

APPLICATION OF HYBRID HAUSDORFF DISTANCE

Jan Opravil

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xoprav01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloslav Richter

E-mail: richter@feec.vutbr.cz

Abstract: Computer vision is beginning to expand into the industry. To its implementation, however, it requires correct choice of method and practical verification. This paper deals with one of methods for finding patterns in image, Hybrid Hausdorff distance, and its introduction into practice comparing with other methods.

Keywords: Hybrid Hausdorff, pattern recognition, industrial application.

1. ÚVOD

Rozpoznávání vzorů v obraze je jedna ze základních úloh počítačového vidění. Jako jedna z mála oblastí začíná pronikat i do technické praxe, kde jsou kladeny vysoké a často protichůdné požadavky. Tento článek se bude zabývat řešením problematiky určení posunutí papíru z referenční pozice. V praxi se jedná o prototyp lakovacího tiskařského stroje s velkým počtem inovačních prvků. Jedním z nich je zmíněné určení posunutí, které se dříve provádělo pouze zarovnáním papíru k okraji, přesnost lakování však záleží na posunu předtisku a zastřižení papíru.

K vyřešení daného úkolu můžeme s výhodou využít počítačového vidění, konkrétně právě rozpoznávání šablon v obraze. K této problematice existuje celá řada metod, otázkou je, která z nich je pro daný úkol nejvhodnější. Tento článek pojednává o Hybridní Hausdorffově vzdálenosti, kterou teoreticky představím v kapitolách 2 a 3, v kapitole 4 se pak nachází vlastní aplikace metody.

2. HYBRIDNÍ HAUSDORFFOVA VZDÁLENOST (HHD)

Tato metoda vychází z klasické Hausdorffovy vzdálenosti (HD) kombinované s normalizací gradientu (NG). V počítačovém vidění se HD využívá k nalezení šablony v obraze, oproti jiným metodám nevyžaduje bodovou shodu tak, jak například metody založené na korelaci.

2.1. KLASICKÁ HAUSDORFFOVA VZDÁLENOST

Hausdorffova vzdálenost představuje míru podobnosti dvou konečných podmnožin A, B z množiny D . V našem případě budou podmnožiny představovat body obrazu. Množina $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{N1}\}$ je množina bodů z obecného obrazu I a množina $B = \{b_0, b_1, \dots, b_{N1}\}$ je množina bodů z obrazu šablony Q . Hausdorffovu vzdálenost dvou množin označíme $h(A, B)$ a vypočítáme podle vzorce č. 1.

$$h(A, B) = \max_{a \in A} d_B(a) \quad ; \quad d_B = \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (1)$$

V tomto vzorci označuje $\|\cdot\|$ vzdálenost. Pro její výpočet můžeme použít libovolnou metriku (např. Eukleidovskou, Manhattan, Chessbord, ...).

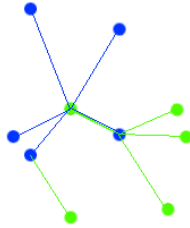
Vhodným rozšířením vzorce č.1 docílíme použitelnosti HD k hledání šablon v obraze (vzorec č. 2).

$$H(A, B \oplus t) B \oplus t = \{b + t | b \in B\} \quad (2)$$

Symbol $\oplus$ označuje standardní Minkowského sumu a t je strukturní element. Pokud t obsahuje pouze jeden prvek $t = \{t_0\}$, lze dokázat, že Minkowského součet je posunutím dané množiny. Výsle-

dek tohoto předpokladu lze vidět ve vzorci č. 2. Je patrné, že stačí posun pouze jedné z množin A , B . Obrázek č.1 nám názorně ukazuje množiny A , B včetně vyznačených odpovídajících minimálních vzdáleností $h(A,B)$ a $h(B,A)$. Pokud na tomto obrázku srovnáme výsledné vzdálenosti H a M_T bude platit: $H(A,B) > M_T(A,B)$, to proto, že existuje takové posunutí t , které posune množinu B tak, že se všechny dílčí vzdálenosti zkrátí. Po dosazení píšeme vzorec (č. 3) pro HD.

$$\max(d_B(a-t), d_A(b+t)) \quad (3)$$



Obrázek 1: Hausdorffova vzdálenost množin A a B , $h(A,B)$ modře, $h(B,A)$ zeleně.

2.2. HYBRIDNÍ VZDÁLENOST

U výpočtu HD vypočítáme vzdálenost dvou bodů množin pomocí libovolné metriky. Tato vzdálenost závisí pouze na poloze daných bodů. U HHD rozšíříme výpočet vzdálenosti o závislost na funkční hodnotě daných bodů (vzorec č. 4). Pomocí vah w_1 a w_2 můžeme ovlivnit do jaké míry bude ovlivňována celková vzdálenost jednotlivými složkami. Zavedením výpočtu vzdáleností pomocí tohoto vztahu docílíme významného zpřesnění vyhledání šablon a potlačení šumu.

$$\|a, b, I, F\|_{H_{euclid}} = \sqrt{w_1((a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2) + w_2(I(a) - F(b))^2} \quad (4)$$

2.3. NORMALIZACE GRADIENTU

Uvedený výpočet vzdálenosti závisí i na jasových složkách bodů, proto bychom měli minimalizovat vliv nerovnoměrného osvětlení, které by mohlo způsobovat velkou chybu ve výpočtu. K potlačení nerovnoměrného osvětlení využívá HHD normalizaci gradientu (vzorec č. 5).

$$E(a, b, I, F) = \left| \frac{\nabla I(a)}{\max_{(m,n) \in W_a} |\nabla I(m,n)| + c} * \frac{\nabla F(b)}{\max_{(m,n) \in W_b} |\nabla F(m,n)| + c} \right| \quad (5)$$

Ve vzorci označuje $\nabla I(a)$ a $\nabla F(a)$ gradient obrazu I a F v bodech a a b . Jmenovatel v rovnici obsahuje maximální hodnotu gradientu v lokálním okně W a malou kladnou konstantu c (dělení nulou), $*$ je skalární součin. Celý zlomek představuje normalizovaný gradient. Kombinace normalizace gradientu a výpočtu vzdálenosti způsobí opětovnou úpravu vzorce (č. 6).

$$\|a, b, I, F\|_{H_{Neuclid}} = \sqrt{w_1((a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2) + w_2(|1 - E(a, b, I, F)|)^2} \quad (6)$$

3. VÝSLEDKY

Autoři článku [4] provedli několik testů této metody, kdy vyhledávali obličeje v databázi, a porovnávali ji s jinými metodami. Ve všech uvedených testech byla HHD na prvním místě. Autoři však opomenuli zohlednit čas výpočtu jednotlivých metod, který je pro nasazení v praxi velmi důležitý.

Implementoval jsem tuto metodu v jazyku C++ bez použití specializovaných knihoven. Tento způsob programování je sice zdoluhavý a pro prvotní otestování metod neefektivní, ale zaručuje detailní porozumění algoritmu a tedy značnou výhodu pro jeho případné nasazení, ladění a optimalizaci.

Testování algoritmu bylo prováděno na vyhranovaném obrázku, což redukuje množství bodů v množinách. Postupným laděním programu bylo dosaženo úspory času rozpoznávání šablon (obrázek č. 1) z 1,5 minut na méně než 20s, čas samozřejmě záleží na velikosti šablony a počtu bodů. Rozpoznávání bylo prováděno na několika dalších šablonách, které byly uměle zašumněny.

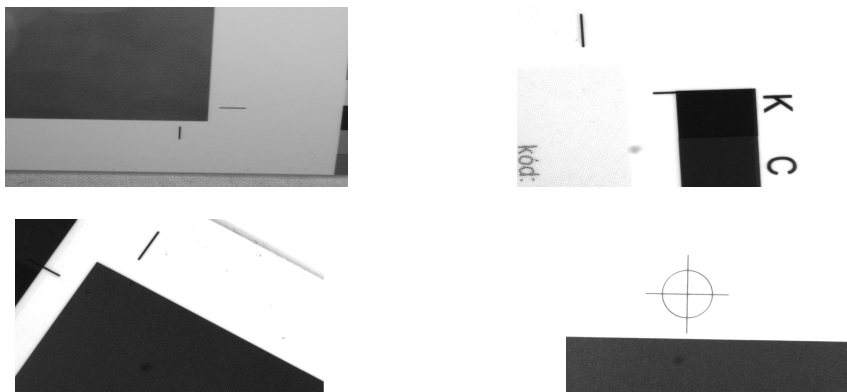
4. SROVNÁNÍ V PRAXI

Mnou vytvořený algoritmus byl testován v praxi na průmyslové kameře Basler acA1300 30gm s objektivem Cinegon 1.8/16 f16,4mm. Konkurenčními algoritmy byly tyto metody: Klasická HD, Korelace, CiSS a RaSS (viz [5]). Testování všech metod bylo provedeno na stejném množství vzorků (některé jsou na obr. 1). Algoritmy metod byly obdobně naprogramovány (C++ bez využití knihoven). Cílem testování byl výběr vhodné metody pro technickou praxi (výsledky viz tab. č. 1).

Metoda	Složitost	Čas[s]	Přesnost[%]
Korelace	1	0,3	80
CiSS	3	0,5	75
RaSS	4	1,2	88
CiSS&RaSS	4	0,6	88
HD	4	2	74
HHD	5	4,3	91

Tabulka 1: Výsledky praktických testů.

Tabulka zobrazuje nejdůležitější parametry pro rozhodnutí o vhodné metodě. Sloupec složitost je uveden proto, že v praxi se upřednostňují jednodušší řešení (známkování 1-nejlehčí až 5-nejtěžší). Podle výsledků lze usoudit, že metoda korelace bude nejvhodnější pro nasazení do praxe. Představovaná metoda HHD má sice lepší procento správného nalezení, ale za cenu vyšší časové náročnosti a větší složitosti algoritmu.



Obrázek 2: Reálné testované snímky z tiskařského stroje.

5. ZÁVĚR

Cílem článku bylo představení netradiční metody počítačového vidění použitelnou pro vyhledání šablony v obraze. Její naprogramování a otestování vhodnosti pro konkrétní případ technické praxe. Představovaná metoda byla srovnána s jinými metodami. Procentuální přesnost správného výsledku, tedy nalezení pozice šablony v obraze, dosahuje 90 %. Protiváhou tohoto výsledku je složitost algoritmu a především jeho časová náročnost. Nasazení Hybridní Hausdorffovy vzdálenosti by v uvedeném praktickém případě nebylo vhodné. Vhodným kandidátem je metoda korelace, která již byla na stroji aplikována a nyní je v testovacím provozu.

REFERENCE

- [1] Dong-Gyu Sim, et al., Object Matching Algorithms Using Robust Hausdorff Distance Measures, 1999
- [2] Chyuan-Huei Thomas Yang, et al., Hybrid image matching combining Hausdorff distance with normalized gradient matching, 2007
- [3] Kim, H.Y. and de Araújo, S.A., Rotation, scale and translation-invariant segmentation-free shape recognition, 2007