy logiky je rozšířen o práci s hodnotami pohybujícími se mezi úplnou pravdou a úplnou nepravdou, tj. s částečnou pravdou.

1.3.1 Fuzzy množina

Klasická teorie množin připouští pro příslušnost prvku do množiny pouze dvě možnosti – prvek buď do množiny patří, nebo nepatří. Každému prvku množiny je přiřazena hodnota tzv. **charakteristické funkce** množiny, která pro klasické množiny nabývá pouze dvou hodnot – hodnoty 1, jestliže prvek do množiny patří, a hodnoty 0, pokud do množiny nepatří.

Fuzzy množina připouští částečné členství prvku. Budeme předpokládat pevně zvolenou univerzální množinu X , jejíž podmnožinou je fuzzy množina A . Stupeň příslušnosti prvku univerza X k fuzzy množině A je určen charakteristickou funkcí (**funkcí příslušnosti**):

$$\mu_A: X \rightarrow \langle 0,1 \rangle \quad (1.6)$$

Každá funkce z X do $\langle 0,1 \rangle$ jednoznačně určuje nějakou fuzzy množinu. Pro každý prvek $x \in X$ hodnota $\mu_A(x)$ říká, do jaké míry je x prvkem fuzzy množiny A . Hodnota 0 reprezentuje nepřislusnost, hodnota 1 úplnou příslusnost. Fuzzy množina, jejíž prvky dosahují hodnot μ_A pouze 0 a 1 (klasické dvoustavové množiny), se nazývá „ostrá“.

Nyní si definujeme některé základní pojmy, např. podle [2], které je nutné znát pro práci s fuzzy množinami:

- **α -řez** fuzzy množiny A je množina hodnot, jejichž míra příslušnosti do množiny A je větší nebo rovna hodnotě reálného čísla $\alpha = [0,1]$

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (1.7)$$

- **Jádro** fuzzy množiny A je ostrá množina:

$$\text{Ker } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (1.8)$$

- **Nosič** fuzzy množiny A je ostrá množina:

$$\text{Supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (1.9)$$

- **Výška** fuzzy množiny A :

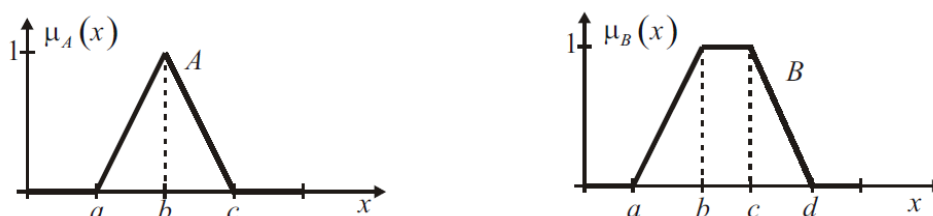
$$h(A) = \sup A(x) \quad (1.10)$$

Fuzzy množina, která má nenulové jádro (a tedy výšku $h = 1$), se nazývá „**normální**“.

Fuzzy číslo je fuzzy množina, definovaná na množině reálných čísel \mathbb{R} , která splňuje:

1. je to normální fuzzy množina,
2. α -řezy jsou pro všechna $\alpha \in (0, 1]$ uzavřené intervaly,
3. její nosič je omezená množina.

Tvar funkce příslušnosti může být různý. Z důvodu výpočetní jednoduchosti se nejčastěji používají tvary funkcí sestavené z lomených přímk. Tyto funkce příslušnosti jsou znázorněny na Obr. 1.5, kde na ose x jsou jednotlivé prvky a na ose y je hodnota jejich příslušnosti k dané množině.



Obr. 1.5: Nejčastější tvary funkce příslušnosti [11]

Logické operace

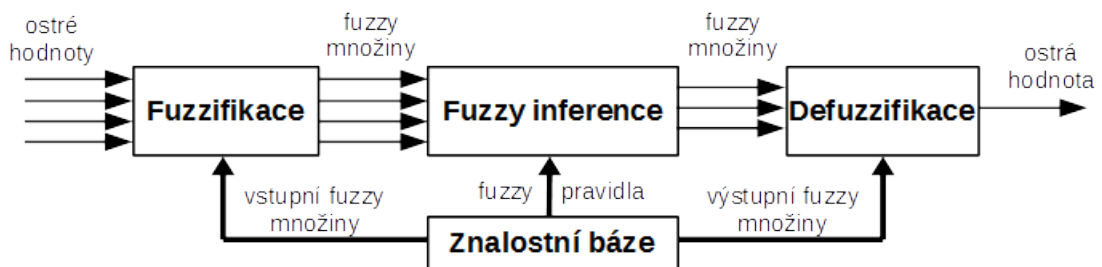
Operace s fuzzy množinami (fuzzy čísly) jsou vlastně zobecněním operací s klasickými množinami. Logika označovaná jako „fuzzy“ neexistuje pouze jedna, ale je jich

definováno více (minimová, Lukasiewiczova, součinnová, ...), které dávají různé výsledky logických operací. Asi nejpoužívanější je ta nejjednodušší, tedy minimová logika. Základní logické operace pro dvě fuzzy množiny A a B :

- Fuzzy negace (doplňěk množiny): $not A = 1 - A$
- Fuzzy konjunkce (průnik množin): $A \text{ and } B = \min(A, B)$
- Fuzzy disjunkce (sjednocení množin): $A \text{ or } B = \max(A, B)$

1.3.2 Fuzzy systém

Zpracování ostrých hodnot pomocí fuzzy logiky má 3 hlavní fáze – fuzzifikace, fuzzy inference a defuzzifikace.



Obr. 1.6: Struktura fuzzy systému

Znalostní báze

Obsahuje polohu a tvar funkcí příslušnosti jednotlivých vstupních a výstupních slovních proměnných a fuzzy pravidla.

Fuzzifikace

Tento blok převede reálná čísla (tedy jednobodové ostré množiny) na jazykové proměnné (fuzzy množiny) pomocí funkcí příslušnosti jednotlivých vstupních termů, které jsou definovány v bázi dat.

Fuzzy inference

Jak je uvedeno v [11], existuje-li člověk – expert, který dokáže daný problém vyjádřit slovním popisem typu „jestliže X_1 je *malé* a současně X_2 je *velké*, potom veličina Y je *střední*“, je možno vyjádřit tuto jeho znalost problému ve formě **fuzzy pravidel IF – THEN**, která mají tvar:

$$IF \langle \text{fuzzy výrok} \rangle THEN \langle \text{fuzzy výrok} \rangle$$

První fuzzy výroková množina, kterou je často složený výrok, se nazývá **antecedent**, kde jednotlivé části výroku jsou vázány logickými spojkami. Druhý fuzzy výrok se nazývá **konsekvent**.

Nejčastější postup jak určit výstupní množinu (podle [12]) vychází z logického předpokladu, že konsekvent může mít maximálně stupeň příslušnosti, jako má antecedent. Stupeň příslušnosti “ostré” hodnoty tedy určuje hladinu, která nám ořízne výstupní fuzzy množinu konsekventu.

Defuzzifikace

Nalezení výsledné ostré hodnoty. Nejčastěji se používá metoda těžiště, kde výslednou hodnotu akční veličiny určíme jako souřadnici těžiště plochy vzniklé sjednocením výstupních oříznutých fuzzy množin jednotlivých konsekventů.

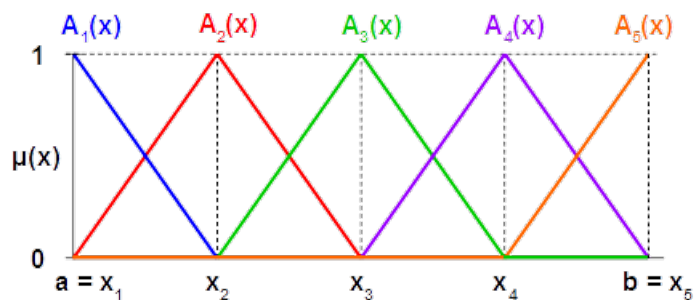
Expertní systém

Fuzzy systém je tzv. „expertní systém“, což znamená, že pro svoji správnou činnost potřebuje znalosti experta, který umí daný systém řídit ručně. V mnoha reálných situacích není takový expert k dispozici a vzniká tak problém naplnění znalostní báze fuzzy systému. Počet veličin, které je třeba naplnit do této báze, bývá velký (desítky) a určení jejich přesných hodnot tak, aby fuzzy systém plnil uspokojivě danou úlohu, je analyticky nemožné. Proto jsou hledány různé adaptační techniky, které umožňují doladění hodnot jednotlivých parametrů. Jednou z možných cest je realizovat fuzzy systém jako neuronovou síť a trénováním této sítě na zadaných datech najít potřebné hodnoty parametrů. [11]

1.3.3 Fuzzy transformace

Fuzzy transformace je metoda aproximace označována zkráceně jako **F-transformace**. Díky svým vlastnostem nachází uplatnění v různých aplikacích, jako např. filtrace signálu pro odstranění šumu, komprese obrázků, numerické řešení diferenciálních rovnic, hledání závislostí mezi daty aj. [3]

Základní myšlenka F-transformace spočívá v nahrazení spojité funkce její diskrétní aproximací. Na obr. 1.7 je uveden příklad rovnoměrného fuzzy rozkladu intervalu $\langle a, b \rangle$ na pět fuzzy čísel. Jsou zde také zvýrazněny funkce příslušnosti $A_i(x)$.



Obr. 1.7: Příklad rovnoměrného fuzzy rozkladu

Funkce příslušnosti jednotlivých fuzzy čísel rozkladu můžeme popsat rovnicí (1.11).

$$A_i(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}, & \text{pro } x_{i-1} \leq x \leq x_i \\ 1 - \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}, & \text{pro } x_i \leq x \leq x_{i+1} \\ 0, & \text{jinak} \end{cases} \quad (1.11)$$

Uvažujme nyní funkci f definovanou na intervalu $\langle a, b \rangle \in \mathbb{R}$. Budeme-li znát funkci f pouze v diskrétních bodech p_i , má význam **diskrétní F-transformace**.

Mějme tedy danu funkci f v konečném počtu bodů $\{p_1, p_2, \dots, p_N\} \subset \langle a, b \rangle$ a necht' je dán její fuzzy rozklad $P = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$. Potom můžeme diskrétní F-transformaci vzhledem k fuzzy rozkladu P definovat jako n -tici reálných čísel $F_P(f) = [F_1, F_2, \dots, F_n]$, vypočtených podle vztahu:

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^N f(p_j) A_i(p_j)}{\sum_{j=1}^N A_i(p_j)}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.12)$$

Vztah pro **inverzní F-transformaci** je potom:

$$f_{P,k}(u) = \sum_{i=1}^k F_i A_i(u). \quad (1.13)$$

Pro naše účely zpracování obrazu je nutno vzorce F-transformace rozšířit pro dvourozměrný případ. Mějme obraz I o velikosti $N \times M$ pixelů. Obrazová funkce $f_i(i, j)$ reprezentuje velikost jasové hodnoty každého pixelu. Obraz komprimujeme pomocí F-transformace funkce dvou proměnných

$$F_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N f_l(i, j) A_k(i) B_l(j)}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N A_k(i) B_l(j)} \quad (1.14)$$

maticí $n \times m$, kde $n \ll N$ a $m \ll M$. Rekonstrukci obrazu provedeme pomocí inverzní F-transformace:

$$f_{nm}^F(i, j) = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m F_{kl} A_k(i) B_l(j) \quad (1.15)$$

Rozměry matice n , resp. m definují počet fuzzy rozkladů obrazové funkce ve směru u resp. v , a tak určují tloušťku nalezené hrany. Čím větší jsou tyto hodnoty, tím slabší budou nalezené hrany.

1.4 Obrazová fúze

1.4.1 Základní úvahy

Rozpoznávání objektů z jediného snímku je nespolehlivé, často dokonce nemožné. Proto je snaha používat pro analýzu scény více snímků současně.

Obrazová fúze využívá integrace všech dostupných informací o dané scéně (různé pohledy na scénu, různé zaostření vždy na jiný objekt) k vytvoření výsledného obrazu, který v určitém ohledu poskytuje lepší charakteristiku než každý ze samostatných vstupních obrazů.

1.4.2 Geometrické sesazení (registrace) obrazů

Existuje závažný principiální problém, který brání jednoduchému porovnání a fúzi různých snímků scény: v praxi bývají snímky pořízeny z různých míst a v různé době a liší se od sebe i spektrálním pásmem a kvalitou. [15]

Registrace obrazů je proces, jehož cílem je překrýt snímky přes sebe tak, aby si stejné objekty přesně odpovídaly. Nejdůležitějším krokem registrace je nalezení významných objektů v obraze. Podle velikosti, umístění a vzájemné vzdálenosti těchto objektů se následně určí vhodná transformace obrazu pro překrytí snímků.

1.4.3 Odstranění degradací

Pokud jsou obrazy geometricky sesazeny, můžeme přistoupit k potlačování či úplnému odstranění některých degradací obrazu. Jde zejména o rozmazání snímků (např. vlivem špatného zaostření fotoaparátu či jeho pohybu) a náhodný šum.

Je-li k dispozici několik různě rozmazaných snímků téhož objektu, je možné jejich fúzí s využitím tzv. vícekanálové slepé dekonvoluce získat velmi dobrý odhad originálu.

Předpokladem je, že každý pixel obrázku lze získat nezkreslený alespoň z jednoho zdroje. Při obrazové fúzi pak vycházíme z porovnání obrazů z jednotlivých zdrojů a identifikujeme ten, v němž je pixel (případně oblast) nezkreslený, a neporušené části spojíme do výsledného obrazu \hat{f} podle vztahu:

$$\hat{f}(x, y) = \sum_{i=1}^N A_i(x, y) C_i(x, y), \quad (1.16)$$

kde A_i je operátor, který vybere nedegradované části obrazu ze zdroje C_i . [7]

1.4.4 Zvýšení prostorového rozlišení

Často vzniknou situace, kdy je potřeba rozpoznat relativně malý objekt na snímku, který byl pořízen kamerou s malou rozlišovací schopností a není dodržen **vzorkovací teorém**, který říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší, než největší frekvence obsažená ve vzorkovaném signálu. V případě obrazu to znamená, že nejslabší hrana v obraze by měla mít šířku nejméně dva pixely. Při nedodržení vzorkovacího kritéria je pravděpodobné, že obraz bude zkreslen. V tomto případě je vhodné využít fúze více zkreslených obrazů jedné scény pro zvýšení prostorového rozlišení.

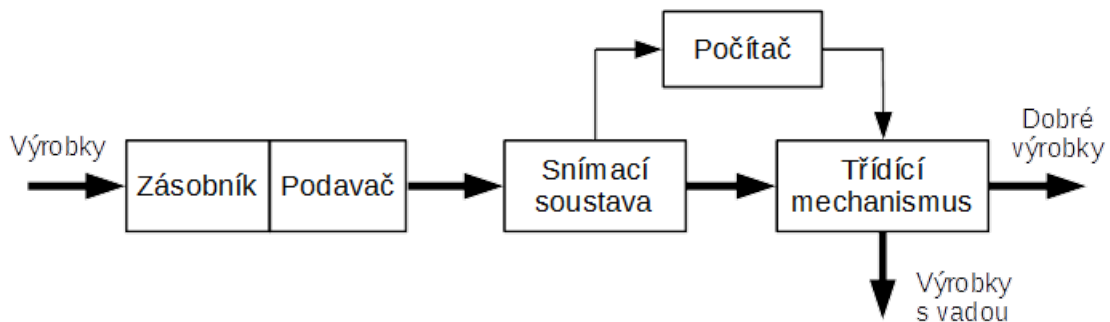
1.4.5 Fúze obrazů z různých typů senzorů

Velmi atraktivní směr představuje i tzv. multimodální fúze, tedy fúze snímků z výrazně různých zdrojů (pořízených různými typy senzorů). Tak bude možné kombinovat např. snímky v infračerveném a viditelném spektru nebo v medicíně data z magnetické rezonance a pozitronové emisní tomografie. Zde nejde o zvyšování kvality snímků, ale o to, rozpoznat a použít z každého snímku to důležité. [15]

2 Řešení

2.1 Princip stroje pro třídění kamenů

Nejprve je třeba navrhnout model zařízení, které bude hodnocení a třídění kamenů provádět. To se bude skládat ze zásobníku, podavače, dopravníku, snímací soustavy, počítače a třídícího mechanismu.



Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení pro hodnocení a třídění výrobků

2.1.1 Zásobník a podavač

Vyrobené šperkové a bižuterní kameny je třeba pod snímací soustavu dopravovat postupně a ve stejné zvolené poloze (např. položené na tabulku). Tuto funkci zastane velmi dobře např. kruhový vibrační podavač.

2.1.2 Snímací soustava

Protože jedním z požadavků je co nejrychlejší třídění výrobků, nepřipadá tak v úvahu snímat kameny v klidové poloze, ale je potřeba vytvořit snímky za pohybu. Snímání bude tedy probíhat přímo na nějakém dopravníku s opticky vhodným povrchem, který nebude způsobovat šum na snímku z kamery. Dopravníkem může být třeba pás nebo rotační disk.

Pro potřeby obrazové fúze je samozřejmě potřeba vytvořit více snímků jednoho kamene. Pořídíme např. čtyři snímky s různým nasvětlením. Bude vhodné použít pouze jednu kameru a snímat stále stejnou oblast, aby se nemuselo s kamerou pohybovat (v té rychlosti by to bylo velice složité). Musíme tedy snímat dostatečně velkou oblast a v dostatečně krátkém intervalu, aby byl právě jeden konkrétní kámen na všech čtyřech snímcích. Osvětlení bude spínáno elektronicky na základě informace z čidel (např. optické závory nebo kapacitní čidla). Potřebujeme buď čtyři čidla (pro každou pozici

kamene jedno) nebo jedno čidlo (na první pozici) a snímání a osvětlení bude spínáno v intervalu nastaveném na základě rychlosti dopravníku a velikosti snímané oblasti.

2.1.3 Počítač

Snímky z kamery je třeba vyhodnotit v počítači, ve kterém je nainstalován software NI LabView s modulem pro zpracování obrazu z kamery. Bude vhodné použít průmyslové PC splňující průmyslové standardy a vybavené pro komunikaci po průmyslových sběrnících (klasické USB není kvůli vysokým latencím vhodné pro real-time komunikaci).

2.1.4 Třídící mechanismus

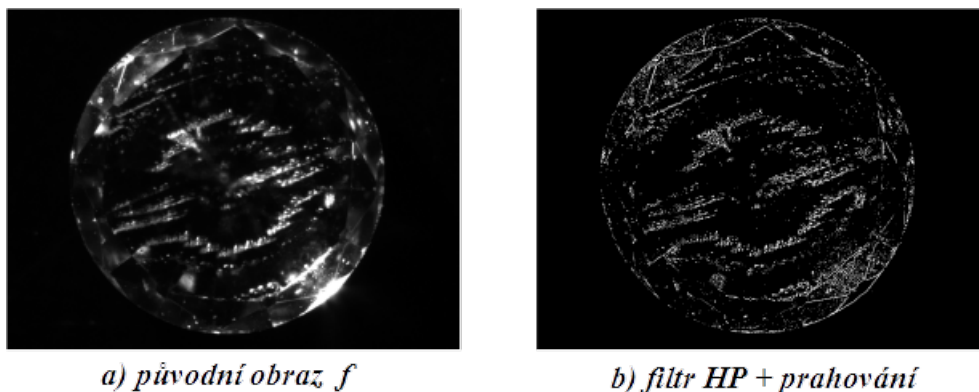
Na základě vyhodnocení snímků počítačem je třeba oddělit vadné kameny od těch dobrých. Funkci separátoru může zastávat třeba jednočinný pneumatický či elektromagnetický válec, který na základě informace z PC a čidla pozice výrobku odsune vadný výrobek pryč z dopravníku.

2.2 Využití klasických detektorů hran

Pro pozdější porovnání nejprve na obrazy bižuterních kamenů aplikuji dvě klasické metody zpracování obrazu, konkrétně jednoduchý hornopropustní filtr a Cannyho hranový detektor.

2.2.1 Filtr typu horní propust

Pro zvýraznění hran je použita lineární lokální filtrace pomocí konvoluce. Konvoluční maskou je Laplacián pro 8-okolí (viz matice (1.2) vlevo). Následně je použito prahování, kterým, pomocí jednoho parametru, vyberu pouze důležité změny v obraze (hrany). Výsledek lze vidět na Obr. 2.2.



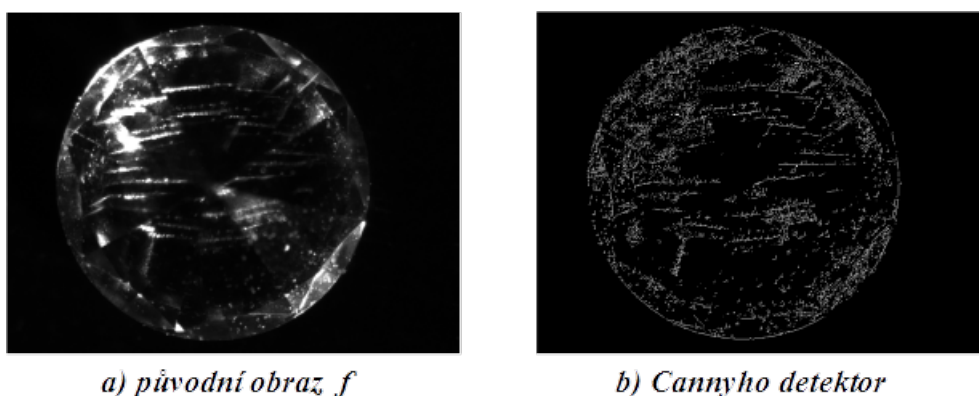
a) původní obraz f

b) filtr HP + prahování

Obr. 2.2: Detektor hran s využitím filtru horní propust

2.2.2 Cannyho detektor

Princip Cannyho detektoru je popsán v kapitole 1.2.4. Je považován za nejlepší klasický hranový detektor, a proto bude zajímavé sledovat, jak si poradí s obrazy bižuterních kamenů.



a) původní obraz f

b) Cannyho detektor

Obr. 2.3: Cannyho hranový detektor

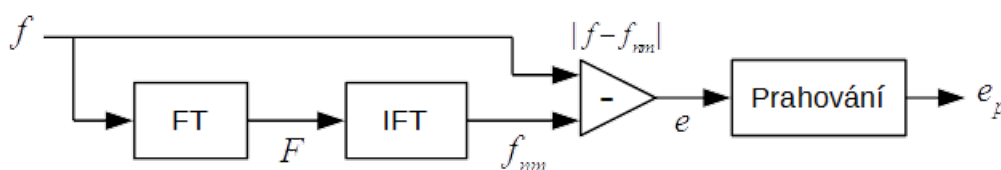
Z Obr. 2.3 lze usoudit, že Cannyho detektor nebude vhodný pro aplikaci na hledání vad bižuterních kamenů. Změny v obraze, odpovídající vadám kamene, zde nejsou zvýrazněny dostatečně v poměru ke změnám, které nerepresentují žádné vady.

2.3 Využití fuzzy transformace

Při návrhu těchto algoritmů jsem použil algoritmy pro výpočet přímé a inverzní diskrétní F-transformace, které jsou ve výpočetně efektivní formě navrženy a popsány v [7].

2.3.1 Detektor hran pomocí fuzzy transformace

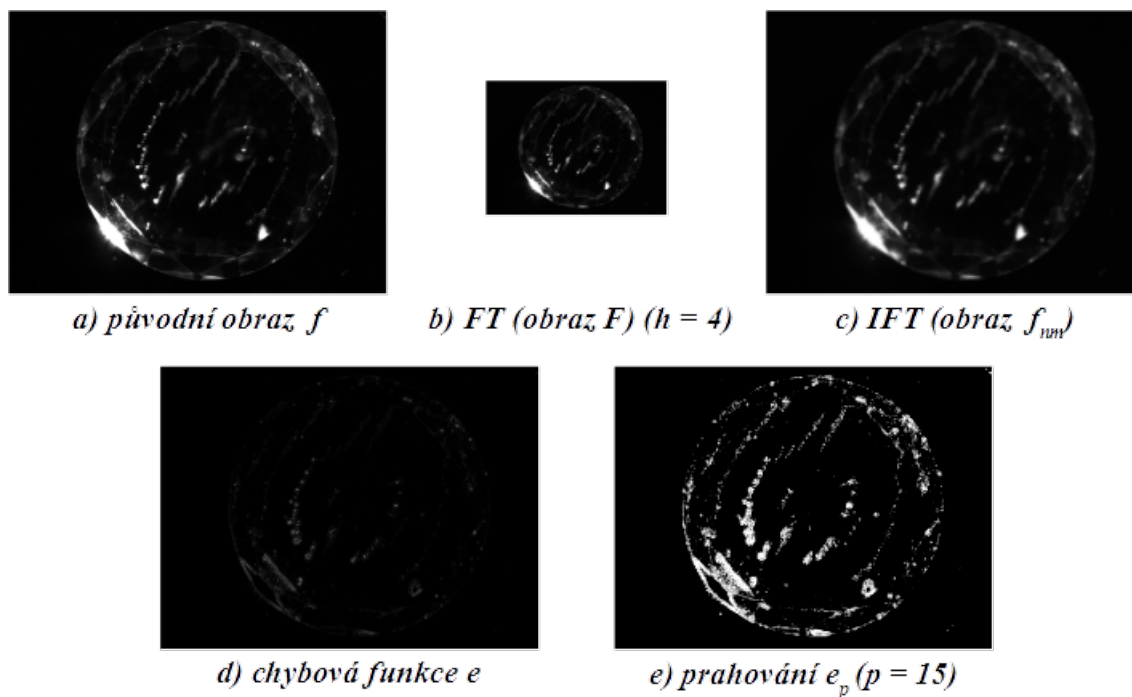
Blokové schéma algoritmu pro hledání hran s využitím fuzzy transformace, který je popsán v [7], vypadá následovně:



Obr. 2.4: Blokové schéma algoritmu pro detekci hran s využitím F-transformace

Nejprve je provedena přímá F-transformace vstupního obrazu. Vzniklý obraz F (Obr. 2.5b), popsáný pomocí fuzzy čísel, je v obou rozměrech tolikrát menší, jak velký je krok rozkladu. Poté je pomocí inverzní F-transformace převeden zpět do oblasti klasických množin (obraz f_{nm}). Při transformaci vznikla určitá ztráta obrazové informace, která je závislá na velikosti kroku fuzzy rozkladu. Rozdílem původního obrazu f (Obr. 2.5a) a přetransformovaného obrazu f_{nm} (Obr. 2.5c), pomocí funkce $e(x, y) = |f(x, y) - f_{nm}(x, y)|$, vyniknou místa obrazu s největší rychlostí změny jasu (hrany). Tato chybová funkce e (Obr. 2.5d) je nakonec upravena prahováním tak, aby zůstaly pouze důležité hrany (praskliny, škrábance), a vznikne výsledný obraz e_p (Obr. 2.5e).

Jak můžeme vidět na Obr. 2.5, tato metoda je velmi citlivá na odlesky kamene. To může být problém hlavně u kamenů bez estetických vad, které mohou být kvůli odleskům vyhodnoceny jako kameny „s vadou“. Samostatně je tedy tento algoritmus pro hodnocení vad bižuterních kamenů špatně použitelný, ale bude vhodný pro různé modifikace a použití v dalších metodách zpracování obrazu. Pro tyto účely a lepší přehlednost blokových schémat nazveme tento algoritmus zkráceně „EDFT“ (Edge Detect with Fuzzy Transform).

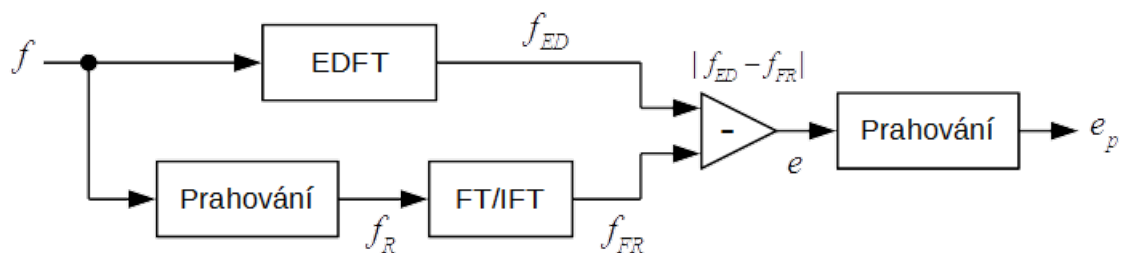


Obr. 2.5: Příklad aplikace algoritmu EDFT

Pro F-transformaci budu používat krok rozkladu $h = 4$, který dává subjektivně nejlepší výsledky z hlediska poměru přesnosti k výpočetní náročnosti.

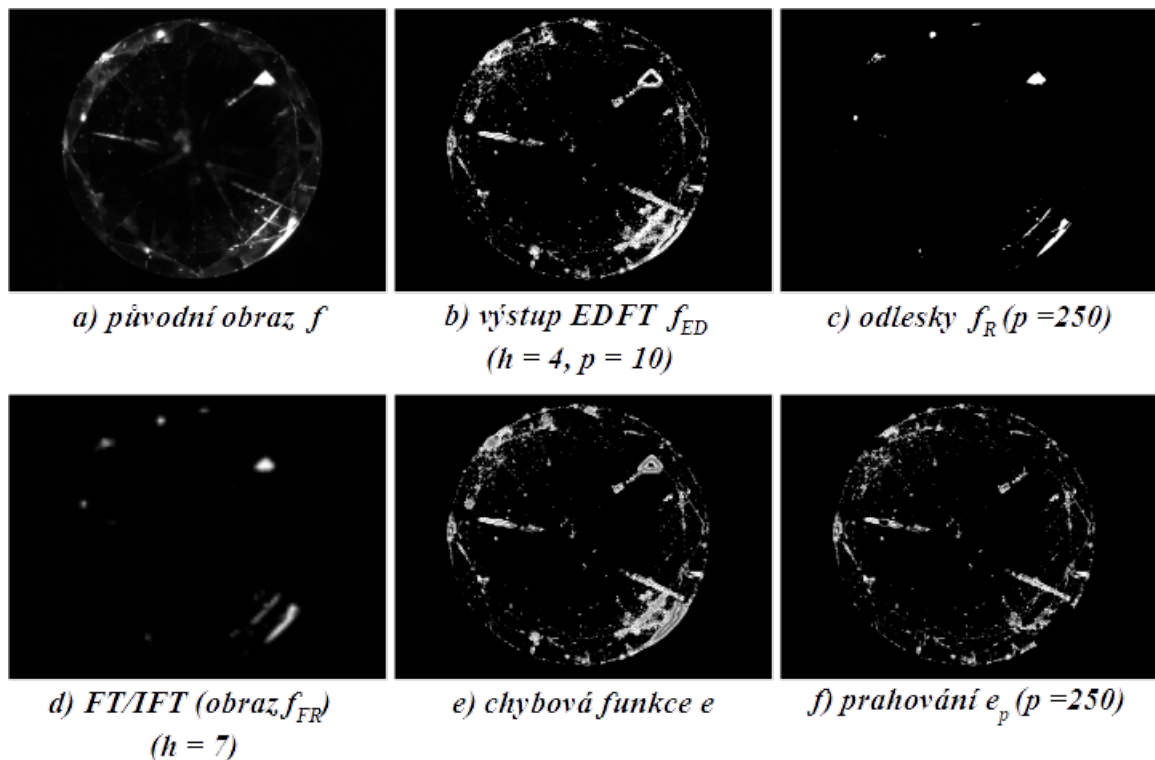
2.3.2 Rozšíření metody o eliminaci odlesků

Původní algoritmus jsem rozšířil o eliminaci odlesků kamene.



Obr. 2.6: Blokové schéma algoritmu s eliminací odlesků

Nejprve jsou z originálního obrazu f (Obr. 2.6a) pomocí prahování vybrány pixely $f(x, y) > 250$, které můžu označit jako součásti odlesků (Obr. 2.6c). Pomocí přímé a zpětné F-transformace s větším krokem rozkladu jsou odlesky „rozmazány“ (Obr. 2.6d) a poté odečteny od výsledku původní metody EDFT. Konečným prahováním obrazu zvolím, jak velká oblast odlesků má být odstraněna.

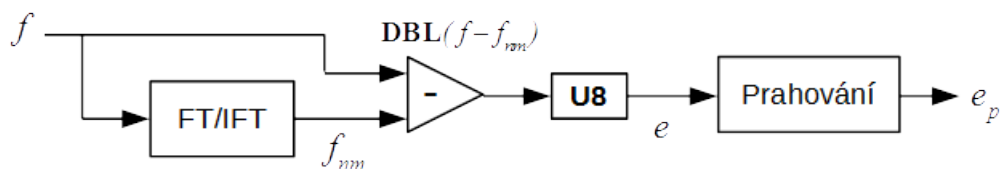


Obr. 2.7: Příklad použití algoritmu s eliminací odlesků

Nevýhodou je ztráta veškeré informace o obrazu v místě odlesku a tedy pokud je odlesk způsoben odrazem od vady kamene, algoritmus jej jako vadu nevyhodnotí. Spolu s trochu vyšší výpočetní náročností je to důvodem, proč je tato metoda sice zajímavá, ale pro průmyslové nasazení ne moc vhodná.

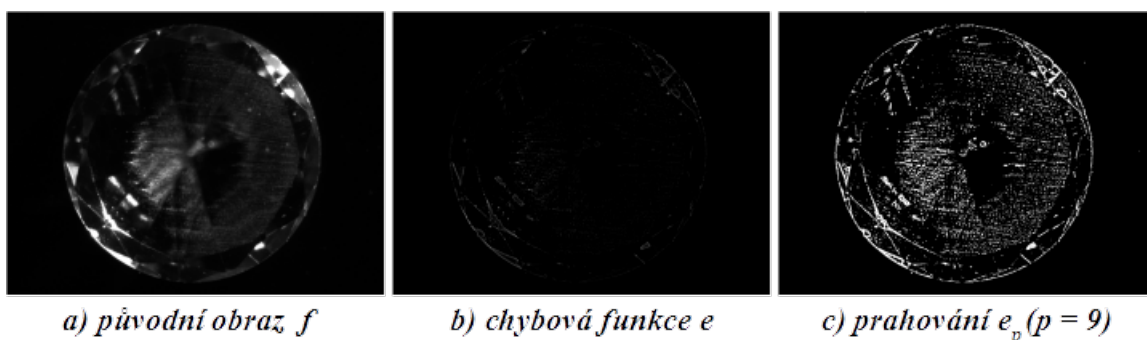
2.3.3 EDFT s alternativní chybovou funkcí

Tato variace původní metody využívá jinou techniku porovnání původního obrazu s obrazem po přímé a zpětné F-transformaci. Namísto funkce absolutní hodnoty rozdílu je použit rozdíl bez absolutní hodnoty $e(x, y) = f(x, y) - f_{nm}(x, y)$, což by ale při použití bezznaménkového osmibitového datového typu znamenalo podtečení rozsahu. Proto jsou hodnoty nejprve převedeny do datového typu REAL (DBL) a po výpočtu je výsledek převeden zpět do osmibitového celočíselného datového typu (U8).



Obr. 2.8: Blokové schéma EDFT s alternativní porovnávání metodou

Tato, na první pohled nepatrná, změna ve způsobu výpočtu rozdílu dává ve výsledku docela odlišné vlastnosti výsledné chybové funkce.



Obr. 2.9: Příklad aplikace alternativní porovnávací funkce

Výhodou i nevýhodou je velká citlivost na malé změny. Výborně vyniknou slabé škrábance atd. a méně vyniknou odlesky, ale zároveň hodně vyniknou nečistoty v obraze (např. prach).

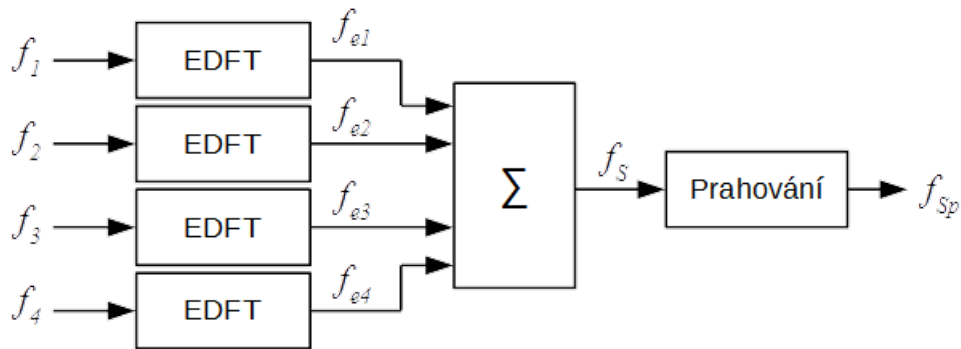
2.4 Aplikace obrazové fúze

Problém odlesků by měla vyřešit fúze více vstupních obrazů jednoho kamene s různým nasvícením. Je však samozřejmě potřeba, aby byly stejné části kamene na všech snímcích na stejných souřadnicích. To lze provést registrací (sesazením) všech vstupních obrazů nebo musí být snímky pořízeny při stejné vzájemné pozici a natočení snímače a kamene. V této práci se registrací obrazů nebudu zabývat a pro potřeby předvedení algoritmů budu využívat čtveřice stacionárních snímků jednoho kamene s různým nasvícením.

2.4.1 Fúze transformovaných obrazů

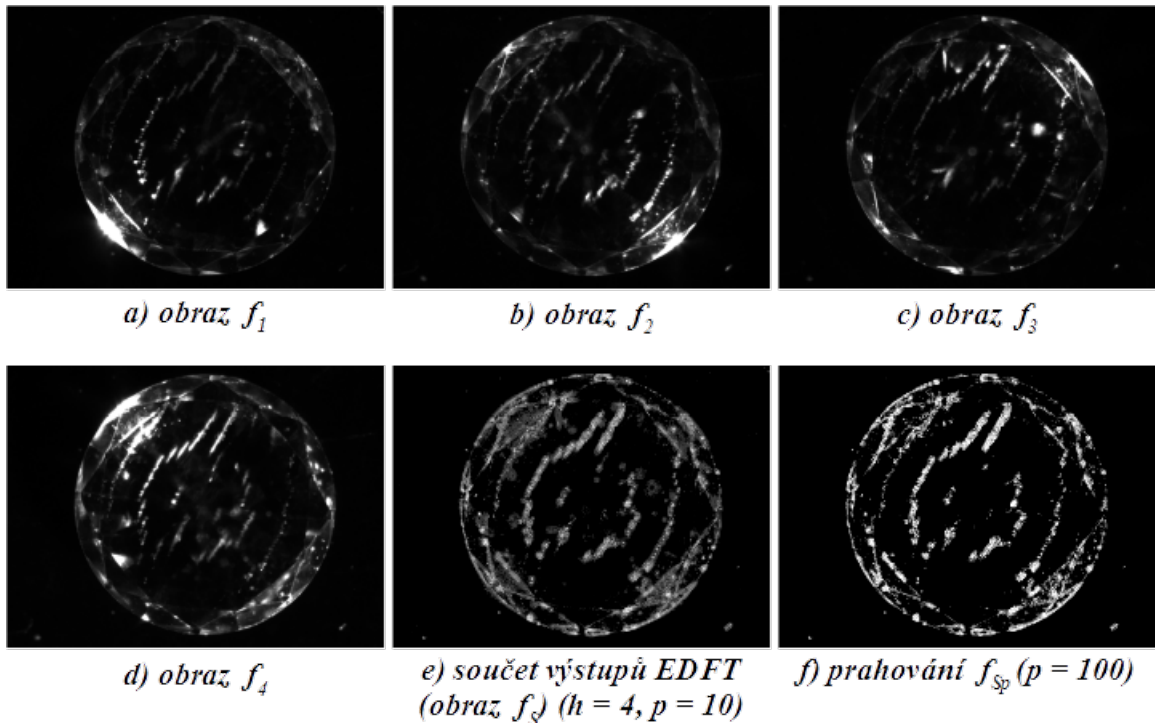
Tato metoda využívá algoritmus EDFT, ale může být použit libovolný algoritmus pro detekci hran. Ten se aplikuje na všechny vstupní obrazy, přičemž výstupy EDFT bloků

budou obrazy s jasovou hodnotou pixelů obrazu nikoliv 255, ale hodnotou T , která je alespoň tolikrát menší než 255, kolik je vstupních obrazů ($T \leq 255 \div 4$).



Obr. 2.10: Blokové schéma fúze výstupních obrazových funkcí EDFT

Algoritmus sečte výstupní obrazy EDFT bloků podle vzorce $f_S(x, y) = f_{e1}(x, y) + f_{e2}(x, y) + f_{e3}(x, y) + f_{e4}(x, y)$ a následně pomocí prahování vybere jen ty pixely, které mají hodnotu alespoň dvojnásobek hodnoty T . Zjednodušeně řečeno, překryje tyto obrazy přes sebe a místa, kde se budou překrývat alespoň dva obrazy ze čtyř, použije pro výsledný obraz.

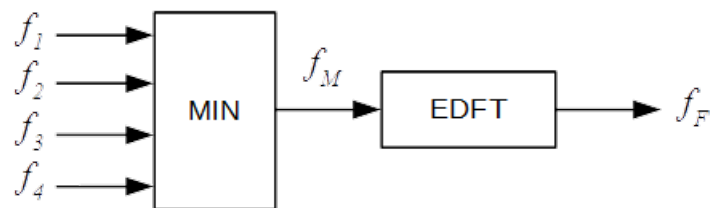


Obr. 2.11: Příklad aplikace fúze výstupních funkcí algoritmu EDFT

Nevýhodou tohoto algoritmu je jeho velká časová náročnost, neboť se pro každý vstupní obraz zvlášť provádí přímá a zpětná F-transformace.

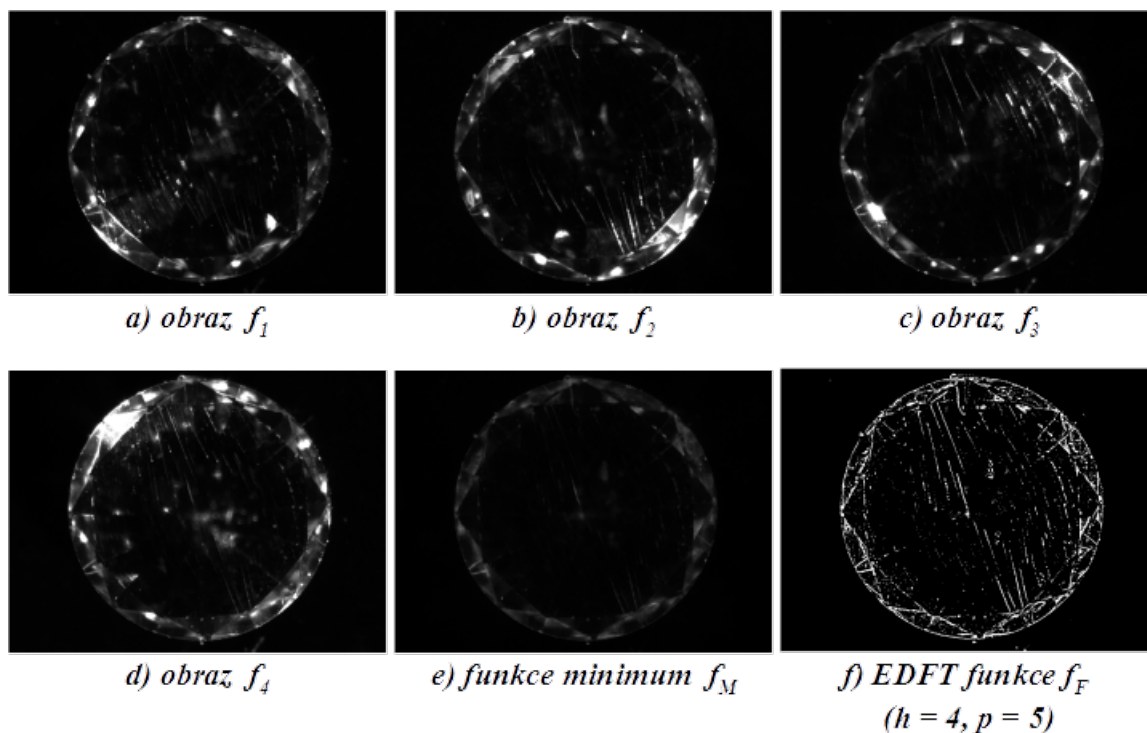
2.4.2 Fúze obrazů s výběrem nejtmašího bodu

Nejjednodušší fúzovací algoritmus využívá porovnání vstupních obrazů nějakou jednoduchou logickou funkcí. Zde vycházím z předpokladu, že odlesk kamene se při různém nasvícení projeví na různých místech a tedy, že jedno místo kamene je zkresleno odleskem vždy pouze na jednom obrazu (někdy na dvou) ze čtyř. Při použití (pro výsledný obraz) nejtmašího pixelu ze všech vstupních obrazových funkcí máme tedy téměř stoprocentní pravděpodobnost úplného odstranění odlesků.



Obr. 2.12: Blokové schéma algoritmu s využitím fúze vstupních obrazů pomocí funkce minimum

Algoritmus tedy porovná všechny čtyři originální obrazy a pro fúzovaný obraz f_M použije vždy ten pixel, který má nejnižší jasovou hodnotou podle funkce $f_M(x, y) = \min(f_1(x, y), f_2(x, y), f_3(x, y), f_4(x, y))$. Na výsledný obraz můžeme potom aplikovat některý z hranových detektorů.

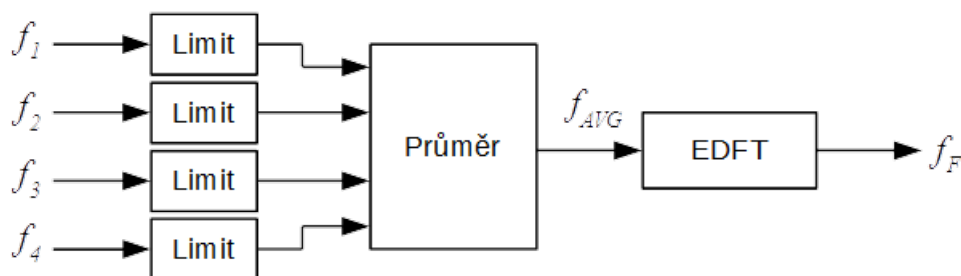


Obr. 2.13: Příklad aplikace fúze s použitím funkce minimum

Tato metoda fúze obrazů dokonale řeší problém odlesků kamene a díky použití jednoduché logické funkce je také velmi výpočetně nenáročná. Problém může vzniknout, pokud má na některém z obrazů část vady tak malou jasovou hodnotu (vlivem úhlu natočení ke zdroji světla), že téměř splývá s okolím. Pak je algoritmus velmi citlivý na nastavení správné hodnoty prahování. Často k tomu však nedochází často.

2.4.3 Fúze obrazů s výpočtem průměru

Další algoritmus fúze obrazů je založen na vypočítání průměrné jasové hodnoty pixelů, a její použití pro výsledný obraz.



Obr. 2.14: Blokové schéma algoritmu s využitím fúze vstupních obrazů pomocí funkce průměru

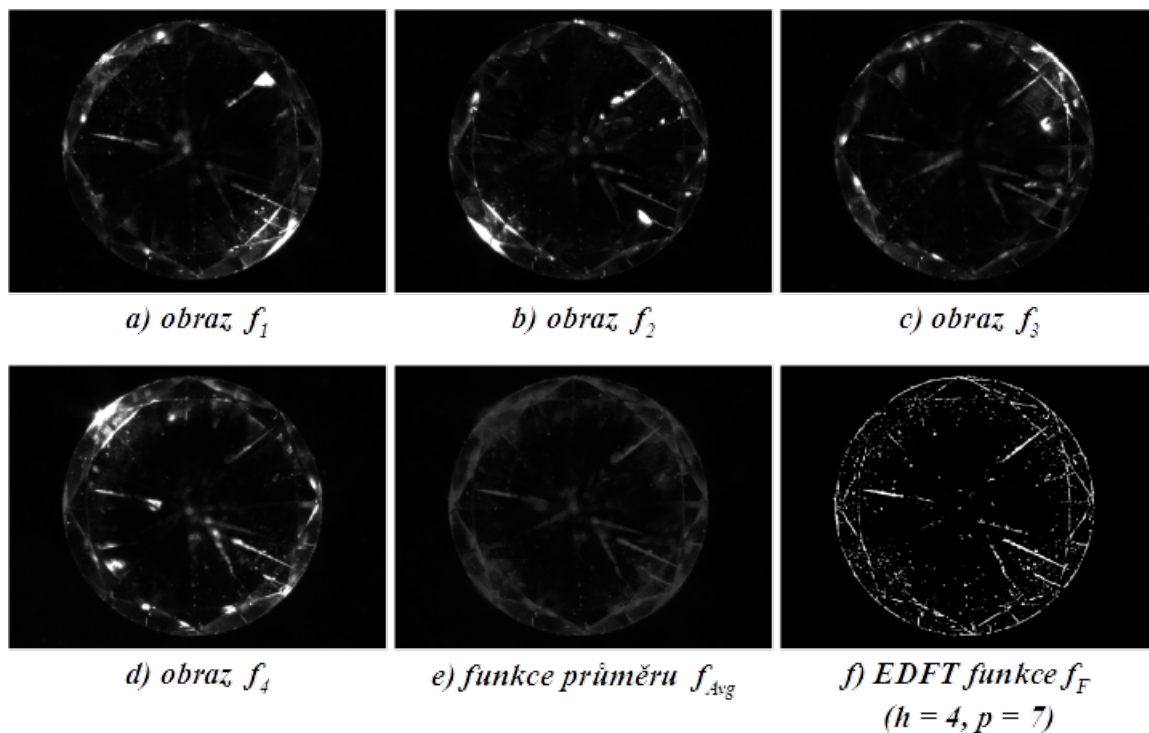
Hodnota jasu pro pixel fúzovaného obrazu se vypočte podle funkce aritmetického průměru

$$f_{Avg}(x, y) = \frac{\sum_i^N f_i(x, y)}{N}. \quad (2.1)$$

Zde však nastává problém v tom, že jasová hodnota odlesků je na horní hranici (255) rozsahu použitého osmibitového datového typu, zatímco ostatní pixely kamene mají jasovou hodnotu max. 50. To způsobuje, při výpočtu průměru ze čtyř obrazů, velké zvýšení průměrné jasové hodnoty v místech odlesků. Tomu jsem zabránil tak, že jsem nastavil limit L jasové hodnoty originálních obrazů podle funkce

$$f_n(x, y) = \begin{cases} f_n(x, y), & \text{pokud } f_n(x, y) < L \\ L, & \text{pokud } f_n(x, y) \geq L' \end{cases} \quad (2.2)$$

který sníží propast mezi hodnotami jasu míst s odlesky a bez odlesků. Tím nebudou mít odlesky takový vliv na výpočet průměrné hodnoty. Na výsledný fúzovaný obraz je poté opět potřeba aplikovat hranový detektor.



Obr. 2.15: Příklad aplikace fúze s použitím funkce průměru

Namísto aritmetického průměru lze využít např. medián.

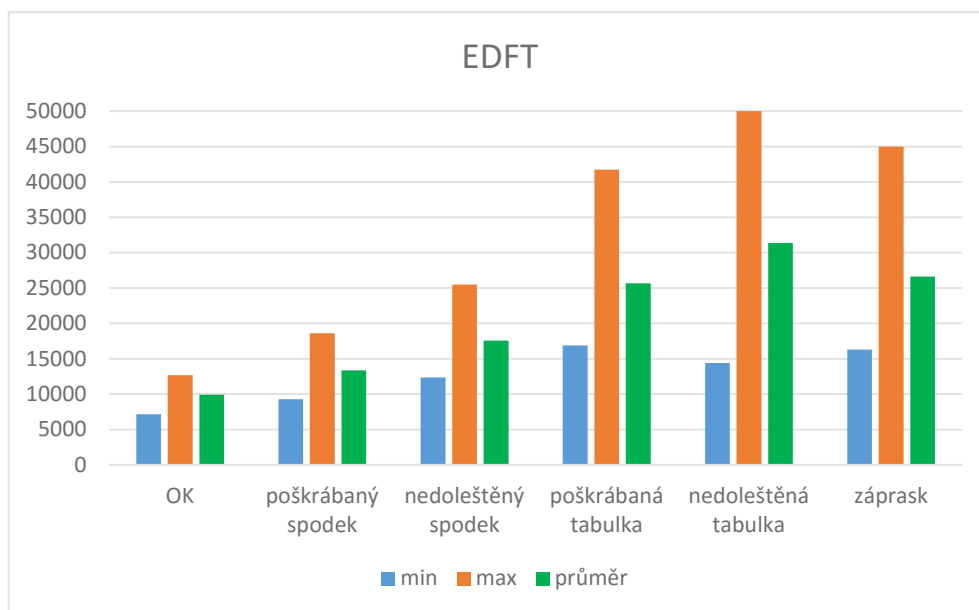
2.5 Zhodnocení účinnosti a časové náročnosti

V této kapitole budou shrnuty výsledky navržených algoritmů a jejich použitelnost v reálné aplikaci na hodnocení vad bižuterních kamenů. Pro vyhodnocení jsem vytvořil funkci pro spočítání všech „bílých“ (s jasovou hodnotou 255) pixelů v obraze, což se projevilo jako velmi jednoduchá a spolehlivá metoda.

2.5.1 Odlišení dobrých a vadných kamenů

Protože cílem této práce není vytvořit co nejpřesnější a nejspolehlivější algoritmus, ale navrhnout způsob využití metod F-transformace a obrazové fúze, naměřil jsem pouze orientační výsledky pro malý počet obrazů. Sada testovacích snímků, zahrnuje čtveřici obrazů pro jeden kámen. Pro každý typ vady jsem vybral dva kameny a celkem je tedy osm obrazů pro jeden typ vady.

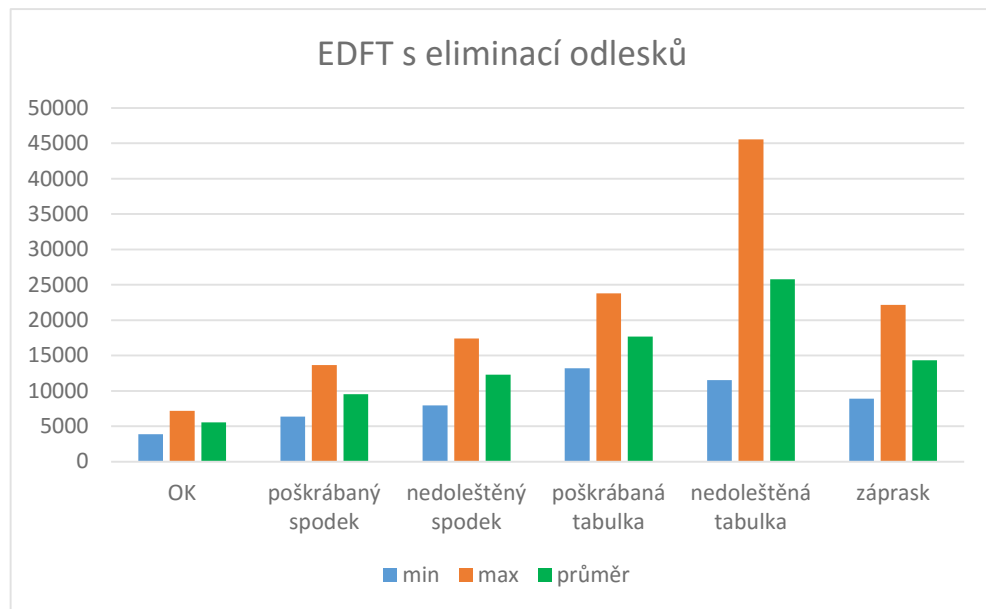
Z výsledků jsem vybral minimální a maximální počet „bílých“ pixelů (osa y) a celkový průměr.



Graf 2.1: Porovnání výsledků metody EDFT pro různé typy vad

Na grafu 2.1 vidíme výsledky algoritmu „EDFT“ pro jednotlivé typy vad, kdy na svislé ose je počet „bílých“ pixelů obrazu. Nejsnáze odhalitelná vada je nedoleštěná tabulka. Nejhorše odhalitelná je poškrábaný spodek a u této vady jsem záměrně zvolil kameny s méně výraznými škrábanci, abych zjistil, jestli je algoritmus odlišný od dobrých kamenů.

Můžeme vidět, že rozsahy počtu světlých pixelů dobrých kamenů a kamenů s poškrábaným spodkem se mohou lehce překrývat. To není překvapivé, vzhledem k tomu, jak velkou roli zde hrají odlesky. Na dalším grafu jsou tedy výsledky algoritmu s eliminací odlesků.

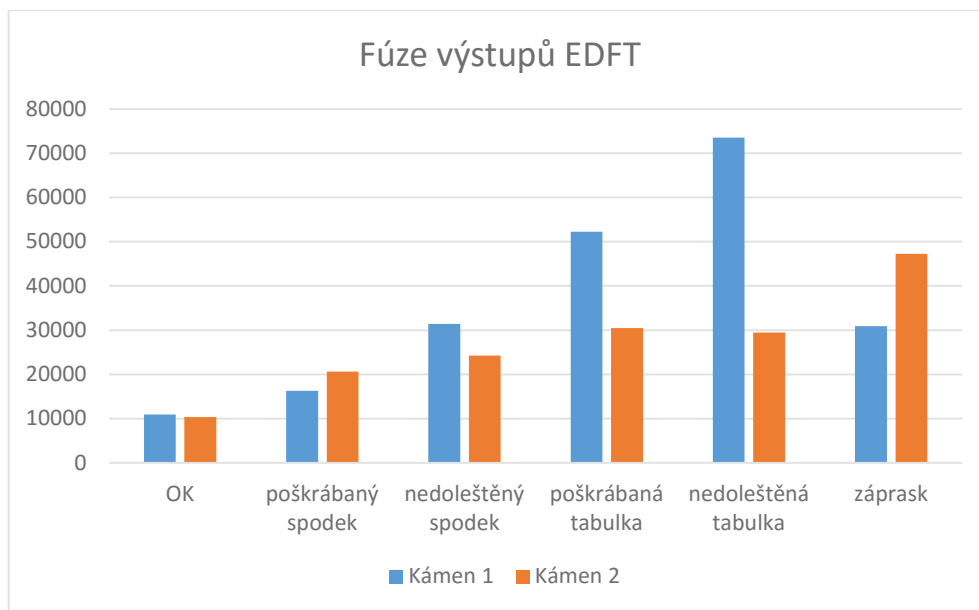


Graf 2.2: Porovnání výsledků EDFT s eliminací odlesků pro různé typy vad

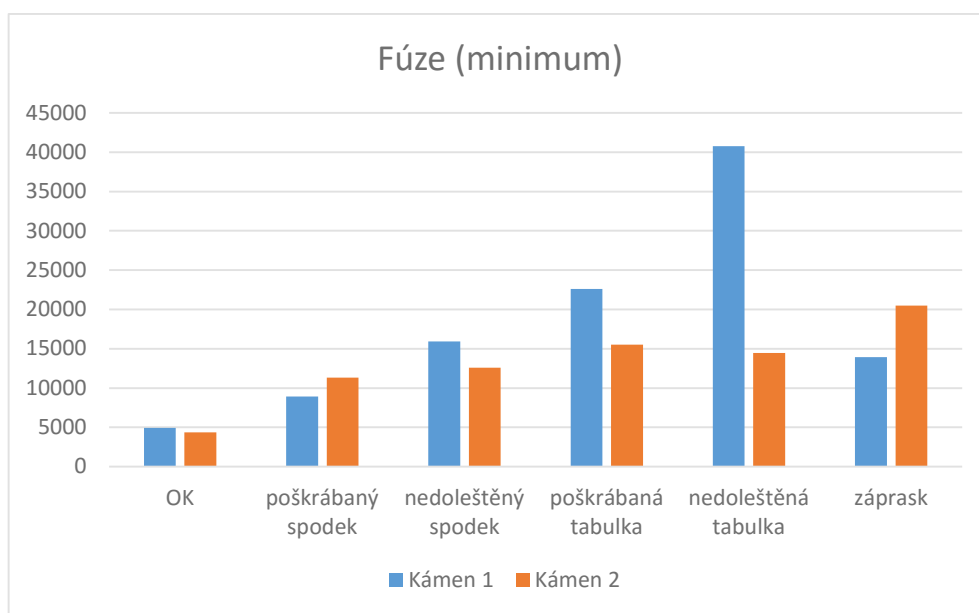
Zde můžeme vidět, průměrný počet bílých pixelů na obrazech kamenů s poškrábaným spodkem je už skoro dvakrát vyšší, než u dobrých kamenů. Přesto se však stále mohou jejich oblasti výsledků překrývat.

Výsledky algoritmu EDFT s alternativní chybovou funkcí jsou podobné jako u původního EDFT algoritmu.

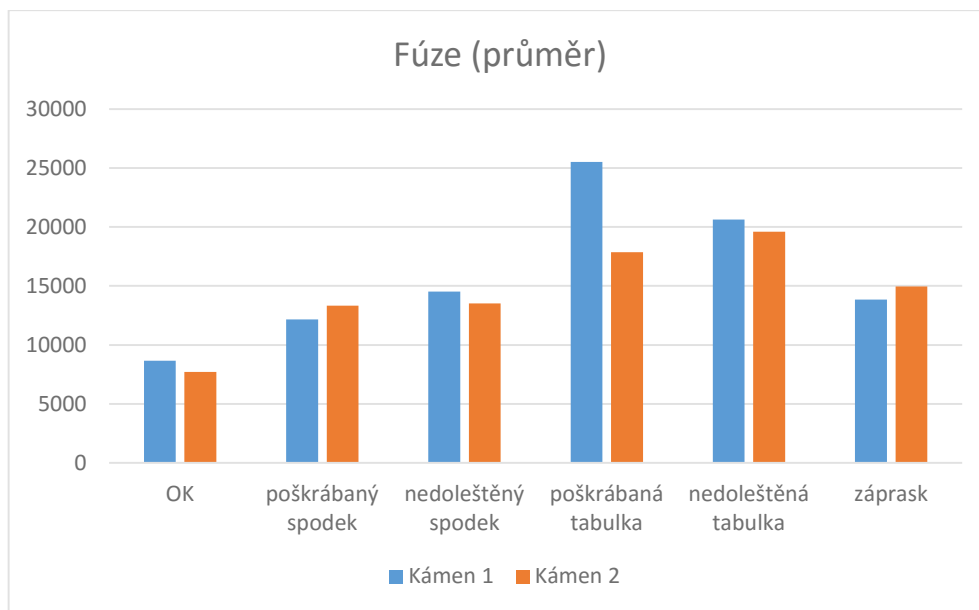
Dále se podíváme na výsledky algoritmů, využívajících obrazové fúze. Výsledné počty „bílých“ pixelů jsou uvedeny zvlášť pro každý fúzovaný obraz, složený ze čtveřice obrazů jednoho kamene.



Graf 2.3: Porovnání výsledků obrazové fúze výstupů EDFT pro různé typy vad



Graf 2.4: Porovnání výsledků obrazové fúze s funkcí minimum pro různé typy vad

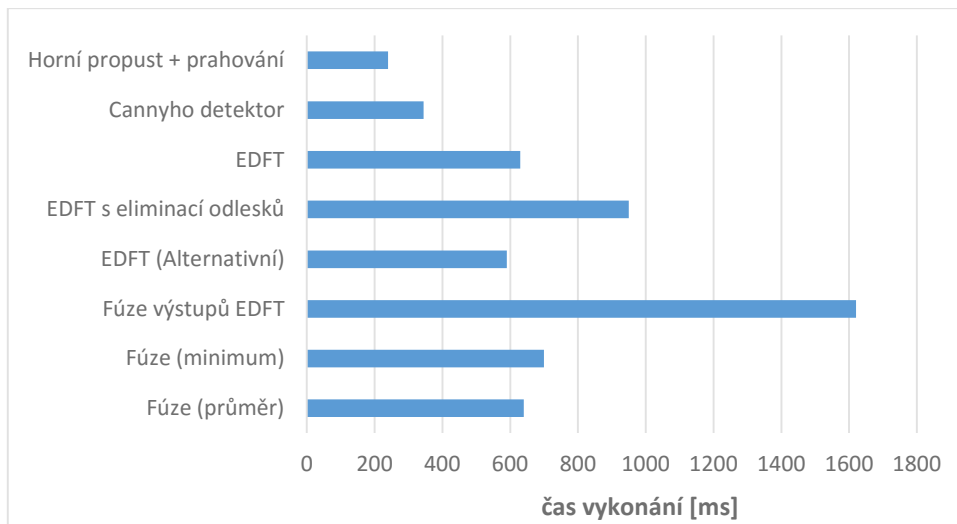


Graf 2.5: Porovnání výsledků obrazové fúze s funkcí průměru pro různé typy vad

Pomocí fúze obrazů lze již dobré kameny dobře odlišit od špatných. Větší rozdíl ve výsledcích mezi fúzí s využitím minima a fúzí s využitím průměru je dán jiným nastavením prahové hodnoty. Navzdory očekávání podává lepší výsledky funkce minimum, což ale může být pouze vlivem nastavení parametrů.

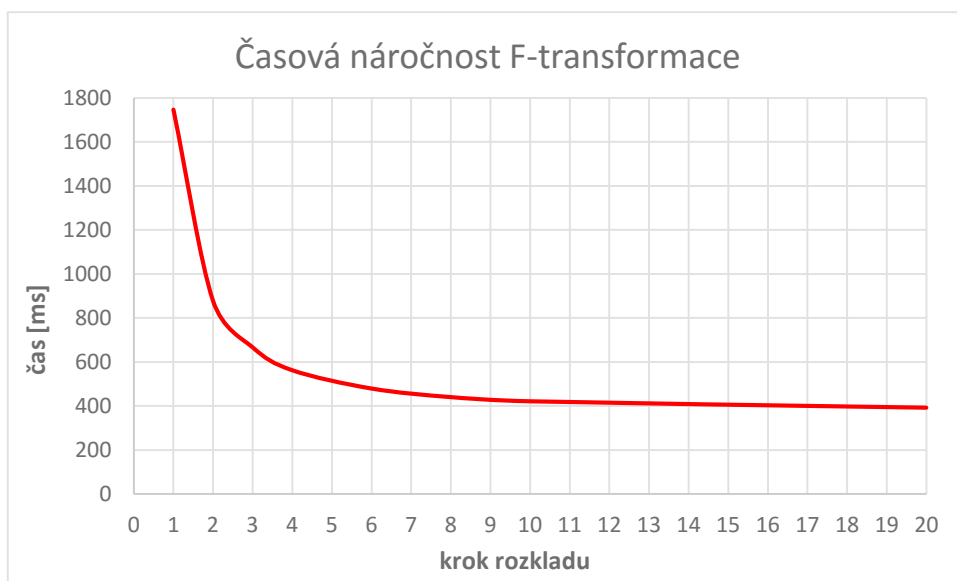
2.5.2 Časová náročnost

Dobu zpracování algoritmů jsem měřil v LabView použitím struktury sekvenčního zpracování *Flat Sequence* a vypočtením rozdílu času na začátku a na konci algoritmu pomocí funkce *Tick Count*. Na počítači s procesorem *Intel® Core™ i5 – 3210M (2,5 GHz)* a 6 GB operační paměti jsem pro obraz velikosti 800 × 600 pixelů naměřil tyto hodnoty doby zpracování celých algoritmů:



Graf 2.6: Porovnání časové náročnosti jednotlivých algoritmů

Z grafu 2.5 vyplívá, že časově nejnáročnější složka algoritmů je jednoznačně fuzzy transformace. Doba zpracování výpočtu přímé a zpětné F-transformace je závislá na kroku rozkladu. Tato závislost je vykreslena následujícím grafem.



Graf 2.7: Závislost časové náročnosti fuzzy transformace na kroku rozkladu

Pro navržené algoritmy jsem používal velikost kroku fuzzy rozkladu $h = 4$. Z předchozího grafu můžeme odečíst dobu zpracování přímé a zpětné F-transformace pro tuto velikost kroku, což je asi 580 ms.

3 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout modelové algoritmy pro zpracování obrazu, s využitím fuzzy transformace a obrazové fúze a jejich aplikace na hodnocení bižuterních kamenů. Cíle se mi podařilo splnit a výstupem je šest modelových algoritmů v prostředí NI LabView, z nichž tři využívají pouze fuzzy transformaci a tři také obrazovou fúzi. Všechny algoritmy jsou založeny na detekci hran v obraze.

Fuzzy transformace se dnes pro detekci hran v obraze příliš nepoužívá, ale pro aplikaci na hodnocení bižuterních kamenů dává zajímavé výsledky. Citlivost na odlesky však zůstává na vysoké úrovni. Jeden z algoritmů řeší eliminaci odlesků, ale musíme počítat se ztrátou informace v jejich místě. Nevýhodou může být také časová náročnost, která je oproti jiným použitelným metodám zhruba dvojnásobná. To je dáno trochu složitějším výpočtem a nutností provést i zpětnou transformaci.

Fúze obrazů je pro hodnocení bižuterních kamenů velmi vhodná, hlavně kvůli odstranění nejvíce nežádoucích artefaktů na pořízených snímcích, tedy odlesků od kamene. Navrhl jsem tři metody obrazové fúze, které dávají velmi dobré výsledky. V této práci jsem se nevěnoval problému registrace (sesazení) jednotlivých obrazů a použil jsem snímky již sesazené, resp. pořízené stacionárně. V průmyslu je však vhodné snímat kameny za pohybu a návrhy algoritmů a transformací pro registraci obrazů mohou tedy být vhodným tématem další vědecké práce v této oblasti.

Za hlavní přínos své práce považuji návrh a diskuzi možného použití fuzzy transformace a porovnání s klasickými metodami, filtrem typu horní propust a Cannyho detektorem, což může být přínosné při volbě metody pro zpracování obrazu. Pro mě byla tato bakalářská práce přínosem především z hlediska získání znalostí z oboru zpracování obrazu a teorie fuzzy množin, a to hlavně proto, že jsem předtím neabsolvoval žádné předměty s tímto zaměřením.

Literatura

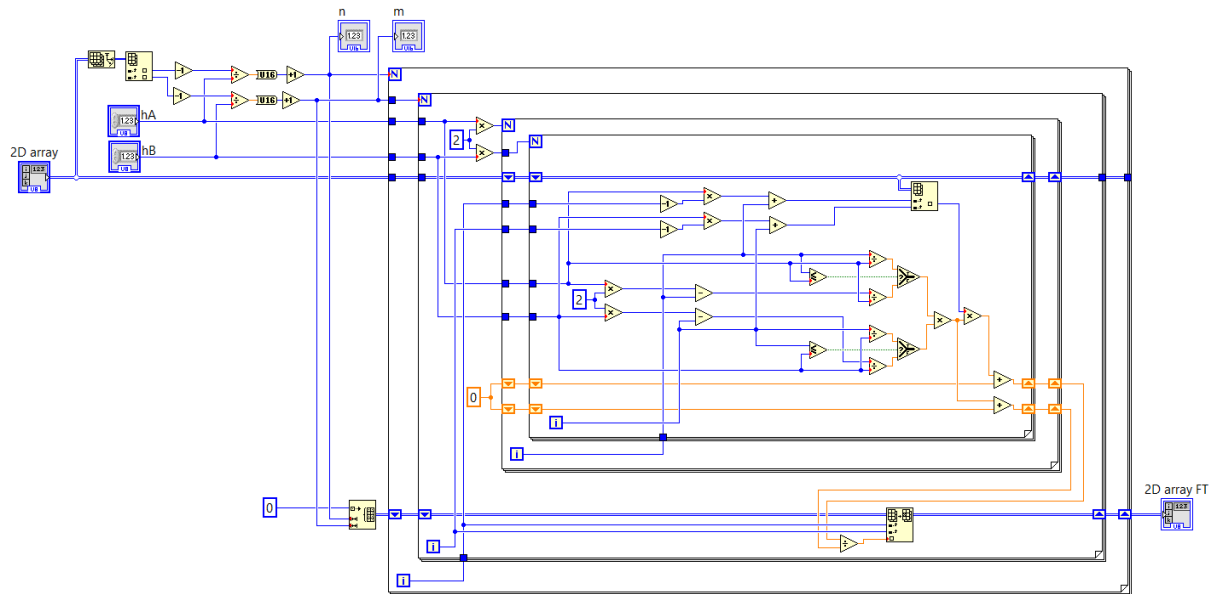
- [1] Navara, M., Olšák, P.: *Základy fuzzy množin*, přednášky FEL ČVUT Praha 2002
- [2] Novák, V.: *Základy fuzzy modelování*, BEN Praha 2000, ISBN 978-80-7300-009-9
- [3] Pavliska, V.: *Technika fuzzy modelování v algoritmickém a programovém zpracování*, doktorská disertační práce, Ostravská univerzita Ostrava 2009
- [4] Perfilieva, I.: *Fuzzy Transforms*, Research report No. 58, University of Ostrava, IRAFM Ostrava 2004
- [5] Šroubek, F., Zitová, B.: *Image fusion: A Powerful Tool For Object Identification*, In: Byrnes, J. (ed.): *Imaging for Detection and Identification*, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Imaging for Detection and Identification, Springer 2007, s. 107-127, ISBN 978-1-4020-5618-5
- [6] Vlach, J., Kolář, M.: *Fuzzy Logic Methods and Image Fusion in a Digital Image Processing*, In: AEEE, *Digital Image Processing And Computer Graphics*, Volume 10, Number 1, 2012, March, s. 35 – 41, ISSN 1804-3119
- [7] Vlach, J.: *Metody zpracování obrazu pro časově náročné úlohy*, Autoreferát disertační práce, 2012
- [8] Hlaváč, V., Sedláček, M.: *Zpracování signálů a obrazu*, skripta FEL ČVUT, Praha 2007; ISBN 978-80-01-03110-0
- [9] Španěl, M. – Beran, V.: *Obrazové segmentační techniky*, skriptum VUT Brno 2005, [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/>
- [10] Hájovský, R., Pustková, R., Kutálek, F.: *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice*, Ediční středisko VŠB – TUO, 2012, ISBN 978-80-248-2596-0
- [11] Jura, P.: *Fuzzy logika v modelování a řízení dynamických systémů*, VUTIUM, Brno, 2005
- [12] Modrlák, O.: *Fuzzy řízení a regulace*, Studijní materiály k předmětu Teorie automatického řízení II, TUL, 2002
- [13] Daňková, M., Hodáková, P., Perfiljeva, I., Vajgl, M.: *Edge Detection Using F-transform*, Research report No. 157, University of Ostrava, IRAFM Ostrava 2011, Dostupné z: http://irafm.osu.cz/research_report/163_rep157.pdf;
- [14] Vajgl M., Perfilieva I., Hurtík P., Hoďáková P.: *Aplikace obrazové fúze pro hledání vad*, prezentace, Ústav pro výzkum a aplikaci fuzzy modelování Ostrava, 2013
- [15] Flusser J.: *Současné metody rozpoznávání obrazů*, článek z časopisu AUTOMA [10/2007] [online] [vid. 2016-03-16], ÚTIA AV ČR

A Obsah přiloženého CD

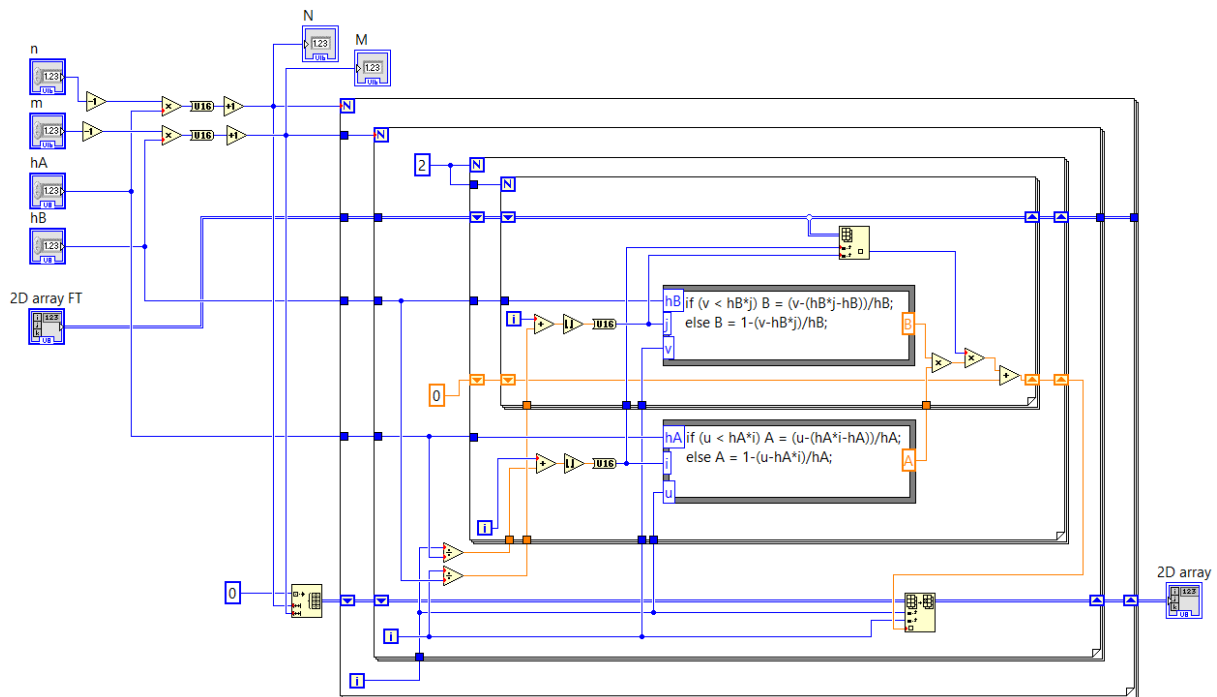
Přiložené CD obsahuje tyto složky a soubory:

- text bakalářské práce
 - BP_Kutík_Jakub_2016.pdf
- obrázky
 - použité fotografie bižuterních kamenů
 - bloková schémata
 - blokové diagramy v LabView
- zdrojové kódy pro LabView

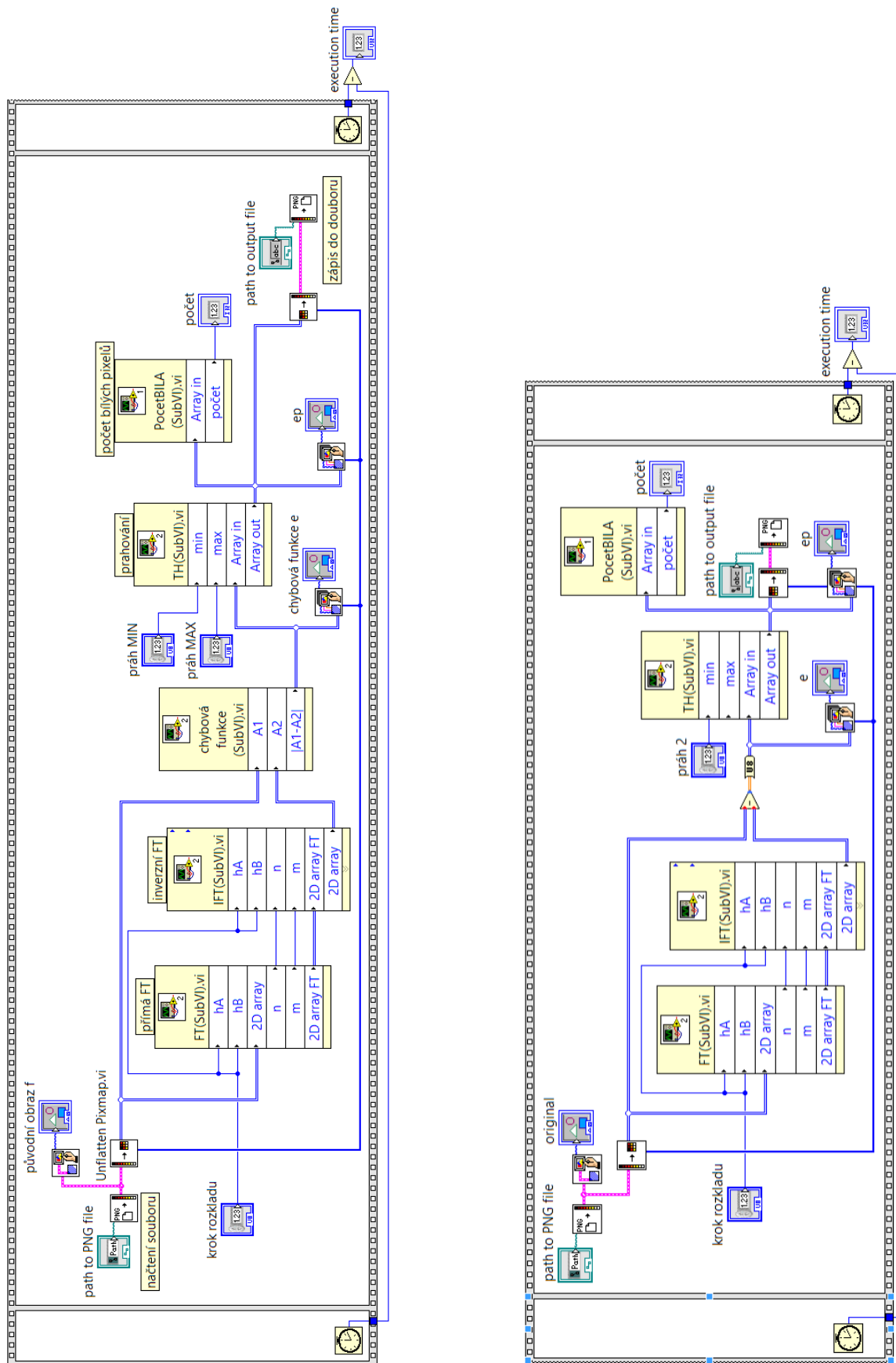
B Algoritmy v LabView



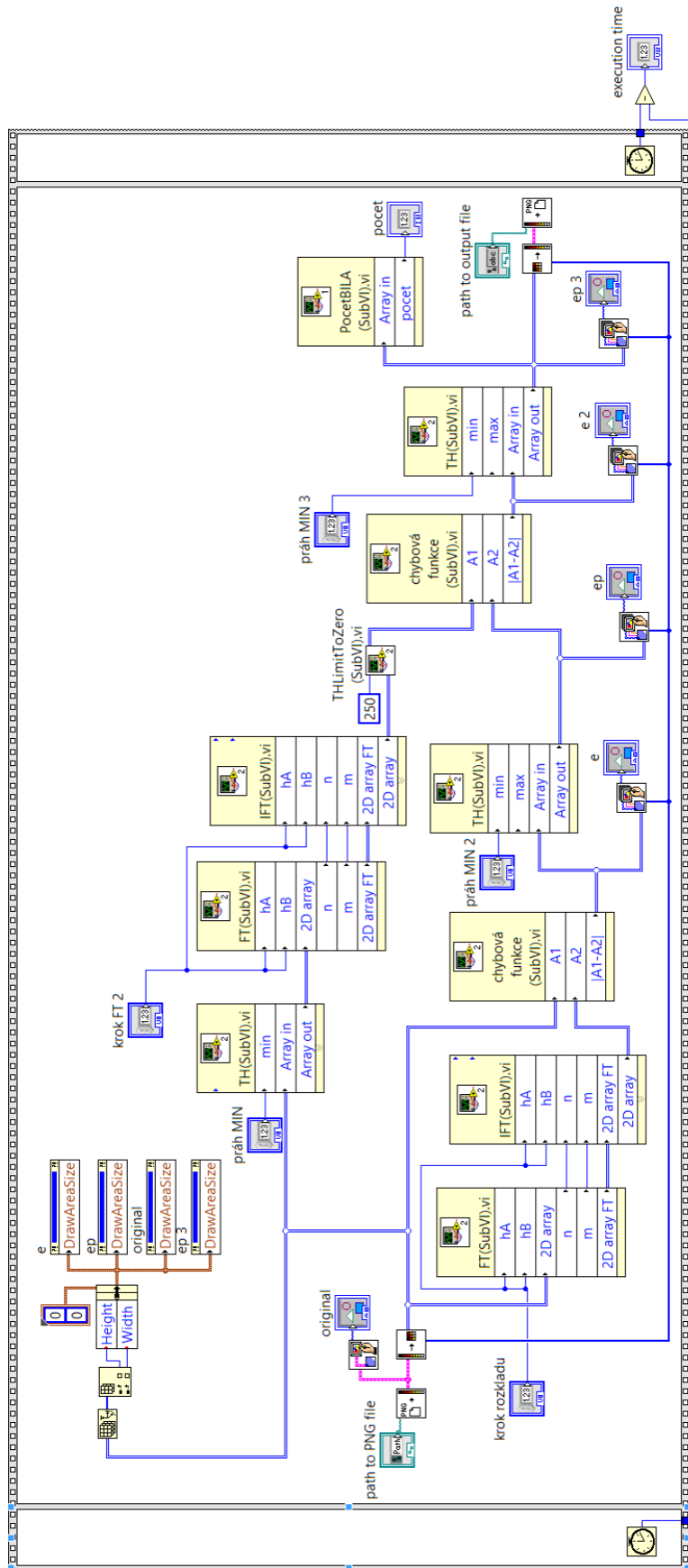
Obr. B.1: Algoritmus pro výpočet přímé fuzzy transformace



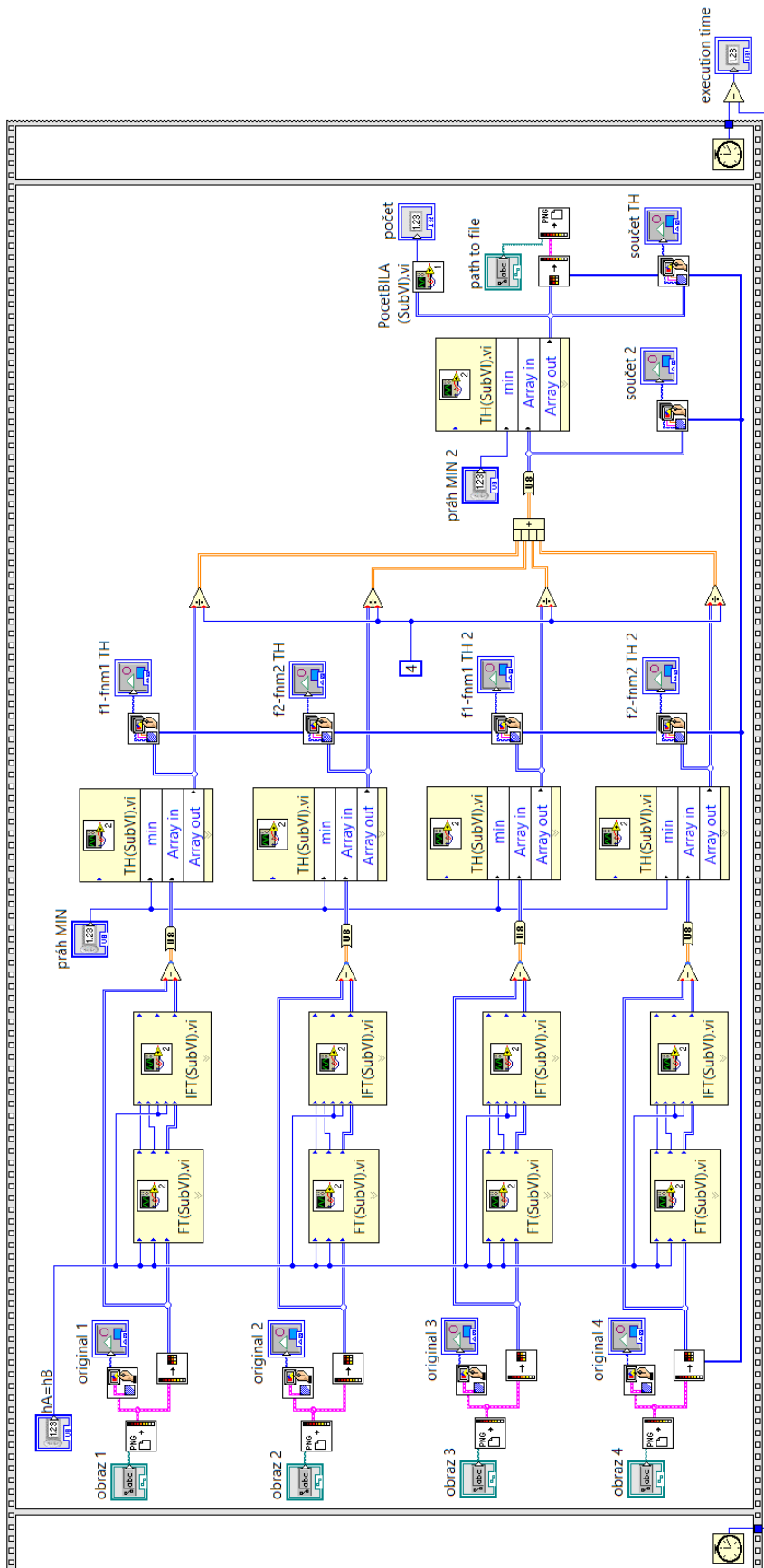
Obr. B.2: Algoritmus pro výpočet zpětné fuzzy transformace



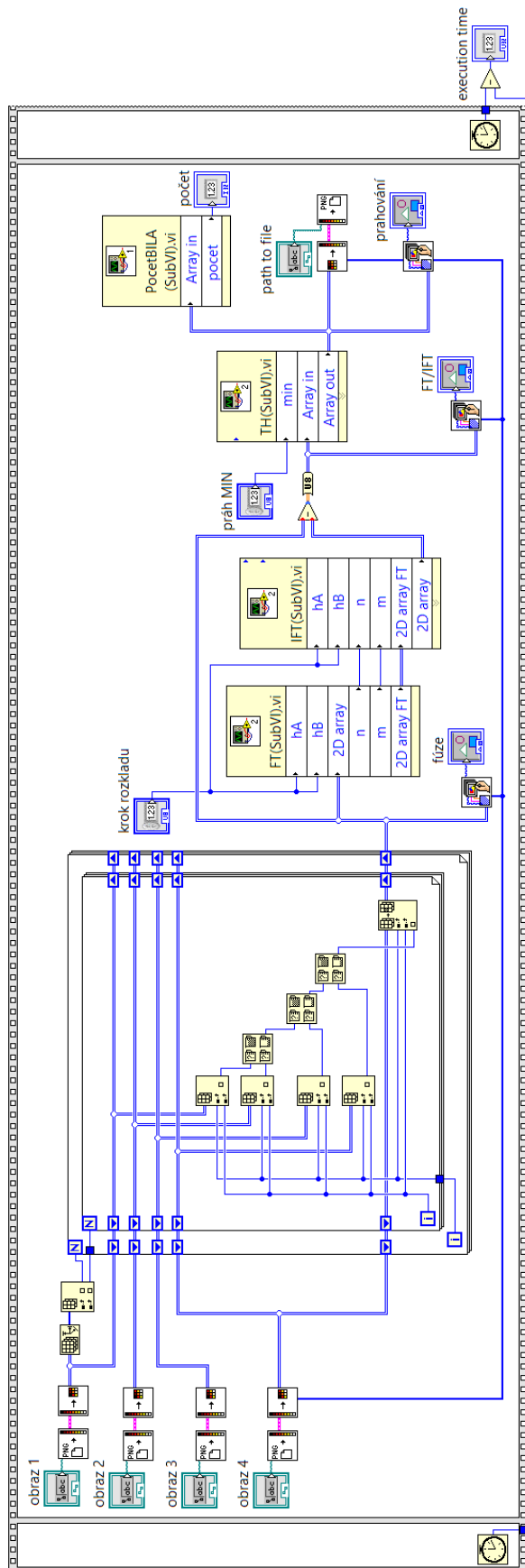
Obr. B.3: Blokové diagramy algoritmu EDFT (vlevo – chybová funkce s absolutní hodnotou, vpravo – chybová funkce s využitím převodu do DBL)



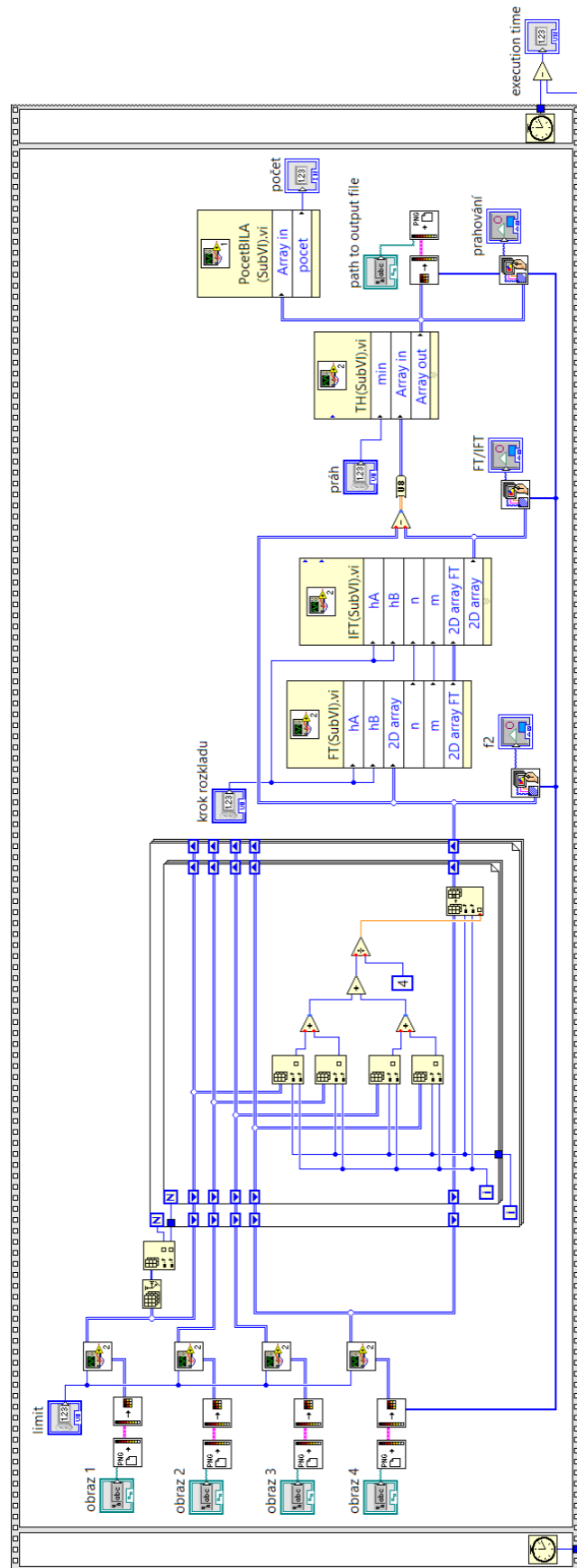
Obr. B.4: Blokový diagram algoritmu EDFT s eliminací odlesků



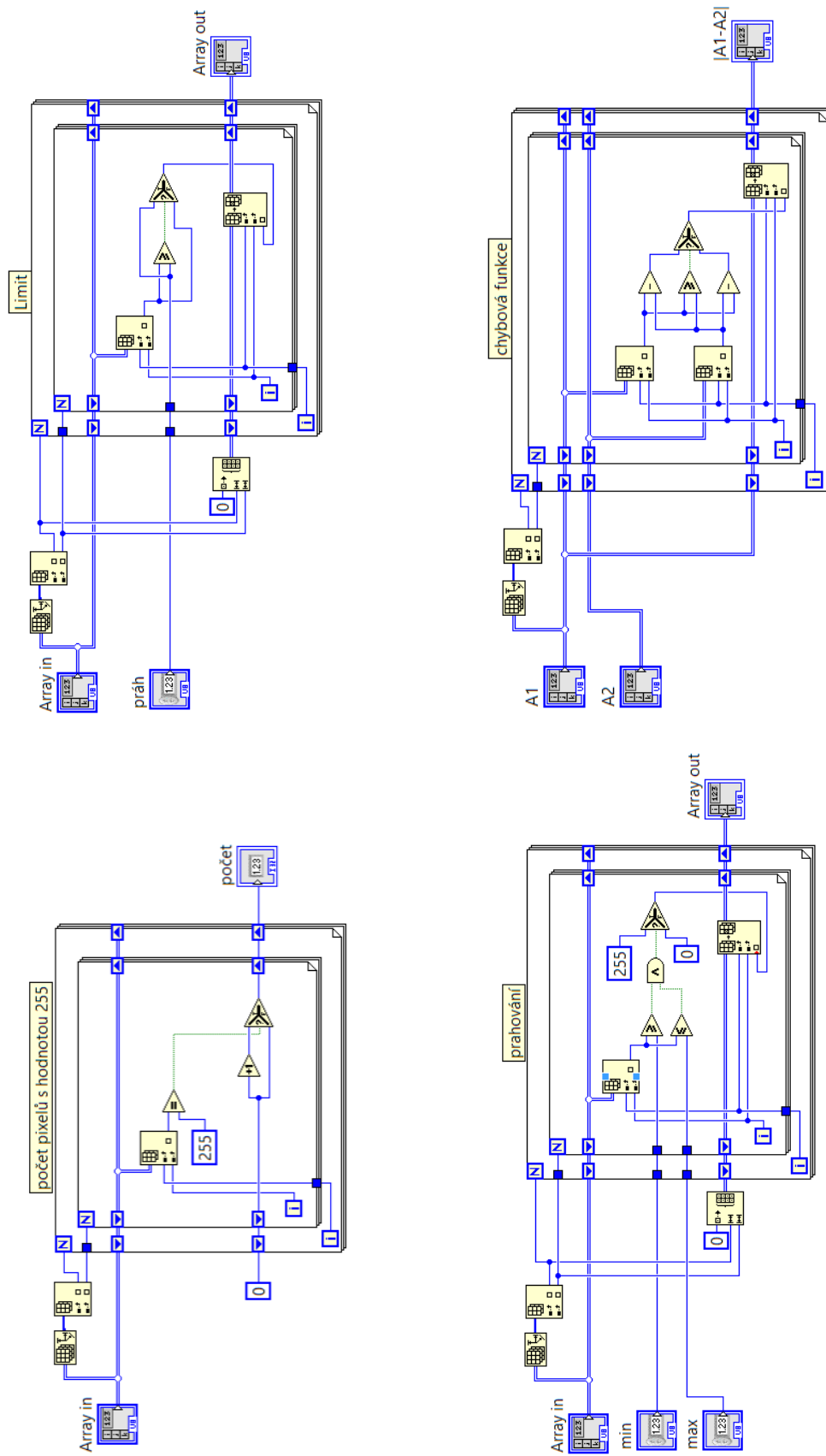
Obr. B.5: Blokový diagram obrazové fúze výstupů EDFT



Obr. B.6: Blokový diagram obrazové fúze s využitím funkce minimum



Obr. B.7: Blokový diagram obrazové fúze s využitím funkce průměru



Obr. B.8: Blokové algoritmy použitých funkcí