

Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu pomocou Laplaceovej pyramídy

Merging of images with smoothing of transition by using
Laplace pyramid

Ondrej Kováč, Ján Mihalík

{ondrej.kovac, jan.mihalik}@tuke.sk

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, TU
Košice

Abstrakt: Článok najprv analyzuje pyramídovú reprezentáciu obrazov. Potom túto aplikuje na spájanie dvoch a viacerých obrazov tak aby v oblasti ich spojenia nedochádzalo k ostrým prechodom alebo aby tieto prechody boli čo najviac vyhladené.

Abstract: The paper in first analyzes a pyramid representation of images. After that follows its application on merging of two and more images without sharp edges in area of transition, i.e. to be the transition smoothed as much as possible.

Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu pomocou Laplaceovej pyramídy

Ondrej Kováč, Ján Mihalík

Laboratórium číslicového spracovania obrazov a videokomunikácií;
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, TU Košice.
Email: {ondrej.kovac, jan.mihalik}@tuke.sk

Abstrakt – Článok najprv analyzuje pyramídovú reprezentáciu obrazov. Potom túto aplikuje na spájanie dvoch a viacerých obrazov tak aby v oblasti ich spojenia nedochádzalo k ostrým prechodom alebo aby tieto prechody boli čo najviac vyhladené.

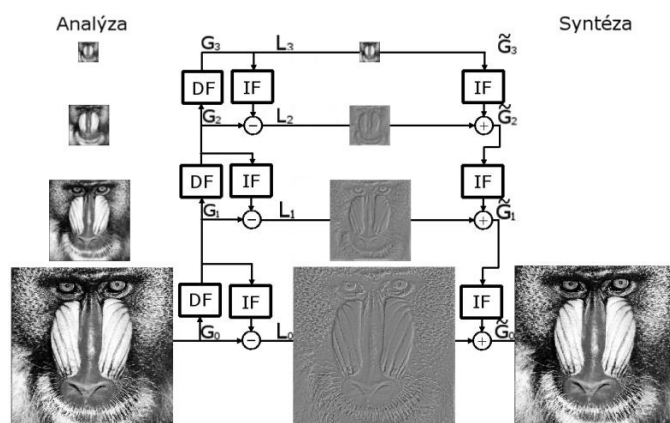
1 Úvod

Existuje mnoho techník [1],[2],[3] pre spájanie obrazov s vyhladením prechodov. Najjednoduchšou je metóda vyhladzovania pomocou metódou váhovania, ktorá nahrádza prvky prechodu váhovanou hodnotou pôvodných prvkov obrazu na prechode. Inou metódou je metóda vyhladzovania pomocou prekryvania vstupných obrazov s lineárne meniacou sa hodnotou obrazových prvkov v oblasti prechodu. Nevýhodou takýchto techník je to, že prechod je stále viditeľný a na jeho uspokojivé odstránenie musí byť spojený obraz ešte filtrovaný dolnopriepustným filtrom. Toto filtrovanie však vnáša stratu informácie aj v častiach spojeného obrazu, ktoré už nemajú byť súčasťou prechodu. Taktiež existujú techniky, ktoré už pri samotnom spájaní obrazov zamedzujú vzniku ostrých prechodov, alebo aspoň zvyšujú subjektívnu kvalitu spojeného obrazu v oblasti prechodu. V tomto článku sa budeme zaoberať technikou spájania obrazov pomocou Laplaceovej pyramídy, pri ktorej výstupný obraz má vyhladený prechod už pri samotnom spojení. Takéto vyhladenie je nevyhnutné pri rôznych fotomontážach, kedy je nutné zabezpečiť čo najvyššiu vierohodnosť obrazu (fotografie), alebo pri generovaní textúr ľudskej hlavy, ktoré sú získané minimálne z dvoch ortogonálnych snímok pohľadu na ľudskú hlavu [4].

2 Pyramídová reprezentácia obrazu

Pyramídová reprezentácia obrazu patrí medzi hierarchické reprezentácie obrazu. Takáto reprezentácia obrazu umožňuje vyjadriť obraz v jednotlivých úrovniach, ktoré majú rôzne priestorové rozlíšenie[5][6]. Na obr.1 je bloková schéma hierarchickej reprezentácie obrazu pomocou pyramídovej analýzy a syntézy. Ako je zrejme z obr.1, pyramídová analýza i syntéza vychádza z rozkladu vstupného obrazu do Gaussovej pyramídy, ktorá predstavuje nízkofrekvenčnú alebo aproximačnú časť. Jednotlivé Gaussové obrazy budeme označovať $G_0, G_1, G_2, \dots, G_n$. Ako bolo uvedené vyššie, pri hierarchickej reprezentácii obrazu získavame obraz vo viacerých úrovniach s iným priestorovým rozlíšením. Potom

G_0 bude reprezentovať úroveň s najväčším priestorovým rozlíšením a G_n úroveň s najmenším priestorovým rozlíšením.



Obrázok 1: Bloková schéma 4. úrovňovej pyramídovej analýzy a syntézy.

Z Obr.1 tiež vidno, že priestorové rozlíšenie vstupného obrazu sa zmenšuje s mocninou čísla 2. Ak vstupný obraz mal rozlíšenie $J \times J$ potom 1.úroveň bude mať rozlíšenie $\frac{J}{2} \times \frac{J}{2}$ na 2.úrovni bude mať rozlíšenie $\frac{J}{2^2} \times \frac{J}{2^2}$..., a vo všeobecnosti pre i -tu úroveň bude $\frac{J}{2^i} \times \frac{J}{2^i}$. Redukciu priestorového rozlíšenia je teoreticky možné vykonávať až pokiaľ rozmer G_i nie je rovný 1×1 . Znižovanie priestorového rozlíšenia a odfiltrovanie vysokých frekvencií zabezpečujú decimálne filtre (DF) s faktorom decimácie rovným dvom [7],[8]. Toto vieme zapísať takto

$$G_i = Df_2(G_{i-1}) \quad (1)$$

kde $Df_2(G_{i-1})$ predstavuje operáciu decimálnej filtrácie s faktorom 2. Laplaceová pyramída bude pri takejto reprezentácii predstavovať vysokofrekvenčnú (detailovú) časť obrazu. Jednotlivé Laplaceove obrazy budeme označovať $L_0, L_1, L_2, \dots, L_n$. Potom pre i -tú úroveň Laplaceovej pyramídy L_i platí, že od Gaussovho obrazu G_i odčítame interpolovaný Gaussov obraz G_{i+1} , čo vieme zapísať takto

$$L_i = G_i - If_2(G_{i+1}) \quad (2)$$

kde $If_2(G_{i+1})$ predstavuje operáciu interpolačného filtrovania s faktorom 2. Interpolácia zabezpečuje rovnaké priestorové rozlíšenie odčítavaných obrazov. Posledné obrazy Gaussovej a Laplaceovej pyramídy sú identické, teda $L_n = G_n$. Pri

rekonštrukcii vstupného obrazu sa postupuje tak, že najprv sa na základe Laplaceových obrazov vytvorí Gaussova pyramída, ktorej úroveň s najvyšším priestorovým rozlíšením predstavuje výstupný rekonštruovaný obraz. Vo všeobecnosti možno písať

$$\tilde{G}_i = L_i + If_2(\tilde{G}_{(i+1)}) \quad (3)$$

Je nutné poznamenať, že v procese interpolácie zväčšujeme raster vkladaním nulových riadkov a stĺpcov [8] čo vedie k štvornásobne menšej energii interpolovaného obrazu v porovnaní s pôvodným Gausovým obrazom. Potom ak chceme získať korektné Laplaceove obrazy, je nutné tento energetický rozdiel vyrovnáť tak, že interpolovaný a vyfiltrovaný obraz prenásobíme konštantou 4.

3 Vyhladzovanie prechodu pomocou Laplaceovej pyramídy

Jedna z možných aplikácií Laplaceovej pyramídy je aj vyhladzovanie ostrých prechodov pri spájaní obrazov. Vplyvom rôznych jasových a detailových vlastností rôznych obrazov dochádza na prechode ich spojenia k viditeľnému skresleniu [3],[9],[10].

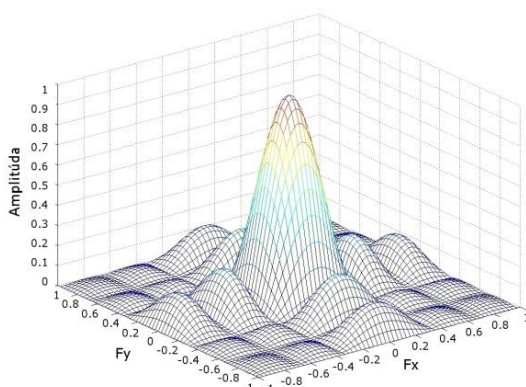
Potom proces vyhladzovania prechodu pozostáva z piatich krokov:

- Rozklad vstupných obrazov do Laplaceovej pyramídy
- Vyhotovenie masky
- Rozklad masky do Gaussovej pyramídy
- Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd
- Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy

Tieto kroky si popíšeme v nasledujúcom texte.

3.1 Rozklad vstupných obrazov

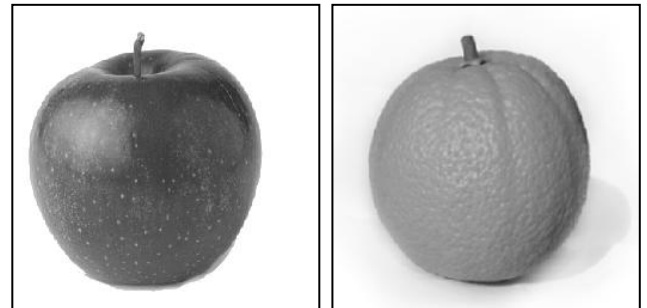
Vstupné obrazy rozložíme do Laplaceovej pyramídy na jednotlivé obrazy s menším priestorovým rozlíšením tak, ako to bolo uvedené v kap. 2. V našich experimentoch sme použili rozklad do 4 úrovni. Na každej úrovni pyramíd je v interpolátoroch ako aj v decimátoroch použitý dvojrozmerný dolnopriepustný Gaussov filter [8] s rozmerom okna 6x6. Jeho amplitúdová frekvenčná charakteristika je na obr.2.



Obrázok 2: Amplitúdová frekvenčná charakteristika použitého Gaussovho filtra s rozmerom okna 6x6.

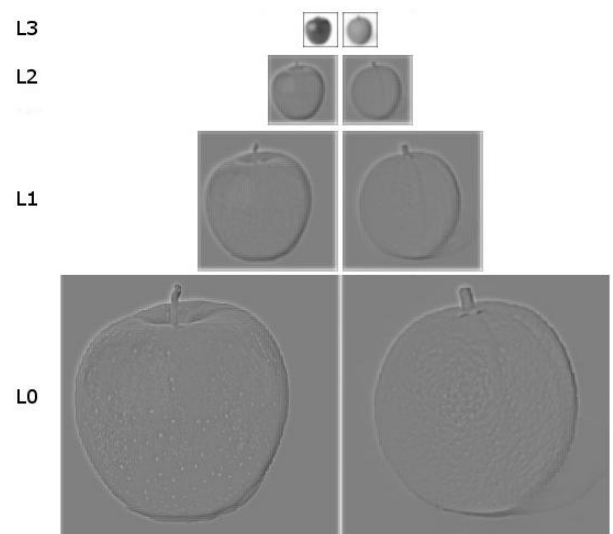
Experimentálne bolo zistené, že okno tohto filtra musí mať páry rozmer (4x4, 6x6, ...) lebo v opačnom prípade dochádza ku skresleniu výstupného vyhladeného obrazu. Toto je spôsobené tým, že aj decimácia a interpolácia je vykonávaná s párnym faktorom.

Vstupné spájané obrazy sú ukázané na obr.3 a im prislúchajúce štvorúrovňové Laplaceové pyramídy sú na obr.4.



Obrázok 3: Vstupné spájané obrazy: jablko a pomaranč.

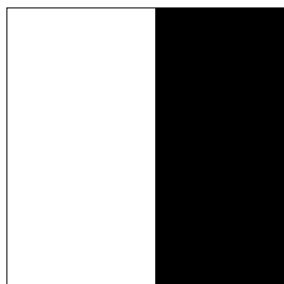
Pre jednoduchosť sú obrazy vyjadrené v úrovniach šedej s bitovou hĺbkou 8 bitov a rastrom 256x256. Pri farebných obrazoch by bol postup vyhladzovania prechodov rovnaký, iba by ho bolo nutné vykonať pre každú zložku RGB zvlášť a potom tieto vyhladené zložky RGB zlúčiť do výsledného farebného obrazu.



Obrázok 4: Štvorúrovňová Laplaceová pyramída pre vstupné spájané obrazy Jablko a Pomaranč

3.2 Vyhotovenie masky

Maska bude predstavovať binárny obraz, ktorý bude určovať na ktorom mieste sa vstupné obrazy budú spájať. V našom prípade bola pre jednoduchosť vytvorená maska, ktorá bude zabezpečovať vertikálny prechod ako to vidno na obr.5. Pritom maska určuje kedy a do akej miery budú použité údaje z obrazu 1 a obrazu 2.



Obrázok 5: Vertikálna binárna maska

3.3 Rozklad masky do Gaussovej pyramídy

Rozklad masky do Gaussovej pyramídy vykonáme rovnakým spôsobom ako bol uvedený v kap. 2. Tento rozklad zabezpečuje, že spojený obraz nebude obsahovať ostrý prechod. Je zrejme, že maska na jednotlivých úrovniach rozkladu do Gaussovej pyramídy nebude binárna, pretože na nej bola vykonaná dolnofrekvenčná filtrácia decimálnym filtrom.

3.4 Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd

Výstupom predošlých postupov sú Laplaceove pyramídy vstupných spájaných obrazov a Gaussova pyramída masky. Je zrejme, že všetky pyramídy majú rovnaký počet úrovní a všetky obrazy vrátane masky majú rovnaké priestorové rozlíšenie.

Zlúčenie pyramíd [9] do jednej je definované vzťahom

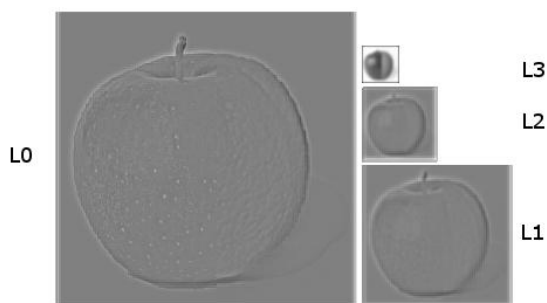
$$Lc_{k;(i,j)} = M_{k;(i,j)} La_{k;(i,j)} + (1 - M_{k;(i,j)})Lb_{k;(i,j)} \quad (4)$$

kde Lc predstavuje výslednú kombinovanú Laplaceovu pyramídu, M Gaussovu pyramídu masky a La, Lb sú Laplaceove pyramídy vstupných obrazov. Index k reprezentuje úroveň pyramíd a indexy i, j predstavujú pozíciu obrazového prvku v rastri daného obrazu.

Zo vzťahu (4) je zrejme, že výraz $(1 - M_{k;(i,j)})$ nepredstavuje nič iné ako negáciu masky.

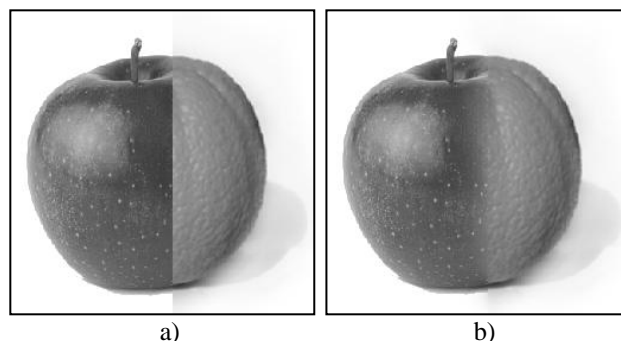
3.5 Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy

Výsledkom zlučovania pomocou vzťahu (4) je jedna kombinovaná Laplaceová pyramída zobrazená na obr.6.



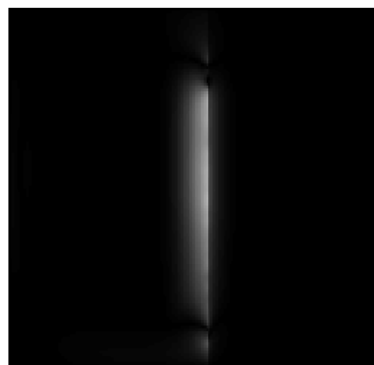
Obrázok 6: Kombinovaná štvorúrovňová Laplaceova pyramída

Spätnou rekonštrukciou pomocou kombinovanej Laplaceovej pyramídy [5] získame výsledný spojený obraz s vyhladeným prechodom. Na obr.7a je spojený obraz po spojení bez vyhladenia a na obr.7b po vyhladení prechodu pomocou kombinovanej Laplaceovej pyramídy.



Obrázok 7: Výsledný spojený obraz a) bez vyhladenia, b) s vyhladeným prechodom

Na obr.8 je zobrazená absolútna hodnota rozdielu medzi obrazom bez vyhladenia a obrazom po vyhladení, čo budeme nazývať rozdielový obraz. Rozdielový obraz potom bude predstavovať oblasť prechodu.



Obrázok 8: Rozdielový obraz


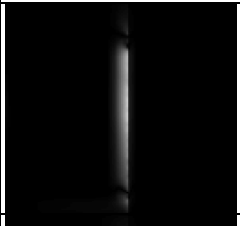

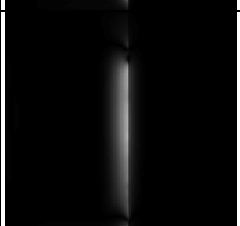

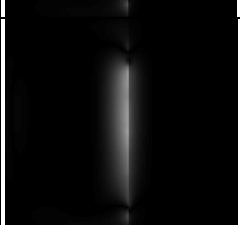

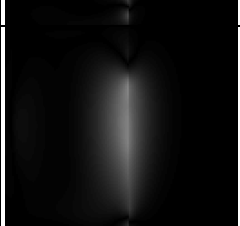

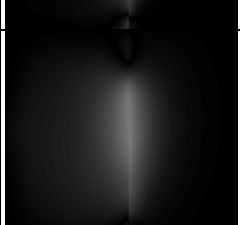
Z obr.8 je zrejme, že aplikované algoritmy ovplyvňujú iba okolie spojenia spájaných obrazov a nevňášajú chybu do ostatných častí obrazu. Kvantitatívnu mieru rozdielu medzi obrazom bez vyhladenia a obrazom s vyhladením prechodu, možno vyjadriť takto

$$K_{(dB)} = 10 \log_{10} \frac{\sum_i \sum_j (a_{i,j})^2}{\sum_i \sum_j (a_{i,j} - b_{i,j})^2} \quad (5)$$

kde $a_{i,j}$ sú obrazové prvky (op) obrazu bez vyhladenia, $b_{i,j}$ sú op obrazu s vyhladeným prechodom a indexy i, j predstavujú súradnice obrazových prvkov spojených obrazov.

V Tab.1 sú zobrazené vyhladené obrazy a im prislúchajúce rozdielové obrazy spolu s kvantitatívnou mierou rozdielu K , vzhľadom na rozmer okna Gaussovho filtra (GF) použitého v decimálnych a interpolačných filtroch. Podobné výsledky by bolo možné získať aj pre iné dvojice obrazov.

Tabuľka 1: Zmena vyhladenia oblasti prechodu, kvantitatívnej miery rozdielu v závislosti od rozmeru okna Gaussovho filtra

Rozmer okna GF	Obraz s vyhladeným prechodom	Rozdielový obraz	K (dB)
4x4			28.71
6x6			28.58
8x8			28.25
16x16			26.74
32x32			25.19

Z tab.1 vyplýva, že s nárastom rozmeru okna GF, t.j. so znižovaním jeho medznej frekvencie, dochádza k rozšíreniu oblasti prechodu a zníženiu maximálnej absolútnej hodnoty rozdielového obrazu. Maximálne hodnoty rozdielového obrazu sa sústreďujú v oblasti spojenia obrazov. Pokles hodnôt v tejto oblasti sa prejavuje zviditeľňovaním pôvodného ostrého prechodu. S rozšírením oblasti prechodu je spojené skreslenie vyhladeného obrazu. Ďalej s nárastom rozmeru okna GF dochádza k zmenšovaniu parametra K . Zo vzťahu (5) je zrejmé, že K sa bude zmenšovať s nárastom sumy kvadrátov rozdielov z menovateľa na pravej strane.

4 Záver

Experimenty ukázali, že pri spájaní vstupných obrazov je najvýhodnejšie v decimálnych a interpolačných filtroch použiť dvojrozmerný Gaussov filter s rozmerom okna 4x4. Pritom sme pre jednoduchosť implementácie používali rovnaké

decimálne a interpolačné filtre pre všetky úrovne pyramíd. Usudzujeme, že dosiahnuté výsledky sú z hľadiska subjektívnej kvality postačujúce. Kvalitu vyhladenia prechodu by teoreticky bolo možné zvýšiť tak, že každá úroveň pyramídy by mala iný filter a zároveň ak by sa maska rozložila do Gaussovej pyramídy tiež s rôznymi filtermi na jednotlivých úrovniach. Výrazné ovplyvnenie kvality vyhladenia prechodu by taktiež mohlo byť dosiahnuté zmenou počtu úrovní pyramíd. Z výsledkov vyplýva, že navrhnutá metóda pri správnom nastavení GF neovplyvňuje časti obrazu, ktoré už nie sú súčasťou prechodu. Taktiež sme ukázali, že so zväčšovaním rozmeru okna GF, resp. znižovaním jeho medznej frekvencie sa oblasť prechodu rozširuje čo spôsobuje skreslenie vyhladeného obrazu v časti ktorá už nesmie byť ovplyvňovaná a zároveň maximálny rozdiel medzi vyhladenými obrazmi na obrazových prvkoch prechodu je menší čo spôsobuje skreslenie v oblasti spojenia vstupných obrazov.

Literatúra

- [1] RANKOV,V., LOCKE, R.,EDENS, R., BARBER,P., VOJNOVIC,B.: An algorithm for image stitching and blending, *Proceedings of SPIE*, Vol. 5701, 2005.
- [2] AGARWALA,A., DONTCHEVA,M., AGRAWALA,M., DRUCKER,S., COLBURN,A., CURLESS,B., SALESIN,D., COHEN,M.: Interactive Digital Photomontage, *Proc. of ACM SIGGRAPH '04*.
- [3] KOVÁČ,O., MIHALÍK,J.: Vyhľadovanie textúr 3R modelu ľudskej hlavy, *Electrical Engineering and informatics III*, FEI-TU, Košice, 2012.
- [4] MIHALÍK,J., MICHALČIN,V. : Texturing of Surface of 3D Human Head Model, *Radioengineering*, Vol.13, No.4, 2004, p.44- 47.
- [5] MIHALÍK,J.: Kódovanie obrazu vo videokomunikáciach, *Mercury-Smékal*, Košice, 2001, ISBN 80-89061-47-8.
- [6] GONZALES,R.C., WOODS,R.E.: Digital Image Processing, 2-nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [7] CROCHIERE,R., RABINER,L.: Interpolation and a Decimation of Digital Signals-Tutorial, *Review proceedings of the IEEE*, Vol. 69, no. 3, 1981.
- [8] MIHALÍK, J., ZAVACKÝ, J.: Diskrétné spracovanie signálov, *LČSOV FEI TU*, Košice, 2012, ISBN 978-80-553-0730-5.
- [9] BURT,P.J., ADELSON,E.H.: A multiresolution spline with application to image mosaics, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 2, No. 4, 1983, p.217-236.
- [10] GRACIAS,N., MAHOOR,M., NEGAHDARIPOUR,S. Fast image blending using watersheds and graph cuts, *Image and Vision Computing*, Vol.2, Issue 5, 2, 2009.