

ALGORITMY PRO DETEKCI ROHŮ A MĚŘENÍ PODOBNOSTI APLIKOVANÉ NA PROBLEMATIKU SUPERRESOLUTION

Petr Hurtík¹

¹ *katedra matematiky, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě. petr.hurtik@osu.cz*

Abstrakt

Článek představuje vlastní zjednodušený algoritmus pro detekci rohových oblastí v obrazu. V druhé části je představen algoritmus pro měření podobnosti dvou obrazových funkcí. Aplikaci zmíněných dvou algoritmů lze řešit zjednodušený případ registrace obrazu za účelem zvýšení kvality a rozlišení.

Klíčová slova: *detekce rohů; podobnost obrazu; registrace obrazu; superresolution*

Úvod

Obraz, potažmo obrazová funkce je neideální zobrazení skutečného (fotografovaného) světa. Při vytváření obrazové funkce f dochází k diskretizační chybě při převodu spojitého světelného vlnění dopadajícího na čip fotoaparátu na diskrétní funkci dvou proměnných – souřadnic x a y z dané oblasti dané svojí šířkou W a výškou H , kdy $x \in \{1, \dots, W\}$ a $y \in \{1, \dots, H\}$. Zároveň je nedokonale zachycena intenzita světla při jejím kvantování, tedy $f : f(x, y) \rightarrow \{0, 2^n - 1\}$, kde n je použitá bitová hloubka. K těmto základním, v klasickém fotografování neodstranitelným chybám mohou být přidány další poškození obrazové funkce závislé na zařízení: šum, neostrost, ztráta detailů.

Výše popsané chyby je možno částečně potlačit použitím lepšího hardwaru, nebo softwarovým přístupem, kdy je aplikována sada algoritmů za účelem aproximování ideální obrazové funkce.

Cílem tohoto článku je vytvoření algoritmu pro zvýšení kvality a rozlišení obrazu. Navržený algoritmus bude aplikován především na video, tedy kontinuální sekvenci obrazů s maximálním definovaným posunem. Algoritmus se skládá z kroků: nalezení významných oblastí v obrazech; vzájemné spárování významných oblastí; určení posunů obrazů a jejich spojení.

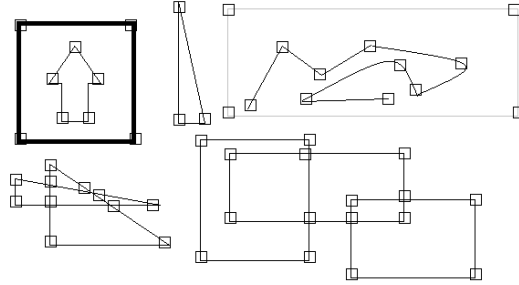
Detekce rohů

Nejzákladnější registrace obrazu je založena na hrubé síle viz [3], kdy jsou obrazy porovnávány s vzájemnými posuny p_x pro x osou a p_y pro y osu a vyhodnocováno chybové kritérium k . Minimální k pak určuje posun obrazů použitý pro registraci. Nevýhodou tohoto přístupu je vysoká výpočetní náročnost, neboť k je vypočítávána pro všechny kombinace $p_x \in \{-W, \dots, W\}$ a $p_y \in \{-H, \dots, H\}$. Tento přístup je popsán v [3] a je patrné, že při omezení definičního oboru posunů vede v případě sekvence statických snímků k přijatelnému řešení.

Proces lze optimalizovat nalezením důležitých oblastí obrazů a provedením výpočtu posunu pouze pro ně. Tento přístup je standardně využíván v registraci obrazů viz [4]. V navrhovaném přístupu je důležitá oblast definována rohem, tedy místem, kde dochází k průniku několika dílčích hran, nebo zlomu jediné hrany. Hrana může být vypočtena z vektoru gradientu, tedy změny intenzity obrazové funkce, vyjádřitelného parciálními derivacemi ve směrech x a y . Pro vyjádření síly gradientu nezávisle na směru jeho normály využijeme vztah (2) z [1] jehož výhody proti standardním operátorům nad gradienty jsou vysvětleny v dřívější práci

[1]. Dle [1] také určíme směr N normály gradientu, kdy $N \subseteq U$, $U = \{0, 45, 90, 135\}$. Roh je poté reprezentován oblastí A s množinou jejich normálových úhlů N_U takovou, že $\#N_U \geq 3$ a každý prvek U je v N_U zastoupen maximálně jedním výskytem.

Navržený algoritmus detekce rohů vyniká svojí rychlostí (byla implementována aplikace označení rohů ve videu v reálném čase) a modifikovatelností, kdy je možno měnit velikost oblasti A v závislosti na velikosti obrazu.



Obrázek 1. Demonstrace detekce rohů na primitivách.

Podobnost obrazů

V registraci obrazu je měření podobnosti částí obrazů použita v kroku párování významných oblastí. Podobnost obrazů vyjadřuje, jak moc jsou si obrazové funkce vzájemně podobné. Při zpracování obrazu jsou pro určení podobnosti často použity techniky, jako MSE, nebo SSIM. MSE je založeno na euklidovské vzdálenosti, SSIM pak MSE rozšiřuje o informace o struktuře obrazu. Je žádoucí, aby funkce měření podobnosti uměla pracovat s následujícími funkcemi:

- Rotace obrazové funkce $r(f)$,
- změna definičního oboru obrazové funkce $t(f)$

a splňovala následující podmínky:

- $s(f_1, f_1) = 1$,
- $s(f_1, f_2) = s(f_2, f_1)$,
- $s(f_1, f_2) \cdot s(f_2, f_3) \leq s(f_1, f_3)$,
- $s(f_1, t(f_1)) > 0$,
- $s(f_1, r(f_1)) > 0$.

Z důvodu nesplnění podmínek pro standardní metriky byl navržen vlastní algoritmus založený na technice fuzzy transformace [2]. Myšlenka spočívá v hierarchickém výpočtu komponent přímé F-transformace. Nejnižší úroveň komponent $F^{(1)}[f]$ je vypočtena z původní obrazové funkce f , tedy $F^{(1)}[f] = F[f] = (F_{11}, \dots, F_{nm})$. Následující úrovně komponent je možno definovat rekurentním vztahem

$$F^{(l)}[f] = F[F^{(l-1)}] = (F_{11}^{(l-1)}, \dots, F_{n^{(l-1)}m^{(l-1)}}^{(l-1)}).$$

Nejvyšší úroveň se skládá z jediné komponenty F^{fin} . Podobnost s dvou obrazových funkcí f, g je definována jako

$$s(f, g) = \left(1 - \frac{1}{255} |F^{fin} - G^{fin}|\right) \left(1 - \frac{1}{255nm} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m |F_{jk}^{(1)} - G_{jk}^{(1)}|\right),$$

kde F^{fin}, G^{fin} jsou nejvyšší úrovně komponent přímé F-transformace f a g a $F_{jk}^{(1)}, G_{jk}^{(1)}$ jsou nejnižší úrovně.

Takto navržený způsob měření podobnosti splňuje podmínky (1)-(5), tedy včetně určení podobnosti pro dvě různě velké oblasti. Použití této míry umožňuje srovnávat rohové oblasti v obrazech, které jsou vůči sobě vzájemně pootočené.

Registrace obrazů

Cílem registrace obrazů je určit vzájemný posun obrazových funkcí a provést posun tak, aby obrazové funkce tvořili průnik pro své hodnoty.

Aplikací algoritmu detekci rohů získáme množinu částečných obrazových funkcí kolem každého rohu C pro funkci f a množinu D pro funkci g . $\#C = c$ a $\#D = d$. Protože se může jednat o dva různé obrazy, nebo o obrazy se vzájemnou částí jiným posunem, ve většině případů $c \neq d$.

Registrační algoritmus vytvoří množinu $E = \{\forall p \in \{1, \dots, c\} | q \in \{1, \dots, d\} \max(s(C_p, D_q))\}$.

Z množiny E je vybráno o (hodnota o není deterministicky určena) reprezentativních dvojic C_p a D_q a posun je určen jako medián posunů reprezentativní dvojice. Tento přístup vyniká svojí rychlostí, má ale omezení na snímky, kde nedochází k parciálním změnám – pohybu v pohybujičím se obrazu, nebo velkému perspektivnímu zkreslení.

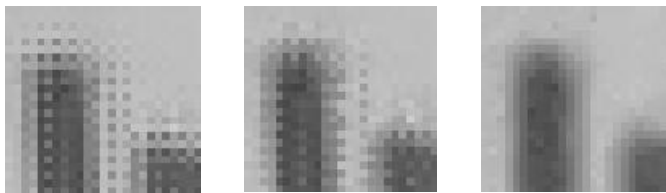
Permutace obrazů

Po registraci obrazu dochází k vytvoření nové obrazové funkce z více existujících. Tato funkce může být vytvořena buď aritmetickou operací (průměrováním) existujících funkcí pro např. Odstranění šumu, nebo skládáním funkcí tak, aby v nové obrazové funkci byly všechny hodnoty původních funkcí. V tomto případě je cílem, aby nová obrazová funkce měla vyšší definiční obor (tedy zvýšíme rozlišení obrazu), než každá z původních. V případě čtyř snímků můžeme vytvořit novou obrazovou funkci f' , $f': \{1, \dots, 2W\} \times \{1, \dots, 2H\}$ tak, že $(\forall x \in \{0, 2, 4, \dots, 2W\})(\forall y \in \{0, 2, 4, \dots, 2H\}): f'(x, y) = f_1(0.5x, 0.5y); f'(x+1, y) = f_2(0.5x, 0.5y); f'(x, y+1) = f_3(0.5x, 0.5y); f'(x+1, y+1) = f_4(0.5x, 0.5y);$ Tento přístup je využíván v nejjednodušších aplikacích zvyšujících rozlišení snímků. V praxi ale nejsou snímky statické, samotný čip fotoaparátu se zahřívá, vytváří šum a jinou světelnost a obrazy se tak vzájemně liší. Výsledek chyby statického skládání je zobrazen na obrázku 2 vlevo.

Pro minimalizaci chyby statickým skládáním navrhuje vybrání pixelu té obrazové funkce, pro kterou bude pixel poskytovat minimální chybu vůči svému okolí dle vztahu

$$f'(x, y) = n | \min(|f_n(0.5x, 0.5y) - f'(x-1, y)| + |f_n(0.5x, 0.5y) - f'(x+1, y)|),$$

kde $n \in \{1, \dots, 4\}$ označuje index původní obrazové funkce. Po aplikaci je zaručena minimální chyba v rámci čtveřice pixelů, výsledek je znázorněn na obrázku 2 uprostřed.

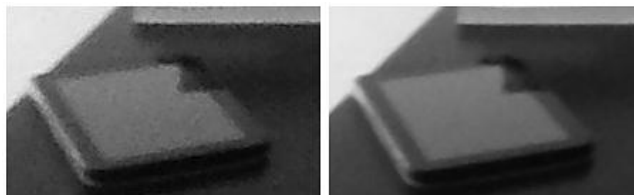


Obrázek 2. Zleva doprava: statické skládání; skládání dle chybové funkce; nalezení ideální permutace.

Pro vylepšení kvality výsledného obrazu je vhodné kontrolovat permutaci v rámci sousedních čtveřic pixelů. Pro každou čtveřici je vybrán pixel, který se nejvíce liší vůči svému okolí a nahrazen takovým pixelem z další čtveřice, který na místě pixelu v původní čtveřici nabývá nejmenšího rozdílu. Výsledek permutace na úrovni čtveřic je na obrázku 2 vpravo.

Výsledky

Navržené techniky byly implementovány a vyzkoušeny na videích zachycující statickou kompozici s pohybem kamery. Obrázek 3 ukazuje, jakého zlepšení lze dosáhnout na běžném videu (pořízeno integrovanou kamerou notebook Dell XPS13). Přístup je vhodný zejména na odstranění šumu spojeného se špatným vnímáním, barevnosti, zostřením kontur obrazu a vylepšení detailnosti.



Obrázek 3. Vlevo: výřez z originálního snímku videa. Vpravo: výřez z vylepšeného snímku.

Závěr

V článku byl demonstrován vlastní algoritmus pro detekci rohů využitelný jako označení důležitých oblastí v obrazu. Tyto důležité oblasti byly spárovány napříč různými snímky využitím vlastní míry pro určení podobnosti obrazu přinášející robustnost ve srovnání se standardními metrikami. Průměrováním registrovaných obrazů lze dosáhnout odstranění šumu se zachováním detailů. Skládáním obrazů lze vytvořit výsledný snímek s větším rozlišením. Navržené řešení kompozice zohledňuje permutaci obrazů a poskytuje znatelně kvalitnější výstup ve srovnání se statickou kompozicí.

Další směřování aplikace bude zaměřeno na definici parciálních posunů ve snímcích a vytvoření transformační funkce pro registraci; aplikaci různých fázovacích algoritmů; aplikaci standardních metod pro vylepšení obrazu jako např. gama korekce, nebo redukce odlesků.

Poděkování

Práce je podporováno studentskou grantovou soutěží SGS14/PrF/2013.

Děkuji za pomoc, trpělivost, vedení a předávání vědomostí své školitelce, prof. Irině Perfilievě.

Literatura

- [1] HURTÍK P: *Detekce hran v obrazu*. Studentská vědecká konference, Ostrava, 2012. ISBN 978-80-7368-966-7
- [2] PERFILIEVA I: *Fuzzy transforms: Theory and applications*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 157, 993–1023, 2006.
- [3] SEIBERT M: *SW přístupy k zvýšení rozlišení rastrového obrazu*. Ostrava, 2008. Bakalářská práce. Ostravská univerzita v Ostravě.
- [4] ZITOVÁ B, FLUSSER J: *Image registration methods: a survey*. Image and vision computing 21.11 (2003): 977-1000.

Abstract

The article show proposed algorithm for corner detection of image. The proposed algorithm for measure image similarity is shown in the second part of the article. We can solve trivialy problem of image registration by application both of algorithms. The application can be image quality improvement, or increasing of image resolution.