

FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY
UNIVERZITY KOMENSKÉHO V BRATISLAVE



DIPLOMOVÁ PRÁCA

Prehľad knižníc na podporu spracovania obrazu

Bratislava 2007

Eva Kulková

Prehľad knižníc na podporu spracovania obrazu

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Eva Kulková

UNIVERZITA KOMENSKÉHO BRATISLAVA
Fakulta Matematiky, Fyziky a Informatiky
Katedra Aplikovanej Informatiky

Informatika

Doc. RNDr. Milan Ftáčnik, PhD.

BRATISLAVA 2007

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu *Prehľad knižníc na podporu spracovania obrazu* vypracovala samostatne. Všetku použitú literatúru a pramene uvádzam v závere práce.

.....

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Doc. RNDr. Milanovi Ftáčnikovi, PhD.
za konzultácie a cenné rady počas práce. Zároveň ďakujem svojim blízkym a
priateľom za psychickú podporu počas písania tejto práce.

Abstrakt

KULKOVÁ, Eva: *Prehľad knižníc na podporu spracovania obrazu* [diplomová práca]. Univerzita Komenského, Bratislava. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky; Katedra aplikovanej informatiky. Vedúci diplomovej práce: Doc. RNDr. Milan Ftáčnik, PhD.; Katedra Aplikovanej Informatiky, Univerzita Komenského, Bratislava. Bratislava: FMFI UK, 2007. 99 strán

Cieľom tejto diplomovej práce bolo vytvoriť prehľad voľne šírených a komerčných knižníc na podporu spracovania obrazu a analyzovať ich z hľadiska rozsahu, použiteľnosti pre rôzne operačné systémy a rôzne programovacie prostredia. Pre túto prácu sme si vybrali knižnice Gandalf, ITK, IM, Image Magick, Microsoft Vision SDK, Matrox Imaging Library a OpenCV. Knižnice sme sa rozhodli aj otestovať. Pri testoch sme sa sústredili na časovú náročnosť porovnávaných algoritmov ako aj správnosť ich výstupov.

Keywords: grafická knižnica, spracovanie obrazu, počítačové videnie

Obsah

Úvod	10
1 Charakterizácia knižníc	12
1.1 Gandalf [18], [19]	12
1.2 IM [33]	18
1.3 Image Magick [27]	26
1.4 ITK [13]	32
1.5 Matrox Imaging Library [39], [40]	41
1.6 Microsoft Vison SDK [4]	48
1.7 OpenCV [6], [11]	55
2 Testovanie knižníc	61
2.1 Výber algoritmov	61
2.2 Výber knižníc	62
2.3 Parametre testovania	62
2.4 Implementácia testovania	64
2.4.1 Vytvorenie pracovných prostredí	64
2.4.2 Meranie času	65
2.4.3 Program pre porovnávanie obrázkov	65
2.5 Popis implementácie algoritmov	67
2.6 Porovnanie a zhodnotenie výsledkov	72
2.6.1 Výsledky merania času	72
2.6.2 Porovnanie výstupov	76
2.6.3 Celkové zhodnotenie	81

3	Odporúčania pre používateľov	82
3.1	Hodnotenia podľa rôznych kritérií	82
3.1.1	Náročnosť inštalácie	82
3.1.2	Náročnosť vytvorenia pracovného prostredia	83
3.1.3	Náročnosť používania	84
3.1.4	Dostupnosť knižníc	85
3.1.5	Kvalita dokumentácie k funkciám	85
3.2	Prehľadové tabuľky	86
3.2.1	Podporované dátové štruktúry	86
3.2.2	Podporované formáty	87
3.2.3	Poskytovaná funkčnosť	88
3.2.4	Podporované operačné systémy	89
3.2.5	Podporované programovacie jazyky	89
3.3	Odporúčania pre riešenia problémov spracovania obrazu	90
3.4	Odporúčania pre riešenia problémov počítačového videnia . . .	90
3.5	Odporúčania pre riešenia iných problémov	93
	Záver	95

Zoznam obrázkov

1.1	Tok úloh pri spracovaní digitálneho obrazu	21
1.2	Organizácia knižnice IM a úlohy jej 4 konceptov	22
1.3	Prúdové spracovanie dát	37
1.4	Schéma vstupno-výstupného rozhrania spolu s prúdovým spracovaním	37
1.5	Architektúra knižnice MIL, zdroj [40]	44
1.6	Vzťahy medzi základnými modulmi knižnice Microsoft Vison SDK	52
1.7	OpenCV - Zobrazenie prepojení medzi jednotlivými projektami	57
2.1	Lena	63
2.2	Čierne predmety na bielom pozadí	64
2.3	GUI aplikácie Comparator	66
2.4	Výsledok operácie medián7x7. Vľavo obrázkov po operácii medián7x7, vpravo pôvodný obrázok.	77
2.5	Farebný prechod nulou pre obrázok Leny	78
2.6	Výsledok prechodu nulou na obrázku pic1	78
2.7	Prechod nulou: rozdiel medzi výstupom knižnice OpenCV a ostatnými knižnicami	79
2.8	Rozdiel medzi vstupom a výstupom pri knižnici IM	80

Zoznam tabuliek

2.1	Medián 3x3 pre obrázok Pic1	72
2.2	Medián 3x3 pre obrázok Lena	72
2.3	Medián 5x5 pre obrázok Pic1	73
2.4	Medián 5x5 pre obrázok Lena	73
2.5	Medián 5x5 pre obrázok Lena	75
2.6	Otvorenie, maska 3x3	75
2.7	Prechod nulou, maska 17x17	76
2.8	Dopredná+inverzná Fourierova transformácia	76
3.1	Prehľad podporovaných dátových štruktúr	86
3.2	Prehľad podporovaných formátov	87
3.3	Prehľad implementácie problémov spracovania obrazu	88
3.4	Prehľad použitia v rôznych operačných systémoch	89
3.5	Prehľad použitia v rôznych programovacích jazykoch	89

Úvod

Používanie grafických knižníc na riešenia rôznych problémov sa v dnešnej dobe stáva bežnou praxou. Je praktickejšie vytvoriť si vlastnú aplikáciu, "ušitú" na mieru. Na rozdiel od grafických programov, je pri používaní grafických knižníc možnosť vytvoriť si všetko tak, ako to práve potrebujete. Často krát však vznikne otázka, ako začať a akú knižnicu na to vôbec použiť. Práve táto otázka sa stala základnou motiváciou k vzniku tejto práce, ktorej cieľom je vytvoriť prehľad voľne šírených a komerčných knižníc určených na podporu spracovania obrazu. Rozhodli sme sa zjednotiť často krát neprehľadné a nejednotné popisy knižníc a analyzovať ich z hľadiska ich rozsahu, použiteľnosti pre rôzne operačné systémy, rôzne programovacie prostredia a mnohých ďalších kritérií. Aby sme mohli poskytnúť aj praktické skúsenosti z používania knižníc, rozhodli sme sa aj pre ich krátke otestovanie.

Už spomínanou motiváciou pre nás bolo poskytnúť pomocnú ruku začínajúcim používateľom. Ich častým problémom môže byť aj jazyková bariéra, keďže všetky dokumentácie ku knižniciam sú písané v anglickom jazyku. Preto sme sa rozhodli túto prácu písať v slovenčine, aj keď s podobnou prácou sme sa nestretli ani v angličtine, ani v žiadnom inom jazyku. Na internete sme sa stretli iba so zoznamom, v ktorom boli knižnice popísané dvoma vetami a boli tam odkazy na web stránky knižníc. Avšak takéto prehľady sú pre začínajúcich používateľov často krát nepostačujúce.

V prvej kapitole sú všetky knižnice charakterizované podľa rovnakých kritérií. Aj keď sme sa knižnice snažili vybrať s ohľadom na implementáciu funkcií pre spracovanie obrazu, pri charakterizáciách spomíname, ako knižnice riešia problémy vizualizácie, ako aj získavania či ukladania obrazu.

Ďalším kritériom pri výbere knižníc bolo ich "dobré meno", ako aj možnosť ich vzájomnej spolupráce.

V druhej kapitole sa venujeme testovaniu, pri ktorom sme sa sústredili na porovnávanie času, ako aj výstupných obrázkov pre vybrané algoritmy. Zdrojové kódy pripravených aplikácií zároveň môžu slúžiť ako odrazový mostík pri práci s knižnicami.

Tretia kapitola je venovaná odporúčaniam a radám pre používateľov knižníc. Jej cieľom je pomôcť pri rozhodovaní, ktorú knižnicu použiť na riešenie daného problému.

Kapitola 1

Charakterizácia knižníc

1.1 Gandalf [18], [19]

Základná charakterizácia

Gandalf je knižnica implementujúca numerické algoritmy a algoritmy počítačového videnia. Je napísaná v jazyku C, čo umožňuje vyvíjať nové aplikácie, ktoré budú prenositeľné a budú bežať rýchlo. Knižnica je voľne dostupná pre výskum ako aj pre komerčné účely. Na komerčné účely je používaná hlavne v oblasti detekcie falzifikátov a kontrolu pohybu kamerou. Bola použitá aj pri vývoji pohybového editovacieho softvéru "Mokey", vyvíjaného firmou Imagineer Systems Ltd. Knižnica pozostáva zo štyroch hlavných balíkov: všeobecného balíka, balíka lineárnej algebry, obrazového balíka a balíka pre počítačové videnie.

Hlavné výhody knižnice sú:

- Efektívne využitie pamäte použitím dynamicky rekonfigurovateľných štruktúr.
- Dôraz na optimalizáciu, predovšetkým numerických algoritmov - v balíkoch lineárnej algebry a obrazového balíka existujú pomalá a rýchla verzia tej istej operácie. Tieto verzie sa líšia predovšetkým v spôsobe alokácie pamäte (dynamické alokovanie / alokovanie dopredu a naraz)

a spôsobe odovzdávania výsledkov (vrátenie výslednej štruktúry / vrátenie smerníka na výslednú štruktúru).

- Variabilná a efektívna vnútorná reprezentácia obrazu
- Komplexná množina maticových a vektorových operácií, zahŕňajúca operácie pre transponované a inverzné matice
- Využitie výpočtových a kompilačných rýchlostných výhod jazyka C oproti jazyku C++, predovšetkým redukcia počtu vrstiev abstrakcií pri základných dátach. Tento prístup je podľa autorov vhodný hlavne pre jednoduché objekty ako matice, vektory a obrazy.

Autori

Autormi knižnice sú Phil McLauchlan, Allan Jaenicke a Phillip Ngan.

Firma Imagineer Systems Ltd poskytuje zmluvný servis pre projekty týkajúce sa spracovanie obrazu a počítačového videnia.

Licencia

Knižnica je distribuovaná pod známou LGPL (Lesser Gnu Public License) od skupiny Free Software Foundation. Ide o licenciu ktorá povoľuje voľnú redistribúciu a modifikáciu knižnice. Avšak podmienkou je súhlas so znením licencie a priloženie zmienky o licencií do všetkých kópii ako aj prác odvodených od pôvodnej knižnice. Presné znenie licencie je priložené v hlavnom adresári knižnice, dá sa nájsť aj na web stránke skupiny Free Software Foundation (viď [20]).

Balíky lineárnej algebry "cblas" a "lapack" sú prispôbené knižnici Gandalf z knižnice CLAPACK. Balík lineárnej algebry "matrix" je podmnožinou balíka CCMath. Preto pri používaní spomenutých balíkov treba prihliadať aj na licencie knižníc CLAPACK a CCMath.

Použitelnosť pre rôzne operačné systémy

Keďže knižnica je napísaná v jazyku C, je použiteľná vo väčšine operačných systémoch. Overená je použiteľnosť v Unixových systémoch (Linux, IRIX), v OS Windows 2000/NT/XP a MacOSX.

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Knižnica nemá oficiálne interfejsi pre iné programovacie jazyky. Keďže je napísaná v jazyku C, tak okrem tohto jazyka je použiteľná aj v jazyku C++.

Podporované formáty

Momentálne knižnica Gandalf podporuje 6 obrazových formátov: PNG, PBM, PGM, PPM, GIF, TIFF a JPEG. Avšak použitie formátov GIF, JPEG a TIFF je podmienené nainštalovaním príslušných knižníc pre dané formáty. K podpore formátu PNG je potrebné mať nainštalované knižnice libpng ([23]) a zlib ([22]). Knižnica bude kompilovateľná a bude bežať aj bez týchto doplnujúcich knižníc, ale k dispozícii budú iba formáty PGM a PPM.

Organizácia knižnice

Knižnica je organizovaná do 4 hlavných balíkov: všeobecného balíka, balíka lineárnej algebry, obrazového balíka a balíka pre počítačové videnie.

Knižnica sa nezaobera vizualizáciou. K použitiu jednoduchých vizualizačných funkcií je potrebné mať nainštalovanú knižnicu Open GL, ako aj nástroj GLUT (OpenGL Utility Toolkit). Voľnú verziu tejto knižnice, dostupnú pre väčšinu OS, môžete na internete nájsť pod názvom Mesa, viď [24]. Nástroj GLUT je tiež možné nájsť na internete, viď napr. [25]. Takisto k použitiu niektorých I/O funkcií sú potrebné doplnujúce knižnice, ide najmä o podporované formáty súborov. K použitiu optimalizovanejších funkcií pri balíku lineárnej algebry je potrebné mať nainštalovanú knižnicu LAPACK.

Všeobecný balík (Common package) - definuje všeobecné typy a programy, ktoré sú často používané aj v ostatných balíkoch knižnice, ale

takisto sú dostupné aj pre iné aplikácie využívajúce túto knižnicu. Skladá sa z viacerých podmodulov: Zmiešané definície (Jednoduché typy, typy so špecifickou bitovou veľkosťou, nástroje pre ladenie), Spájané zoznamy, Bitové polia, Alokácia pamäte, Obsadzovanie a kopírovanie polí, Komplexné čísla, Numerické funkcie, Funkcie pre porovnávanie, Detekcia a ošetrovanie chýb, Chybové testy a kódy.

K použitiu funkcií z tohto balíka je potrebné použiť direktívu:

```
"#include <gandalf/common.h>",
```

avšak ak nepotrebuje celý modul, ale len nejaký jeho podmodul, je lepšie zahrnúť do vášho kódu len tento podmodul. Zrýchľuje to proces kompilácie.

Balík lineárnej algebry (Linear algebra package) - pokrýva maticové a vektorové operácie, ako aj rozklad matic a iné ďalšie operácie. Celý balík sa skladá z dvoch častí, jeden sa špecializuje na vektory a matice pevnej a malej veľkosti (ide o veľkosti 2 až 4), druhý je pre matice a vektory rôznej veľkosti. Toto rozdelenie umožňuje realizovať efektívnu implementáciu operácií lineárnej algebry pri ktorých sa pracuje s malými objektmi.

K použitiu štruktúr a funkcií z tohto balíka je potrebné použiť direktívu:

```
"#include <gandalf/linalg.h>",
```

avšak ak nepotrebuje celý modul, ale len nejaký jeho podmodul, je lepšie zahrnúť do vášho kódu len tento podmodul. Zrýchľuje to proces kompilácie.

Obrazový balík (Image package) - zaoberá sa spracovaním rôzneho formátu a typu obrazu a takisto definuje funkcie nízkeho stupňa pre spracovanie obrazu. Skladá sa z nasledujúcich podmodulov: Formáty a typy obrazu, Jednoduché obrazové/bodové funkcie (vytvorenie a zánik obrazu), Vstupno-výstupné operácie pre obrazové súbory (nastavenie nového formátu, typu a dimenzie, prístup k jednotlivým pixelom obrazu, vyplnenie obrazu konštantnou hodnotou, konvertovanie bodového formátu), Binárne obrázky, Smerníkové obrázky, Obrazové pyramídy, Invertovanie obrazu, Vstupno-výstupné funkcie pre obrazové sekvencie.

K použitiu štruktúr a funkcií z tohto balíka je potrebné použiť direktívu:

```
"#include <gandalf/image.h>",
```

avšak ak nepotrebuje celý modul, ale len nejaký jeho podmodul, je lepšie zahrnúť do vášho kódu len tento podmodul. Zrýchľuje to proces kompilácie.

Balík pre počítačové videnie (Vision package) obsahuje funkcie pre spracovanie obrazu vyššieho stupňa. Skladá sa z viacerých špecializovaných podmodulov. Bližší popis týchto podmodulov, ako aj ich funkcií viď v časti "Funkcie knižnice".

K použitiu štruktúr a funkcií z tohto balíka je potrebné použiť direktívu:

```
"#include <gandalf/vision.h>",
```

avšak ak nepotrebuje celý modul, ale len nejaký jeho podmodul, je lepšie zahrnúť do vášho kódu len tento podmodul. Zrýchľuje to proces kompilácie.

Funkcie knižnice

Funkcie v obrazovom balíku :

Binárne obrazy - Implementácie operácií AND, OR, exclusive-OR (EOR) a not-AND (NAND) na dva obrazy rovnakej dimenzie, Funkcia vracajúca tzv. "aktívne" oblasti (tie ktorých pixle majú hodnotu 1)

Kopírovanie/konvertovanie celého alebo časti obrazu

Obrazové pyramídy

Sekvencie obrazu

Funkcie v balíku pre počítaové videnie:

Práca s kamerou - Vytvorenie kamery, Nastavenie projektových bodov a čiar, Odstránenie ako aj pridávanie skreslenia kamerou, Konvertovanie medzi rôznymi rozlíšeniami

Počítanie fundamentálnej/hlavnej matice

Počítanie homografie medzi obrazom a 2D scénou

Počítanie homografie medzi obrazom a 3D scénou

Vyhľadovanie obrazu použitím jednorozmernej konvolučnej masky

Vyhľadovanie obrazu použitím dvojrozmernej konvolučnej masky

Rozpoznávanie obrazu - Detekcia hrán, Zobrazenie hranovej mapy, Cannyho hranový detektor, Detekcia rohov, Zobrazenie mapy rohov, Harrisov

detektor rohov, Detekcia čiar, Zobrazenie čiarovej mapy, Gandalfov detektor čiar

Reprezentácia 3D rotácií - Funkcie kvaterniónov, Všeobecné funkcie pre rotácie

Reprezentácia 3D Euklidovských rotácií

Levenberg-Marquardt minimalizácia

Rýchla Houghova transformácia.

Distribúovaný formát

Knižnica je distribuovaná v zdrojovom kóde ako skomprimovaný balík formátu tar.gz. Pre všetky operačné systémy je určený ten istý balík, avšak pre každý operačný systém sa knižnica potom nakonfiguruje rôzne. Tento balík obsahuje okrem zdrojových kódov aj informácie potrebné pre konfiguráciu knižnicu, testovacie súbory, ako aj dokumentáciu.

Najnovšia a aktuálna verzia

Najnovšia verzia knižnice je Gandalf 1.6 z 21. septembra 2006.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Všetky informácie, z ktorých sme čerpali pri písaní tohto textu, boli z webovej stránky knižnice (viď [18]). Tieto materiály sú síce aktuálne, avšak samostatný popis knižnice na stránke bol málo obsírny. Takisto v tutoriále knižnice sa autori síce dosť podrobne venujú jednotlivým modulom, ale všeobecných informácií o knižnici je len trocha viac ako na web stránke. Tento tutoriál je k dispozícii v html formáte priamo na stránke, alebo v PDF formáte.

Okrem spomínaného tutoriálu je k dispozícii aj referenčná príručka, vygenerovaná programom Doxygen. Takisto sú na stránke tzv. "FAQ", teda často pýtané otázky. Avšak ich počet je dosť skromný, pri ostatných knižniciach je týchto otázok podstatne viac, a myslím že ani tejto knižnici by neuškodilo. K dispozícii nie je ani žiaden mailing list, ani žiadne fóra pre diskusie a zdieľanie informácií a vlastných poznatkov o tejto knižnici.

Pre potencionálnych vývojárov sú na stránke kódiače štýly použité pri písaní knižnice.

1.2 IM [33]

Základná charakterizácia

IM je nástroj pre digitálne spracovanie obrazu. Tento nástroj umožňuje získavanie obrazu, podporuje niekoľko obrazových formátov a implementuje mnoho funkcií pre operácie spracovania obrazu. Animácie a video sú podporované ako sekvencie obrazov. Hlavným cieľom knižnice je poskytnúť jednoduché API rozhranie a abstrakciu obrazov pre vedecké aplikácie. IM je voľný softvér použiteľný nielen pre súkromné, ale aj pre komerčné aplikácie. Je založený na 4 základných konceptoch:

- Reprezentácia obrazu je určená popisom modelu obrazu a jeho detailmi, ako napr. ktorý systém farieb má byť použitý, dátový typ, ako sú organizované dáta v pamäti a takisto ako sú organizované iné obrazové charakteristiky.
- Uloženie obrazu je reprezentované popisom modelu pre formát súboru.
- Získavanie obrazu je určené popisom ako získať obraz zo zariadenia.
- Spracovanie obrazu je určené samotnými operáciami pre spracovanie obrazu.

Zaujímavosťou je existencia programu pre spracovanie obrázkov ImLab, ktorého autormi sú tvorcovia knižnice IM. Tento program pre implementáciu svojich funkcií využíva knižnicu IM a je akoby predvedením všetkých funkcií tejto knižnice.

IM patrí k skupine grafických nástrojov s netradičným prístupom k niektorým oblastiam. Ide často o doposiaľ nepreskúmané prístupy k riešeniam. Tieto prístupy sú však navrhnuté čo najjednoduchšie a najzreteľnejšie. Organizácia bola navrhnutá tak, aby mohla byť použitá na výučbu problémov

získavania a spracovania obrazu. K tomu je však potrebné, aby táto knižnica bola používaná, otestovaná a ohodnotená väčšou skupinou používateľov.

Autori

Táto knižnica bola vyvinutá spoločnosťou Tecgraf/PUC-Rio (Tecgraf - Computer Graphics Technology Group, PUC-Rio, Brazil) v spolupráci s PETROBAS/CENPES.

Vedúcim IM tímu je Antonio Escano Scuri. Mená členov tímu ako aj vývojárov voľných knižníc použitých v knižnici IM, ktorý sa taktiež podieľali na vývoji knižnici IM, môžete nájsť na stránke knižnice v časti "Product/Credits".

Licencia

Knižnica IM bola vyvinutá firmou Tecgraf na žiadosť firmy Petrobras. Petrobras povolila firme Tecgraf distribúciu knižnice pod nasledujúcimi podmienkami:

Produkt (knižnica) je voľný softvér, t.j. môže byť bez nákladov využívaná na akademické ako aj na komerčné účely. Neexistujú žiadne podmienky pre autorské honoráre alebo obmedzenie pre kópie ako pri GNU licenciách. Knižnica je licencovaná pod zmluvnými podmienkami MIT licencie¹, ktorá je kompatibilná s GPL a takisto kvalifikovaná ako Open Source softvér. Nejde však o verejné vlastníctvo, firmy Tecgraf a Petrobras si ponechali autorské práva.

Podstata spomenutej MIT licencie je že knižnicu sa môže bezplatne využívať na rôzne účely bez toho, aby ste sa museli pýtať autorov, avšak knižnica je stále majetkom firiem Tecgraf a Petrobras. Jediná požiadavka pri použití knižnice teda je zahrnúť niekde do vášho produktu, ktorý využíva túto knižnicu, alebo jeho dokumentácie, poznámku o autorských právach, čím vyjadrite uznanie autorom. Ďalšia, avšak voliteľná (teda dobrovoľná) požiadavka je zahrnúť logo spoločnosti Tecgraf na web stránke Vášho produktu.

¹MIT licenciu môžete nájsť nájdete v prílohách na CD

Knižnice v sebe zahŕňa, resp. používa aj niektoré ďalšie knižnice ktoré neboli vyvinuté firmou Tecgraf. Všetky použité knižnice sú takisto voľný softvér, s rovnakou voľnosťou v licencií ako je licencia knižnice Tecgraf. Ide o knižnice zlib, libpng, libjpeg, libtiff, libjasper a liblzf.

Použitelnosť pre rôzne operačné systémy

Keďže knižnica je napísaná v jazyku C/C++ a je veľmi dobre prenositeľná. Môže byť bez modifikácií kompilovaná v operačných systémoch bežiacich na platforme Microsoft Windows ako aj na Unixových operačných systémoch, konkrétne: SunOS, IRIX, AIX, Linux, Microsoft Windows NT/2K/XP.

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

API nástroja je napísané v jazyku C, zdrojový kód jadra knižnice je implementovaný v jazyku C++. Z toho dôvodu je knižnica použiteľná len v tomto jazyku, avšak knižnica je kompilovateľná vo viacerých kompilátoroch/prostrediach: GCC a CC v prostredí OS Unix Visual C++, Borland C++, Watcom C++ a GCC (Cygwin a MingW) v prostredí OS Windows

Do knižnice môžu byť pridané aj nové operácia pre spracovanie obrazu implementované v jazyku C alebo C++.

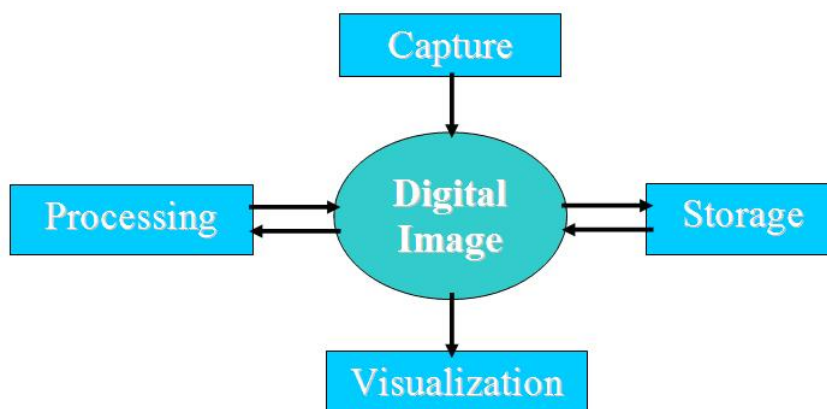
Podporované formáty

Podporované sú nasledujúce interne preddefinované formáty: BMP, PCX, GIF, TIFF, RAS, SGI, JPEG, LED, TGA, RAW, PNM, ICO, PNG. Reprezentácia obrazu zahŕňa aj vedecké dátové formáty ako napr. IEEE dátový formát s pohyblivou rádovou čiarkou, alebo metadátové formáty. Ostatné podporované formáty: JP2, AVI, WMV.

Autori knižnice odporúčajú používať formát TIFF všade keď je to možné, keďže tento formát sa im zdá najkompletnejší a pri práci s ich knižnicou najvhodnejší.

Organizácia knižnice

Ako bolo už v základnej charakterizácii spomenuté, knižnica IM je založená na 4 hlavných konceptoch. Ak si vezmeme spracovanie digitálneho obrazu ako také, od jeho získania zo zariadenia až po vykreslenie, máme 5 základných úloh, viď obr.1.1.

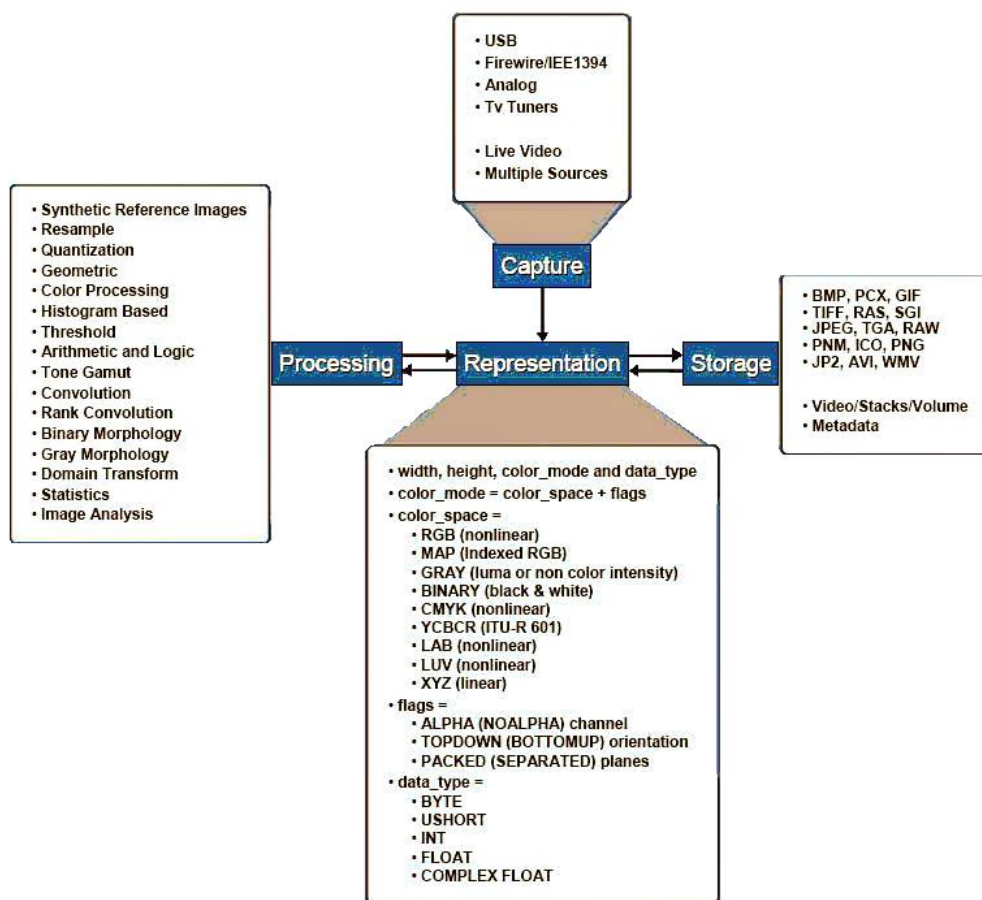


Obr. 1.1: Tok úloh pri spracovaní digitálneho obrazu

IM nepodporuje iba jednu z týchto úloh a tou je vizualizácia obrazu. Je to najmä kvôli tomu, že ide o zložitý problém. Keďže autori sa snažili, aby knižnica IM bola čo najjednoduchšia, zhodli sa na tom, že ide skôr o úlohu pre zložitejšie grafické knižnice ako OpenGL, Windows GDI alebo CD. Pod Digitálnym obrazom IM rozumie jeho reprezentáciu. Popíšeme si bližšie jednotlivé koncepty:

Reprezentácia obrazu popisuje obrazový model a jeho detaily, ak napr. aký systém farieb je použitý, aké dátové typy a ako sú dáta organizované v pamäti. V IM je obraz chápaný ako 2D matica bodov, ktorých počet je definovaný šírkou a výškou obrazu. Animácie a videá sú reprezentované sekvenciou takýchto obrazov. Pre reprezentáciu obrazu bola v IM vytvorená štruktúra `imImage`.

Uloženie obrazu popisuje model formátu súboru a to, ako je obraz



Obz. 1.2: Organizácia knižnice IM a úlohy jej 4 konceptov

získaný a uložený, pričom pod formátom súboru rozumieme organizáciu obrazových dát a ich atribúty. IM model pokladá všetky formáty súborov za ten istý model, vrátane videa a animácií. Ak máme jeden obraz, každý z nich je považovaný za nezávislú snímku a každá takáto snímka má svoje vlastné parametre a množinu atribútov. IM rozoznáva formáty súborov bez toho aby sa pozeral na príponu. Preto pracuje iba z formátmi, ktorých súbory začínajú označením charakteristickým pre tento formát.

Získanie obrazu popisuje prístup k zariadeniu a získanie obrazu z tohto zariadenia. Pod zariadením sa myslí kamera ktorá sníma video a nie prenos

hotových obrázkov z fotoaparátu. Podporované sú rozhrania USB, Firewire (IEEE 1394), a analógové vstupy pre video ako sú napr. TV tunery.

Spracovanie obrazu popisuje operácie spracovania obrazu. Ide o súhrn funkcií s definovanými vstupnými, výstupnými a kontrolnými parametrami. Zvyčajne sú vstupom a výstupom jeden alebo viacero obrazov. Funkcie sú popísané v nasledujúcom odseku.

Funkcie knižnice

Funkcie modulu pre spracovanie obrazu

Vykresľovanie preddefinovaných obrazov - Vykresľovanie tvarov ako kocka, kúžeľ, kruh, guľa, gaussian, sinus, kosinus a pod., Vykresľovanie objektov pomocou zadefinovanej funkcie, Dopĺňanie šumu

Zmena veľkosti obrazu - Zmenšenie, Zväčšenie, Orezanie, Doplnenie okrajov

Geometrické operácie - Rotácia, Zrkadlový obraz, Prevrátenie, Vytvorenie špirály, Rozdelenie obrazu

Kvantizácia obrazu

Operácie pre spracovanie farieb - Rozdelenie HSI, Spojenie HSI, Normalizácia farebných komponentov, Nahradenie farby ...

Operácie s histogramom - Expandovanie a ekvalizácia histogramu

Prahovanie - Rôzne druhy prahovania ako napr. pomocou lokálneho maxima, pomocou hysterézie, diferencií, percentuálne prahovanie, min-max prahovanie ...

Aritmetické operácie - Unárne, Binárne, Priemerovanie, Štandardná odchýlka, Kovariancia...

Logické aritmetické operácie - AND, OR, XOR

Frekvenčné škálovacie operácie

Konvolúcie - Konvolúcia s definovanou maskou, Konvolúcia s rotujúcou maskou, Mediánová konvolúcia, Rôzne druhy konvoúcií s preddefinovanou maskou ako napr. Gaussian, Canny, Sobel, Prewitt, Barlett, Laplacian of Gaussian, prechod nulou ..., K dispozícii sú aj funkcie ktoré ako výsledok

vracajú tieto štandardné masky.

Morfologické operácie - Pre binárne obrazy : erózia, dilatácia, otvorenie, uzavretie, stenčovanie, hranica. Pre farebné obrazy - erózia, dilatácia, otvorenie, uzavretie, tophat, gradient.

Fourierova transformácia - Dopredná, Spätná, priama, Výmena kvadrantov
Houghova transformácia

Špeciálne efekty - Posterizácia, Pixelácia

Štatistické výpočty - Stredná kvadratická odchýlka dvoch obrazov, Výpočítanie rozdielu šumu medzi dvoma obrazmi, Počet rôznych farieb v obraze, Výpočet histogramu, Výpočet histogramových a obrazových štatistík

Obrazová analýza - Nájdenie bielych regiónov v binárnom obraze, Spočítanie plochy týchto regiónov, Funkcie pre nájdenie a prácu s regiónmi a dierami v binárnom obraze

Distribovaný formát

Knižnica je distribuovaná v binárnej forme, v komprimovaných balíkoch určených pre rôzne platformy. Balíky sú pomenované podľa skratky platformy pre ktorú sú určené, poprípade ak pre danú platformy existujú verzie aj pre rôzne kompilátory, tak sa názov balíka skladá so skratky platformy, ako aj so skratky kompilátora (ak by niekomu robilo problémy zistiť ktorá skratka čo znamená, vysvetlenie skratiek je popísané na stránke knižnice, v časti pre sťahovanie súborov). Každý balík po rozbalení obsahuje binárne súbory špeciálne pre daný typ platformy (pri balíku Windows + VC++ je to typ .lib). Balíky bez prípony _bin obsahujú aj adresár s názvom "include", ktorý obsahuje include súbory (väčšinou ide súbory typu .h, teda hlavičkové súbory).

Najnovšia a aktuálna verzia

Počas písania tejto diplomovej práce vyšla ako najnovšia oficiálna verzia verzia 3.2 z 24.novembra 2006.

Na web stránke môžete nájsť pekný prehľad histórie - popis toho, ako sa knižnice vyvíjala od vzniku 1. verzie v roku 1995, ako aj plány do budúcnosti.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Všetky informácie o knižnici sú plne dostupné na jej web stránke (viď [33]). Informácie sú stále aktualizované (boli dokonca zaktualizované aj počas písania tejto práce), čo svedčí o tom že na knižnici sa neustále pracuje a knižnica sa vyvíja. Web stránka je prehľadná a dá sa na nej veľmi rýchlo nájsť všetko čo treba k práci s knižnicou. Ak niekto nemôže byť stále on-line, k dispozícii je aj off-line forma. V sekcii na stiahnutie je aj balík s dokumentáciou v html formáte, ten má v názve príponu _html. Táto dokumentácia sa dá nájsť na stránke aj v PDF a CHM formáte. Okrem manuálov je k dispozícii aj referenčná príručka, ktorá je vygenerovaná automatickým generátorom Doxygen. Zaujímavé je takisto krátke porovnanie knižnice IM s niekoľkými, zameraním podobnými, knižnicami.

Ak by ste mali predsa len nejaké otázky na autorov knižnice, k dispozícii je aj oficiálna podpora a pomoc cez e-mail. Na zdieľanie informácií medzi používateľmi slúži diskusné fórum. Viac informácií a inštrukcií ako aj spomenutý e-mail nájdete na web stránke v sekcii "podpora".

A nakoniec ešte jedna veľmi zaujímavá a užitočná vec - Ku knižnici IM existujú sesterské knižnice IUP a CD vyvinuté tou istou firmou.

IUP je nástroj pre vytváranie grafických používateľských interfejsov. Sám ponúka programovací interfejs v troch základných jazykoch a to C, Lua a LED. Je vysoko prenositeľný . ([36])

CD (Canvas Draw) je platformovo-nezávislá grafická knižnica. Obsahuje funkcie na podporu vektorových aj obrazových aplikácií, pričom plocha pre samotnú vizualizáciu môže byť buď vo forme okna, alebo tiež vo forme obrázku, schránky ("Clipboard"), metasúboru ("Metafile"), PS, atď. ([37])

Tieto tri knižnice sú navzájom kompatibilné a umožňujú vzájomné prepojenie a používanie. Každá z nich slúži na niečo iné (IM - spracovanie obrazu, IUP - interfejs a CD - vizualizácia) a spolu vytvárajú dopĺňajúci sa komplex vhodný na vytvorenie grafickej aplikácie. To bolo pravdepodobne aj cieľom autorov, lebo pomocou týchto troch knižníc bola vytvorená komplexná grafická aplikácia s názvom ImLab ([38]). Táto aplikácia je, ako všetky knižnice

z ktorých pozostáva, voľne k dispozícii. Pre Vás ako používateľov knižnice IM je výhodná najmä v tom, že si bez toho aby ste museli písať nejaký kód, v jednoduchom grafickom interfejsu, môžete vyskúšať funkčnosť a rýchlosť implementácie jednotlivých algoritmov knižnice a ľahko zistiť, čo všetko táto knižnica dokáže.

1.3 Image Magick [27]

Základná charakterizácia

Image Magick je softvér určený na vytváranie, editovanie a tvorbu kompozícií bitmapových obrázkov. Implementuje niektoré základné algoritmy spracovania obrazu nízkeho stupňa. Jeho najsilnejšou stránkou a najväčšou výhodou je podpora až okolo 100 rôznych formátov. Funkcie knižnice sú prístupné buď jednoducho cez príkazový riadok, alebo ich môžete volať priamo z vášho programu vo zvolenom programovacom jazyku. S tým súvisí aj ďalšia dôležitá výhoda knižnice - špeciálne pre túto knižnicu bolo doteraz vytvorených viacero interfejsov pre najznámejšie programovacie jazyky (momentálne ich je okolo 16, viď časť "Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch"). Tým že tieto interfejsy boli vyrobené "na mieru" pre daný programovací jazyk, a nie automatickým generátorom, bolo v každom z nich možné využiť výhody a špecifiká daného programovacieho jazyka.

Táto knižnica nie je veľmi vhodná pre vedeckú prácu alebo veľké projekty, keďže implementuje pomerne málo algoritmov, ktoré majú navyše málo vstupných parametrov na ich ovládanie (častokrát aj žiadny). Avšak hodí sa pri potrebe rýchlych a jednoduchých dynamických grafických úprav aj pre graficky menej zdatných používateľov. Umožňuje jednoduchú prácu s obrázkami ako aj priame funkcie pre niektoré, pri dizajne obrázkov a fotiek často používané, efekty (napr. dopĺňanie rámečkov a iných dekorácií). Možnosť konverzie medzi takým veľkým počtom formátov ocení snáď každý.

Autori

Autorom knižnice je firma ImageMagick Studio LLC. Jej hlavným architektom a človekom, ktorý sa pravdepodobne stará o všetko okolo knižnice, je Cristy (necháva sa nazývať iba takto, jeho celé meno sa nikde nespomína). Na tejto knižnici pracuje už od roku 1987, teda už približne 20 rokov. Okrem neho sa v histórii vývoja knižnice spomínajú Bob Friesenhahn, Glenn Randers-Pehrson, William Radcliffe, Leonard Rosenthol (všetci sa podieľali na vývoji interfejsov pre rôzne programovacie jazyky), Anthony Thyssen (pracovali na vytvorení príkazov pre príkazový riadok, spracoval príklady použitia knižnice, viď [28]).

Licencia

Copyright 1999-2007 ImageMagick Studio LLC

Knižnica je autorsky chránená firmou ImageMagick Studio LLC, neziskovou organizáciou zaoberajúcou sa vývojom voľne dostupného softvéru riešiaceho problémy zobrazovanie. Ide o voľný softvér, ktorého zdrojové kódy, alebo binárnu verziu, je možné používať, kopírovať, modifikovať ako aj distribuovať voľne bez poplatkov. Podmienkou je súhlas s podmienkami licencie (viď [30]) a pridanie licencie ku každej kópii. Licencia je kompatibilná s GPL (viď [29]). Bez súhlasu firmy je zakázané meniť podmienky tejto licencie, ako aj používať meno firmy na reklamu svojho produktu vytvoreného pomocou knižnice ImageMagick.

Použiteľnosť pre rôzne operačné systémy

Knižnica je použiteľná pre všetky známe operačné systémy. Pre nasledujúce OS je k dispozícii binárna verzia knižnice: Fedora Core 6 i386 RPM, Fedora Core 6 x86_64 RPM, Mac OS X (10.4), Solaris Sparc 2.10, FreeBSD 6.1, Cygwin, Windows statická aj dynamická verzia. Pre všetky operačné systémy pre ktoré nie je k dispozícii binárna verzia je potrebná inštalácia knižnice zo zdrojového kódu.

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Knižnica ma k dispozícii širokú paletu interfejsov pre rôzne programovacie jazyky. Na rozdiel od niektorých knižníc ktoré na vytvorenie iných interfejsov používajú program na ich generovanie, Image Magick má interfejsi vyvinuté a šité na mieru. Umožňuje to lepšie využiť výhody a špecifiká daného programovacieho jazyka. Každý interfejs má vlastné samostatné označenie. K dispozícii sú interfejsi k nasledujúcim jazykom (jazyk je uvedený v zátvorke, pred ním je meno konkrétneho interfejsu): G2F (Ada), MagickCore (C), MagickWand (C), ChMagick (Ch), ImageMagickObject (COM+), Magick++ (C++), JMagick (Java), L-Magick (Lisp), nMagick (Neko/haXe), MagickNet (.NET), PascalMagick (Pascal), PerlMagick (Perl), MagickWand for PHP (PHP), PythonMagick(Python), RMagick (Ruby), TclMagick (Tcl/TK). K štandardnému balíku knižnice je dodávaný interfejs MagickWand a MagickCore pre jazyk C, ako aj interfejs Magick++ pre programovací jazyk C++.

Podporované formáty

Podpora rôznych formátov je najsilnejšou stránkou tejto knižnice. Image Magick dokáže čítať, konvertovať a zapisovať okolo 100 rôznych formátov. Takže ak niekto hľadáte program práve na konvertovanie, tak odporúčam túto knižnicu. Pre tento úkon dokonca nemusíte vytvárať žiadny zložitý program, existuje pre to príkaz "convert" pre príkazový riadok. Spomedzi všetkých podporovaných formátov spomenieme aspoň BMP, GIF, JPEG, JPEG-2000, PDF, PhotoCD, PNG, Postscript, SVG, and TIFF, AVI, EPS, DPX, ICO, MPEG, PBM, PNG, TTF a mnoho ďalších.

Kompletný zoznam podporovaných formátov sa dá nájsť na webovej stránke knižnice (viď [31]), alebo po nainštalovaní programu napísaním príkazu

```
identify -list format
```

do príkazového riadku. Pri tomto výpise sa dá aj zistiť či knižnica podporuje daný formát len na čítanie, alebo aj na zápis.

Organizácia knižnice

Aj keď v adresári modulov ("modules") knižnice sú len dva podmoduly, "coders" a "filters", logicky je knižnica rozdelená na štyri základné moduly resp. koncepcie a to: bodová vyrovnávacia pamäť ("pixel cache"), obrazové vlastnosti a profily, obrazové kóдеры, a filtre.

Modul bodovej vyrovnávacej pamäte - Keďže knižnica dokáže spracovávať okolo 100 rôznych formátov, medzi ktorými sú rozdiely v obrazovom priestore (RGB, CMYK, YUV, Lab atď.) , bitovej hĺbke (1, 4, 8, 12, 16, atď.), formáte uloženia (bezznamienkové, znamienkové, float, double, atď.), kompresii (bez kompresie, RLE, Zip, BZip, atď.) i orientácii (zhora-nadol, sprava-dolava, atď.). Bolo preto dôležité nájsť nejaký spoločný spôsob reprezentácie obrazu a prístupu k nemu. Autori sa rozhodli práve pre bodový prístup a implementovali bodovú vyrovnávacia pamäť ("pixel cache") pre poskytovanie štandardného prístupu ku každému bodu, či už vo vnútri obrazového regiónu, alebo v niektorom obraze sekvencie obrazov. Navyše, táto pamäť umožňuje aj prístup k bodom mimo definovaných hraníc obrazu (tieto body sa nazývajú virtuálne).

Bodová vyrovnávacia pamäť je sklad pre body obrazu a môže mať až 5 rôznych kanálov. Prvé štyri kanály slúžia na uloženie hocijakej hodnoty, väčšinou však obsahujú hodnoty pre intenzity zložiek ako červená, zelená, modrá, a alfa (pre RGB model) alebo cyan, magenta, žltá a alfa (CMYK model). Zvyšný jeden kanál je voliteľný. Pre prístup k týmto bodom a prácu s pamäťou existuje viacero funkcií.

Modul obrazových vlastností a profilov- Každý obraz obsahuje s ním asociované meta údaje, ktoré sú reprezentované formou vlastností obrazu (napr. šírka, výška, popis, hĺbka, atď.) a ich profilov (napr. EXIF, IPTC, manažment farieb, 8BIM, XMP informačné profily). Obraz môže mať priradené aj voliteľné vlastnosti ako napr. autor, dátum vytvorenia, poznámka a iné. Image Magick poskytuje štandardné metódy ako zistenie a nastavenie týchto vlastností a profilov.

Modul obrazových kóderov - Obrazový kóder je zodpovedný za registráciu, klasifikáciu, čítanie z, zápis do a zrušenie registrácie nejakého obrazového formátu. Registráciou obrazový kóder upozorní ImageMagick, že daný formát je priprávaný na čítanie a zápis. Zrušením registrácie kóder upozorní ImageMagick, že daný formát už nie je dostupný. Pri klasifikácii sa pozerá na prvých pár bitov obrazu a podľa nich sa určí očakávaný formát obrazu. Pri čítaní z obrazu sa nastaví jeho veľkosť, obrazový priestor a ďalšie dôležité vlastnosti a potom sa načítajú jednotlivé body obrazu do obrazovej pamäte. Pri tomto čítaní obrazu sa vráti nulový obraz a hlásenie o chybe, ak sa vyskytla počas zápisu nejaká chyba, alebo príslušný obraz, poprípade sekvencia obrazov, ak ju daný formát podporuje. Pri zapisovaní sa robí presný opak. Uvoľní sa obrazová pamäť, body z nej sa premenia do požadovanej formy a zapíšu sa do príslušného formátu.

Modul obrazových filtrov - ImageMagick poskytuje pohodlný mechanizmus pre vytváranie Vašich vlastných algoritmov a programov pre spracovanie obrazu. Tieto algoritmy autori nazývajú obrazové filtre a môžu byť volané buď z príkazového riadku voľbou - proces , alebo funkciou z príslušného interfejsu (pri MagickCore pre jazyk C ide o metódu `ExecuteModuleProcess()`).

Funkcie knižnice

Prehľad hlavných funkcií knižnice:

Konverzia formátov - zmena formátu napr. z PNG na JPEG

Obrazové transformácie - zmena veľkosti, rotácia, orezávanie, zrkadlový obraz, škálovanie

Priehľadnosť - časť obrázka sa stáva neviditeľnou

Vykresľovanie - pridávanie čiar, rôznych geometrických útvarov, Bezierových kriviek alebo textu do obrazu

Dekorácie - dopĺňanie okrajov alebo rámečkov do obrazu

Obrazová kalkulačka - aplikovanie matematických výrazov na obraz alebo obrazové kanály

Texty a komentáre - vkladanie popisných alebo umeleckých textov do obrazu

Identifikácia obrazu - popisuje formát a atribúty obrazu

Animácia - vytvorenie GIF animovanej sekvencie zo skupiny obrazov

Kompozícia - prekrytie jedného obrazu cez druhý, napojenie viacerých obrázkov za seba, fotomontáž = vyplnenie plátna obrazovými miniatúrami/zmenšeninami

Základné funkcie spracovania obrazu - rozmazanie, zostrenie, adaptívne prahovanie, pridanie odtieňa do obrazu, nájdenie hrán, konvolúcia pomocou definovanej konvolučnej masky, equalizácia, medián, segmentácia

Podpora veľkých obrazov - čítanie, spracovanie a zápis obrazových súborov veľkosti niekoľko mega- až giga-pixlov.

Distribuovaný formát

Knižnica je distribuovaná v zdrojovom ako aj binárnom formáte. Pri binárnom formáte sú k dispozícii komprimované balíky, pri OS Windows sú tieto balíky vždy samo inštalačné, pri Unixových OS sú samo inštalačné len balíky s príponou rpm (Fedora), ale ostatné balíky vyžadujú len jemnú "pomoc". V zdrojovom formáte sú k dispozícii len dva balíky. Jeden je určené pre Unixové OS a vyžaduje nejaký kompilátor jazyka C. Ten má však ale každý Unixový OS. Druhý typ zdrojového balíka je určený pre OS Windows, ale pre vytvorenie knižnice sa vyžaduje programovacie prostredie Microsoft Visual Studio IDE (aj keď niektorým používateľom sa to vraj podarilo aj v programovacom prostredí Borland C++).

Najnovšia a aktuálna verzia

Najnovšia verzia je datovaná k 19.marcu 2007 a ide o verziu Image Magick 6.3.3-3.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Všetky informácie, z ktorých sme čerpali pri písaní tohoto textu, boli z webovej stránky knižnice (viď [27]). Tieto materiály sú síce aktuálne, avšak samostatný popis knižnice na stránke bol málo obsírnny. Takisto chýbajú informácie

o spôsobe implementácie jednotlivých funkcií. Menej už chýbali informácie o autoroch, ktoré sa s častí dali nájsť po nainštalovaní knižnice. Tieto informácie však určite nie sú pre budúcich programátorov až tak podstatné. Na stránke sú síce odkazy na dve knižné príručky ku knižnici, avšak tieto príručky sa dajú objednať len v papierovej podobe a za finančný poplatok (cca 50\$ a 45\$). Myslím, že keďže ide o voľne dostupné knižnice, mali by tieto papierové manuály existovať aj v počítačovej podobe, a byť voľne dostupné vo formáte, ktorý sa dá čítať aj offline.

Na zdieľanie skúseností používateľov je aj pri tejto knižnici k dispozícii diskusné fórum a mailing list. Odkazy na ne sa dajú nájsť na hlavnej stránke knižnice.

Zaujímavosťou je on-line štúdio, kde je možné konvertovať alebo inak manipulovať s Vami zvoleným obrázkom priamo na webovej stránke (viď [32]). Ďalšia, najmä pre graficky málo znalých používateľov, zaujímavá vec, je zobrazenie výsledku aplikácií implementovaných funkcií postupne na tom istom obrázku.

1.4 ITK [13]

Základná charakterizácia

Insight Toolkit je open-source objektovo-orientovaný softvérový systém pre spracovanie obrazu, segmentáciu² a registráciu³. Jeho hlavným zameraním sú aplikácie v medicínskom prostredí, avšak je vhodný aj pre spracovanie iných dátových typov. Poskytuje dátové reprezentácie pre všeobecné formy obrazu (dimenzionálne) a neštruktúrované siete (meshes). Je podporované aj viaccestné (multi-threaded) paralelné spracovanie. Neposkytuje však funkcie pre vizualizáciu ani grafický interfejs. Tieto úlohy sú ponechané na nástroje,

²Segmentáciou sa nazýva proces identifikácie a klasifikácie dát nájdených v digitálne vzorkovanej reprezentácii daného objektu.

³Registrácia sa nazýva proces zarovnania alebo nájdenia korešpondencií medzi dátami, napr. v medicínskom prostredí CT obraz môže byť zarovnaný s obrazom z MRI s cieľom získať informáciu obsiahnutú v oboch obrazoch.

ktoré sa na to špecializujú, ako napr. VTK, VisPack, 3DViewnix, MetaImage a iné. Takisto poskytuje len minimum funkcií pre prácu so súbormi.

Keďže ITK je open-source projekt, vývojári z celého sveta môžu túto knižnicu nielen používať, ale aj ladiť, opravovať a rozširovať. Vývoj knižnice je založený na princípoch extrémneho programovania, čo znamená, že dizajn, implementácia a testovanie sú vykonávané v rýchлом iteratívnom procese. Jadrom tohoto procesu je testovanie. ITK podporuje rozšírené testovacie prostredie. Kód je testovaný každý deň na rôznych kombináciách hardvéru a operačného systému, a takisto pri rôznych kompilátoroch. Všetky tieto výsledky sú posielané a vyhodnocované v jednom centre, ktoré riadi celý tento proces.

Aj keď je táto knižnica rozsiahla a komplexná, je navrhnutá tak, aby bola pre používateľa čo najjednoduchšia. Stačí pochopiť základy objektovo-orientovaného programovania a metódy implementácie. Knižnica je implementovaná v jazyku C++. Je použiteľná pre viaceré platformy. Služi na to prostredie CMake určené na riadenie procesu kompilácie, pomocou ktorého je možné vytvoriť súbory pre rôzne platformy pre OS Windows alebo Unix. V Unixe CMake vytvára súbory makefile, vo Windowse generuje súbory pre projekty (projects) a pracovné prostredia (workspaces). Takisto existuje nástroj CableSwig na automatické generovanie interfejsov pre interpretované programovacie jazyky Python a Tcl.

Autori

V roku 1999 Americká Národná Organizácia Medicíny Národného inštitútu pre Zdravie udelila trojročný kontrakt na vývoj open-source nástroja pre registráciu a segmentáciu. Projektovým manažérom tohoto projektu sa stal Dr. Terry Yoo.

Na projekte pracovalo a pracuje viacero vývojárov. Ich mená je možné zistiť zobrazením žurnálových súborov v CVS sklade pre zdrojové kódy knižnice. Mená prvých vývojárov, spolu s úlohami na ktorých pracovali, sa dajú nájsť na stránke knižnice (viď [13]).

Licencia

Všetky práva sú vyhradené konzorciom Insight Software Consortium, Copyright ©1999-2003.

Licencia povoľuje neobmedzené používanie, vrátane použitia na komerčné účely. Jedinou výnimkou sú moduly softvéru umiestnené v špeciálne označenom adresári pre patentovaný softvér. Základné pravidlá distribúcie a používania nájdete v nasledujúcom odseku, kompletnú licenciu v angličtine môžete nájsť na stránke knižnice (viď [15]).

Redistribúcia a používanie zdrojovej alebo binárnej formy či už bez alebo s modifikáciou a na súkromné alebo aj komerčné účely sú povolené, avšak pod nasledujúcimi kritériami:

- Pri redistribúcii či už zdrojovej alebo binárnej formy musí byť pripojená alebo zahrnutá licencia ([15])
- Meno konzorcium Insight Software Consortium nesmie byť používané k autorizáciám alebo reklame produktov odvodených z tohto softvéru bez špeciálneho povolenia napísaného firmou Intel.
- Modifikácie zdrojovej verzie musia byť plne označené a nesmú byť skreslené vzhľadom na originálny softvér.

Použitelnosť pre rôzne operačné systémy

Keďže knižnica je distribuovaná v zdrojovom kóde, binárne súbory sa vytvárajú pomocou programu CMake (viď [16]). Tento program vie pracovať s kompilátormi pod nasledujúcimi operačnými systémami: Linux (gcc, g++, icc), HP-UX (cc, aCC), AIX (xlc, xlC), SunOS (cc, CC), IRIX (cc, CC), Max OSX / Darwin (gcc, g++), Cygwin (gcc, g++) a Windows (Visual Studio, BorlandC++, MinGW...).

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Keďže knižnica je napísaná v jazyku C++, je použiteľná v tomto jazyku a to dokonca v rôznych programovacích prostrediach, čo zabezpečuje v pred-

chádzajúce časti spomínaný program CMake. Napr. pod OS Windows má tento program v ponuke nasledujúce generátory : Borland, MSYS, MinGW, NMake, Unix, Visual Studio 6, Visual Studio 7, Visual Studio 7 .NET 2003, Visual Studio 8 2005, Visual Studio 8 2005 Win64, Watcom WMake.

Pre potrebu využitia v iných programovacích jazykoch existuje nástroj CableSwig na automatické generovanie interfejsov pre interpretované programovacie jazyky. Tento nástroj bol vytvorený špeciálne pre knižnicu ITK a zatiaľ sú podporované jazyky Tcl a Python (viď [17]).

Podporované formáty

Zatiaľ sú podporované nasledujúce formáty: BMP, PNG, JPEG, TIFF, DICOM, GIPL, RAW , súbory Analyze, MetaImage, Stimulate, VTK, GE 4, GE 5, GE Adw, SiemensVision.

Avšak knižnica je navrhnutá tak, aby sa dali pridávať triedy pre čítanie a zápis čiastočných súborových formátov. Základná trieda ktorá sa stará o čítanie a zápis obrazov zo súborov je `itk::ImageIOBase`. Všetky triedy pre podporované formáty sú odvodené od tejto triedy. Pre vytvorenie triedy pre nový formát je potrebné vytvoriť triedu odvodenú od tejto základnej triedy a reimplementovať jej virtuálne metódy. Tento dizajn dáva používateľom veľkú flexibilitu pre určenie formátov súborov použiteľných v aplikáciách využívajúcich knižnicu ITK.

Organizácia knižnice

ITK je organizovaná do niekoľkých rôznych modulov. Oficiálna verzia zo stránky alebo z CD má tieto 3 moduly: Insight, InsightDocuments a modul InsightApplications.

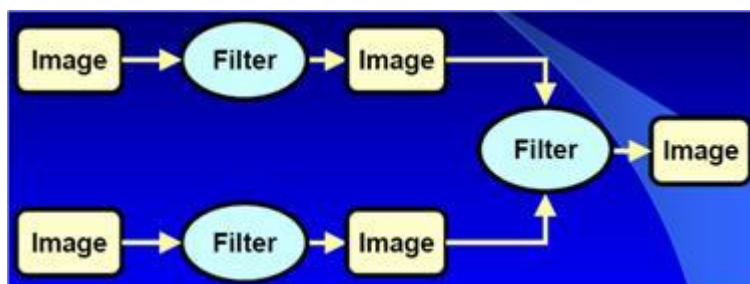
Insight modul obsahuje zdrojový kód, príklady a rôzne príkladové aplikácie. Obsahuje nasledujúce podadresáre:

- Insight/Auxiliary - kód poskytujúci rozhranie pre jednotlivé balíky knižnice

- Insight/Code - základná časť knižnice, obsahuje väčšinu zdrojových kódov
- Insight/Documentation - základná dokumentácia pre začínajúcich používateľov
- Insight/Examples - obsahuje jednoduché a dobre zdokumentované príklady, ktoré majú ilustrovať hlavné koncepty knižnice.
- Insight/Testing - obsahuje krátke programy používajúce sa na testovanie rôznych častí knižnice. Tieto programy sú narozdiel od príkladov veľmi málo zdokumentované.
- Insight/Utilities - softvér ktorý používa knižnica ITK (napr. knižnice png a zlib, alebo Doxygen generátor dokumentácie).
- Insight/Validation - obsahuje prípadové štúdie pre validáciu zdrojového kódu.
- Insight/Wrapping - podpora pre nástroje softvéru CABLE, ktorý je používaný na vytvorenie interfejsu medzi knižnicou napísanou v C++ a rôznymi interpretovanými jazykmi (v čase písania tejto práce boli podporované jazyky Tcl a Python).

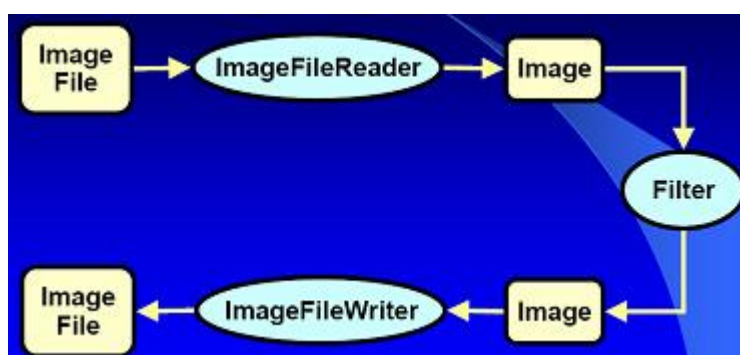
Tento modul je hlavným modulom celej knižnice, k používaniu knižnice nie sú ďalšie dva moduly vôbec potrebné. Skladá sa z niekoľkých podmodulov:

- Hlavné koncepty systému - tento modul zahŕňa generické programovanie, smart pointer pre správu pamäti, továrne pre objekty umožňujúce adaptívne inšancovanie objektov, manažment udalostí
- Numerický modul - využíva knižnicu VNL.
- Modul pre reprezentáciu a prístup k dátam - existujú dve hlavné triedy používané pre reprezentáciu dát: `itk::Image` a `itk::Mesh`.
- Modul pre prúdove spracovanie dát (Data Processing Pipeline) - Jednotlivé objekty sú spracovávané pomocou filtrov, ktoré sú usporiadané za sebou (obr.1.3).



Obr. 1.3: Prúdové spracovanie dát

- Vstupno-výstupné rozhranie - Zaoberá sa načítaním obrazu použitého v prúdovom spracovaní z obrazového súboru a zápisom obrazu do obrazového súboru po jeho použití v prúdovom spracovaní (obr. 1.4)



Obr. 1.4: Schéma vstupno-výstupného rozhrania spolu s prúdovým spracovaním

- Geometrické objekty - geometrické tvary sú reprezentované použitím hierarchie geometrických objektov, ktoré sú prirodzenou dátovou štruktúrou pri porovnávaní výsledkov jednotlivých metód segmentácie a registrácie obrazu. Tieto triedy sú plánované na podporu modelovania anatomických štruktúr.
- Rozhranie pre registráciu - podporuje 4 rôzne typy registrácie - obrazovú registráciu, registrácie pri viacerých rozlíšeniach (multiresolution

registration), PDE registráciu a FEM (finite element method) registráciu.

- FEM rozhranie
- Rozhranie pre "množiny úrovní" (Level Set) - Ide o množinu tried, ktorá slúži na vytváranie filtrov pre riešenie parciálnych diferenciálnych rovníc. Rovnice sú riešené konečnou iteratívnou metódou.
- "Baliace" (Wrapping) rozhranie - zaoberá sa už spomínaným vytváraním interfejsov pre interpretované jazyky ako Tcl a Python.
- Doplnujúci modul - Obsahuje pár doplnujúcich subsystémov.

InsightDocuments modul, ako nám už napovedá jeho názov, obsahuje dokumentáciu, tutoriály a materiály súvisiace s dizajnom a marketingom knižnice ITK. Pozostáva z nasledujúcich adresárov:

- InsightDocuments/CourseWare - materiál týkajúci sa výučby ITK
- InsightDocuments/Developer - dokumenty týkajúce sa vývoja a dizajnu knižnice
- InsightDocuments/Latex - LATEX štýly používané na vytváranie dokumentácie a manuálov ku knižnici
- InsightDocuments/Marketing - marketingové letáky a literatúra so stručným popisom knižnice
- InsightDocuments/Papers - rôzne články, ktoré spomínajú algoritmy, spôsoby reprezentácie dát alebo softvérové nástroje použité knižnicou.
- InsightDocuments/SoftwareGuide - LATEX súbory použité na vytvorenie pdf manuálu knižnice.
- InsightDocuments/Validation - prípadová štúdia validácie knižnice
- InsightDocuments/Web - HTML súbory a iné materiály použité k vytvoreniu web stránky knižnice

InsightApplications modul obsahuje široko kompexné aplikácie využívajúce knižnicu ITK, ale takisto aj iné systémy a knižnice ako VTK, Qt, a FLTK. Je závislý od Insight modulu a teda by mal byť kompilovaný len ak už bol kompilovaný a otestovaný modul Insight. Popis jednotlivých aplikácií sa dá nájsť na web stránke knižnice v odkaze "Applications".

Funkcie knižnice

Keďže táto knižnica všetky svoje funkcie implementuje pomocou filtrov a týchto filtrov obsahuje veľmi veľa, vymenujeme si len niektoré:

Filtre pre intenzitu obrazu - výpočet absolútnej hodnoty, priemeru, adaptácia a škálovanie obrazu, sčítanie dvoch obrazov, logické operácie dvoch obrazov, kompozícia RGB zložiek obrazu, konverzia typu pixlov, mediánový obrazový filter

Morfológia - filtre pre dilatáciu, eróziu, otvorenie, uzavretie, ztenšovanie, tophat a ich rôzne obmeny pre binárne ako aj pre šedotónové obrazy

Zlepšenie kvality obrazu - výpočet histogramu, ekvalizácia histogramu, rozmazanie obrazu, filtre pre Gaussian, pre doprednú aj inverznú Fourierovu transformáciu

Detekcia črt - diskretný Gaussián, Chamferova vzdialenosť, Houghova transformácia, Laplacian, prechod nulou, Sobelov hranový detektor

Gradientné filtre - magnitúdový filter, rekurzívny Gaussianov filter, rekurzívny Laplaceov filter, Hessian

Segmentácia obrazu - založená na intenzite (filtre pre klasifikáciu bodov, segmentácia pomocou povodí), na regiónoch (spájanie neostrých regiónov, narastanie regiónov, Markovove náhodné polia), na modeloch obrazu (modely definované pomocou mriežky, modely definované pomocou úrovňových množín), hybridná segmentácia

Filtre pre obrazy definované pomocou mriežky - transformácia mriežky, deformácia mriežky, balónový filter

Geometrické transformácie - zmenšenie, zväčšenie, zrkadlový obraz, preklopenie, orezanie, zmena vlastností, spojenie, deformácia

Obrazové pyramídy

Registrácia - stabilné registračné metódy, afinné registračné metódy, deformačné registračné metódy, metódy zamerané na model obrazu (množina bodov vs. obraz)

Distribuuovaný formát

Knižnica je distribuovaná v komprimovanom balíku formátu zip alebo tar.gz. Tento balík obsahuje súbory knižnice v zdrojovom formáte, rôzne testovacie súbory, súbory pre program CMake a rôzne dokumentácie potrebné pre prácu s knižnicou.

Najnovšia a aktuálna verzia

Aktuálne stiahnuteľná verzia je InsightToolkit-3.0.1. Táto verzia je otestovaná a stabilná, nemusí však obsahovať najnovšie výhody a výsledky. Je možné stiahnuť si aj najnovšie vývojarske verzie cez CVS sklad zdrojových kódov, ktoré síce obsahujú posledné zmeny, avšak môžu obsahovať komponenty ktoré sú ešte v procese vývoja a môžu byť nestabilné.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Všetky informácie o knižnici sú dostupné buď na jej webstránke (viď [13]) alebo na odkazoch ktoré sú na tejto stránke uvedené. Tieto informácie sú aktuálne. Knižnicu je možné stiahnuť až po vyplnení krátkeho dotazníka, ktorý Vám však nezaberie veľa času.

Čo sa dokumentácie týka, v sekcii "Dokumentácia" sú odkazy na rôzne manuály a tutoriály, ako aj knihy súvisiace s medicínskym spracovaním obrazu a takisto aj odkaz na Wiki stránky. Ďalšia dokumentácia je dostupná po nainštalovaní knižnice v adresári "Documentation", kde sú hlavne informácie pre potencionálnych vývojárov (ako začať a štýly kódu). Okrem dokumentácie sú v sekcii "Data" aj rôzne linky na stiahnutie dát, vhodných pre testovanie a plné využitie funkcií knižnice. Ide najmä o rôzne medicínske dáta.

K dispozícii sú aj mailing listy určené pre komunikáciu a vymieňanie informácií o projektoch. Momentálne sú k dispozícii dva takéto mailing listy,

jeden pre používateľov knižnice a jeden pre vývojárov.

1.5 Matrox Imaging Library [39], [40]

Základná charakterizácia

Matrox Imaging Library (MIL) je knižnica vysokého stupňa s rozsiahlou množinou funkcií pre získavanie obrazu, jeho následné spracovanie a takisto archiváciu.

Bola navrhnutá s ohľadom na jej možný vývoj a jej rastúcu výkonnosť. Plne využíva MMX/SSE/SSE2 technológiu a procesor firmy Matrox. Používateľom ponúka štandardný interfejs v jazyku C, čím sú aplikácie ľahko prenositeľné na nové hardvérové platformy. Obsahuje aj nástroj pre konfiguráciu kamery Matrox Intellicam. Takisto zahŕňa hotové interaktívne programy pre spracovanie vstupno-výstupných súborov, nastavovanie parametrov funkcií a spracovávanie výsledkov, ktoré uľahčujú vývoj aplikácii. Aj keď je táto knižnica spoplatnená, možnosť zakúpenia licencií je dostatočne flexibilná a obsahuje v sebe jednoročnú podporu pre údržbu. Zadarmo je k dispozícii aj 30 dňová verzia, avšak je potrebné si ju objednať a následne zaplatiť za jej dodanie poštou. Keďže sídlo firmy je v Anglicku, vzhľadom na cenu poštovného nebude ani táto verzia predsa len až tak zadarmo.

Pre umožnenie ľahkého a rýchleho vývoja aplikácií pod operačným systémom Windows, sa knižnica MIL dodáva v balíku s nástrojom ActiveMIL4. ActiveMIL4 je zbierka ovládacích prvkov ActiveX pre riadenie získavania obrazu, jeho spracovanie, analýzu, zobrazenie a archiváciu. Umožňuje rýchlo a ľahko spojiť obrazovú aplikáciu s vlastným, profesionálne vyzerajúcim používateľským interfejsom pre OS Windows. Vývoj aplikácií pozostáva z umiestňovania nástrojov spôsobom "potiahni a pusť", konfigurácia a rôzne nastavovanie prebieha čo najviac "klikacím" spôsobom. Cieľom je podstatne znížiť potrebu programovania. Tým sa úsilie programátorov môže namiesto implementovania užívateľského interfejsu viac sústrediť na samotné úlohy súvisiace so spracovaním obrazu.

ActiveMIL aplikácie boli vyvinuté použitím programovacích prostredí Micro-

soft Visual Basic .NET a Visual C++ .NET. MIL aplikácie pre OS Windows 2000/XP boli vyvinuté použitím Microsoft Visual C++ 6.0 a Visual C++ .NET, a pre Linux použitím kompilátora GCC(GNU Compiler Collection).

Autori

Autorom knižnice je firma Matrox Electronic Systems Ltd. Mená konkrétnych ľudí, ktorí pracovali na vývoji tejto knižnice, sme nenašli spomenuté ani na stránke, ani v materiáloch, ktoré sú na tejto stránky dostupné.

Licencia

©Copyright Matrox Electronic Systems Ltd., 2003.

Všetky práva sú vyhradené. Spoločnosť nenesie zodpovednosť za škody alebo náklady, stratu zisku alebo stratu dobrého mena, súvisiace s používaním produktu, alebo neschopnosťou používať tento produkt. Matrox Electronic Systems Ltd. si vyhradzuje práva urobiť zmeny v špecifikácii bez upozornenia. Ani firma ani jej dodávatelia nenesú zodpovednosť za používanie knižnice, ako ani za porušenie patentu alebo iných práv tretej strany vyplývajúcich z jej používania. Presné znenie licencie pre softvér firmy Matrox viď [40].

Knižnica nie je voľne dostupná. Je možné si zakúpiť jej rôzne balíky, ktoré môžu byť chránené rôznymi spôsobmi. K dispozícii sú tri základné typy licencií. Prechodná licencia trvá 30 dní, po ich uplynutí a nedodaní trvalej licencie, sa knižnica zablokuje a nebude možné s ňou pracovať. Pre spúšťanie programov knižnice je k dispozícii runtime licencia. Pre vývojárov je k dispozícii vývojárska licencia. Tieto licencie môžu byť zabezpečené rôznymi softvérovými alebo hardvérovými kľúčmi. Pre lepšie pochopenie mechanizmu týchto kľúčov a licencií viď [41].

Použitelnosť pre rôzne operačné systémy

Knižnice je použiteľná pre nasledujúce operačné systémy: Microsoft Windows 2000, Windows XP, Windows CE .NET a Linux.

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Podľa dostupných informácií je knižnica použiteľná len v jazyku C++.

Podpora rôznych kompilátorov: Dodávané MIL CD obsahuje MIL knižnice, ktoré podporujú kompilátor Microsoft Visual C++ 6.0 (servis pack 5) používaný pod operačným systémom Windows 2000/XP. Toto CD takisto obsahuje ActiveMIL ActiveX kontrolu pre Visual Basic 6.0 (service pack 5) a Microsoft Visual C++ 6.0 (service pack 5) RAD nástroje.

Podporované formáty

Knižnica podporuje nasledujúce formáty: TIFF, BMP, JPG (JPEG), JP2 (JPEG2000), AVI a MJPEG.

Organizácia knižnice

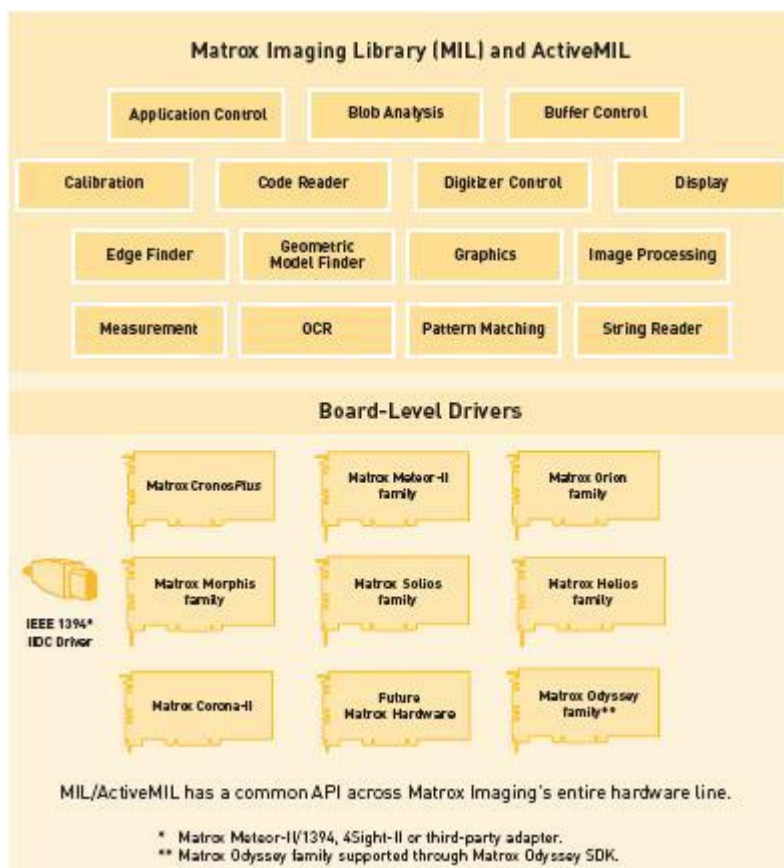
Knižnica MIL spolu s doplnkom ActiveMIL pozostáva z viacerých modulov, ktoré môžete vidieť na obrázku 1.5. Niektoré z nich si trochu bližšie popíšeme:

Modul spracovania obrazu - ide o rozsiahlu množinu obrazových funkcií napr. funkcie spracúvajúce obraz bod po bode, štatistické operácie, filtrovanie obrazu, morfológické operácie, rôzne geometrické transformácie a FFT (rýchla Fourierova transformácia).

Modul kompresie a dekompresie obrazu - Komprimuje a dekomprimuje monochromatické ale aj farebné obrázky. Používajú sa pritom štandardy JPEG a JPEG2000.

Modul vymeriavania (Measurement) - Špecifikuje alebo automaticky vymedzuje referenčné značky. Viacnásobné referenčné značky sa nachádzajú použitím volaní jednotlivých funkcií. Taktiež tento modul dokáže vykonávať presné merania medzi dvoma alebo viacerými značkami.

Modul analýzy farebných bodov (Blob Analysis) - Analyzuje fa-



Obr. 1.5: Architektúra knižnice MIL, zdroj [40]

rebné body a z nich vyvodzuje informácie o navzájom spojených komponentoch v obraze.

Modul hľadania hrán (Edge Finder) - silný nástroj pre extrakciu hrán, použiteľný napr. pri hľadaní chýb a závad, rozpoznávaní tvaru ako aj analýze obrazu.

Modul hľadania geometrického modelu - použitie geometrických črt (kontúr) pre hľadania riešenia rôznych zaujímavých problémov ako napr. riadenie robota alebo zarovnanie CMP vrstiev.

Modul porovnávania obrazcov - Používanie normalizovanej šedo-tónovej korelácie pre riešenie problémov zarovnania, vymeriavania a kontrolných aplikácií. Algoritmy dokážu pracovať aj so znehodnotenými a zašumenými obrázkami pomocou série inteligentných vyhľadávacích algoritmov s maximálnou rýchlosťou.

Modul pre čítanie 1D a 2D znakov - Dokáže čítať ako aj zapisovať najčastejšie používané 1D a 2D znaky a symboly.

Modul kalibrácie - Vyrovnáva obrázky, pozície a/alebo mieri pre nie ideálne priestorové reprezentácie poľa kamerového pohľadu a/alebo objektov v obraze, používajúc metódy lineárnej interpolácie.

Modul čítania reťazcov - Dômyselné rozpoznávanie znakov pomocou črt, určené pre náročné aplikácie ako napr. automatické rozpoznávanie štátnej poznávacej značky (ANPR).

Modul kontroly aplikácií - Poskytuje prostredie pre kontrolu funkcií ako napr. kontrola chýb, sledovanie funkcií a detekciu omeškania, ktoré zjednodušujú programovanie a ladenie programu.

OCR modul - modul pre optické rozpoznávanie znakov je ideálny pre čítanie a overovanie mechanicky generovaných znakov ako napr. sériové čísla. Modul je schopný čítať jednopriestorové ako aj proporčné fonty. Takisto je možné tento modul použiť pre čítanie vlastných predefinovaných fontov, ktoré potom dokáže aj rozoznávať.

Grafický modul - Obsahuje množinu grafických primitívov používaných na vytvorenie obrazových komentárov.

Funkcie knižnice

Funkcie v module spracovania obrazu:

Základné geometrické transformácie - Zmena veľkosti, Posun, Rotácia, Prevrátenie, Deformácia, Polárne transformácie

Obrazová aritmetika - sčítanie, odčítanie, násobenie, delenie, AND, NAND, OR, XOR, NOR, alebo XNOR dvoch obrázkov alebo obrázku a konštanty; Vytvorenie negácie, NOT, alebo absolútna hodnota obrazu; Nahradenie konštantou; Mapovanie obrazu

Obrazová štatistika - Generovanie histogramu, Rôzne štatistické informácie týkajúce sa hodnôt pixlov (maximálna hodnota, maximálna absolútna hodnota, stredná hodnota, minimálna hodnota, minimálna absolútna hodnota, počet pixlov, ktoré spĺňajú zadanú podmienku, hodnota štandardnej odchýlky, suma všetkých hodnôt, suma absolútnych hodnôt, suma druhých mocnín hodnôt), Nájdenie extrémov, Projekcia obrazu na x-ovú alebo y-ovú os, Vypočítanie rozdielu dvoch obrazov, Alokovanie výsledkov niektorej z predchádzajúcich operácií

Morfologické operácie - Erózia a dilatácia pre binárne aj šedotónové obrazy, ztenšovanie, zosilňovanie, Otvorenie a uzavretie a iné

Vyhladzovanie - Nízko priepustné priestorové lineárne filtre, Geometrické lineárne filtre, Klasifikačné filtre

Prahovanie - Binarizácia, Potlačenie zobrazenia

Ekvalizácia histogramu

Zvýraznenie a detekcia hrán - Zvýraznenie hrán, Detekcia hrán (horizontálnych a/alebo vertikálnych), Detekcia hrán pomocou Laplaciánu, Detekcia hrán metódou gradientov

Transformácia na základe povodí - Použitie metódy povodí na oddelenie dvoch dotýkajúcich sa objektov, Použitie metódy povodí na oddelenie objektov od ich pozadia, Vypočítanie minimálnej odchýlky medzi dvoma extrémami

Transformácie vzdialenosti - City Block transformácia, Chessboard transformácia, Chamferova 3-4 transformácia

Deformácie - Deformácie pomocou polynómov prvého stupňa, Deformácie

pomocou interpolácií metódami najbližšieho suseda, bilínarnej alebo bikubickej interpolácie

Zmena súradníc - Zmena z polárnych na pravouhlé súradnice a naopak

Popisovanie - Identifikácia a rozlišovanie farebných bodov, Nájdenie hranice farebných bodov, Spočítanie farebných oblastí, Eliminácia niektorých farebných oblastí

Mapovanie spojitosti - Vytvorenie mapy spojitosti

Rýchla Fourierova transformácia - Vypočítanie magnitúdy a fázy, Filtrovanie obrazu pomocou FFT a frekvencie šumu

Diskrétna kosínusová transformácia

Modul kalibrácie

Kalibrácia kamery

Modul analýzy farebných bodov (Blob Analysis)

Analýza farebných bodov a oblastí - Identifikácia farebných oblastí, Identifikovanie tvaru, Výpočet obrazových momentov, Extrakcia črt, Nájdenie súradníc farebného objektu

Modul porovnávania obrazcov

Porovnávanie so vzorom - Definovanie modelu, Definovanie parametrov prehľadávania a kritérií pre zhodu, Algoritmy pre hľadanie zhody (pomocou normalizovanej korelácie, hierarchické prehľadávanie, využitie heuristik pre hľadanie)

Modul hľadania geometrického modelu

Hľadanie geometrického modelu - Definovanie modelu a jeho parametrov, Maskovanie modelu, Vyhľadávanie cieľov, Kalibrácia

Modul hľadania hrán (Edge Finder)

Hľadanie hrán - Extrakcia hrán - rôzne prístupy

Distribuovaný formát

Knižnica je distribuovaná na CD, v samo-inštalačnom binárnom tvare. Avšak niektoré jej časti alebo aktualizácie a doplnujúce balíky sa dajú stiahnuť aj z web stránky knižnice. K týmto balíkom sú však potrebné registračné kľúče. 30-dňová testovacia verzia, ktorá je zadarmo, je dostupná len na CD. To dá objednať na stránke knižnice vyplnením krátkeho dotazníka.

Najnovšia a aktuálna verzia

V čase písania tejto diplomovej práce bola aktuálna verzia MIL 8.0 / MIL-Lite 8.0.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Priamo na stránke knižnice je dostupný len základný popis knižnice, ostatné informácie sú dostupné v PDF súboroch. Odkazy na tieto súbory sú priamo na tejto stránke. Veľmi užitočný je krátky propagačný leták knižnice. Dajú sa v ňom nájsť všetky potrebné základné informácie, viď [40]. Ďalším materiálom, dôležitým najmä pri práci s knižnicou je užívateľská príručka, viď [42]. Okrem týchto dvoch materiálov sú k dispozícii nasledujúce PDF súbory: Programy pre opravu softvéru, Výsledky porovnávacích testov, Zoznam a popis príkazov knižnice, Príklady použitia knižnice, Vysvetlenie mechanizmu licencií knižnice, Použitie knižnice MIL na čítanie 2D znakov na letenkách, Použitie modulu pre čítanie reťazcov pri automatickom rozpoznávaní čísel, Zachytenie videa cez IEEE 1394 použitím knižnice MIL.

1.6 Microsoft Vison SDK [4]

Základná charakterizácia

Microsoft Vision Software Development Kit je knižnica pre tvorbu programov na vykonávanie obrazových transformácií a analýzy na počítačoch používajúcich operačný systém Microsoft Windows. Ide o nízkoúrovňovú knižnicu určenú na vykonávanie programovateľných aplikácií, ktorá nie je určená ako

vysoko úrovňová knižnica pre koncových používateľov na experimentovanie s obrazovými operáciami. Zahŕňa triedy a funkcie pre pracovanie s obrazom (vytvorenie objektu, načítanie objektu, zobrazenie objektu), ale nezahŕňa funkcie pre spracovanie obrazu. Je to najlepšie myslený nízkoúrovňový "substrát" pre vývoj programov alebo systémov počítačového videnia a/alebo spracovania obrazu, poskytujúc im dobrý interfejs pre operačný systém, avšak bez poskytnutia vysokoúrovňových operátorov pre spracovanie obrazu. Knižnica sa teda väčšinou používa na predprípravu obrazov pre pracovanie s inými knižnicami, stretli sme sa najmä s kombináciami MVSDK + OpenCV a MVSDK + IPPL.

V porovnaní s inými typickými balíkmi pre spracovanie obrazu má 4 kľúčové výhody a nevýhody:

- + Vhodná pre rýchle, real-time spracovanie obrazu.
- + Príjemný interfejs pre Windows, ako aj zdieľaná obrazová pamäť medzi procesmi a GDI interfejsom.
- + Používateľmi definovateľné typy pixelov (veľmi dôležité pre výskum).
- + Strojovo nezávislý interfejs pre získavanie obrazu. Môže byť použitý pre vytvorenie binárnych súborov, ktoré môžu byť transportované alebo spustené na prístrojoch s podporou digitalizátora alebo kamery. Môže byť ľahko rozšírený o podporu nového typu digitalizátora alebo kamery.
- Vision SDK predpokladá že obraz je celý stále uložený v RAM pamäti. Neexistuje všeobecná podpora pre veľmi veľké obrazové súbory ktoré nemôžu byť prenesené do RAM pamäte ako celok. (Je to kvôli tomu že najväčšia dôležitosť sa kládla na rýchlosť a jednoduchosť programovania). Malo by byť možné použiť memory-mapped BMP a RAW súbory do veľkosti 2GB (1GB pri Windows 9x), ale aktuálna verzia k tomu nezahŕňa žiadne pomocné funkcie.
- Vision SDK nezahŕňa operátory spracovania obrazu.

- Vision SDK neobsahuje podporu pre konvertovanie medzi svojim obrazovým formátom a formátom používaným knižnicou Intel Image Processing Library.

Autori

Microsoft Vision SDK bola vyvinutá skupinou Vision Technology Research Group v Microsoft Research na podporu výskumníkov a vývojárov pokročilých aplikácií, zahrňujúcich real-time aplikácie pre spracovanie obrazu.

Licencia

Microsoft Vision Software Development Kit, Beta Verzia 1.2 Na knižnicu sa vzťahuje všeobecná licencia Microsoft softvéru pre koncových užívateľov (End-User License Agreement for Microsoft Pre-Release Software "EULA")⁴. EULA garantuje limitovanú, odvolateľnú, neexkluzívnu, neprenositelnú, bezplatnú licenciu s právami pre inštaláciu na nelimitovaný počet počítačov s operačným systémom firmy Microsoft. Všetky kópie tejto knižnice patria firme Microsoft.

Použitelnosť pre rôzne operačné systémy

Ako už napovedá názov tejto knižnice, knižnica bola vyvinutá firmou Microsoft, a teda je určená len pre OS Windows. Konkrétne posledná verzia knižnice sa dala skompilovať hlavne pod Windows NT. Pod Windows 95 a Windows 98 môže spôsobovať problémy malé množstvo pamäti.

Použitelnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Vision SDK je C++ knižnica určená pre použitie s Microsoft Visual C++ version 6.0 alebo vyšším.

⁴Viac informácií k tejto zmluve môžete nájsť na CD prílohe

Podporované formáty

The Vision SDK zahŕňa kód pre čítanie a zapisovanie BMP súborov a AVI súborov obsahujúcich sekvencie obrazov, ako aj čítanie GIF, JPG a PNG súborov. Ak je potrebné čítanie alebo zapisovanie z/do iného formátu, je možné vytvoriť DLL ktoré používa knižnicu Intels IJL library na čítanie a zapisovanie JPEG obrazov. Takisto je možné vytvoriť DLL na podporu dopĺňujúcich formátov použijúc knižnicu ImageMagick, ktorá umožňuje konverziu medzi viacerými obrazovými formátmi.

Organizácia knižnice

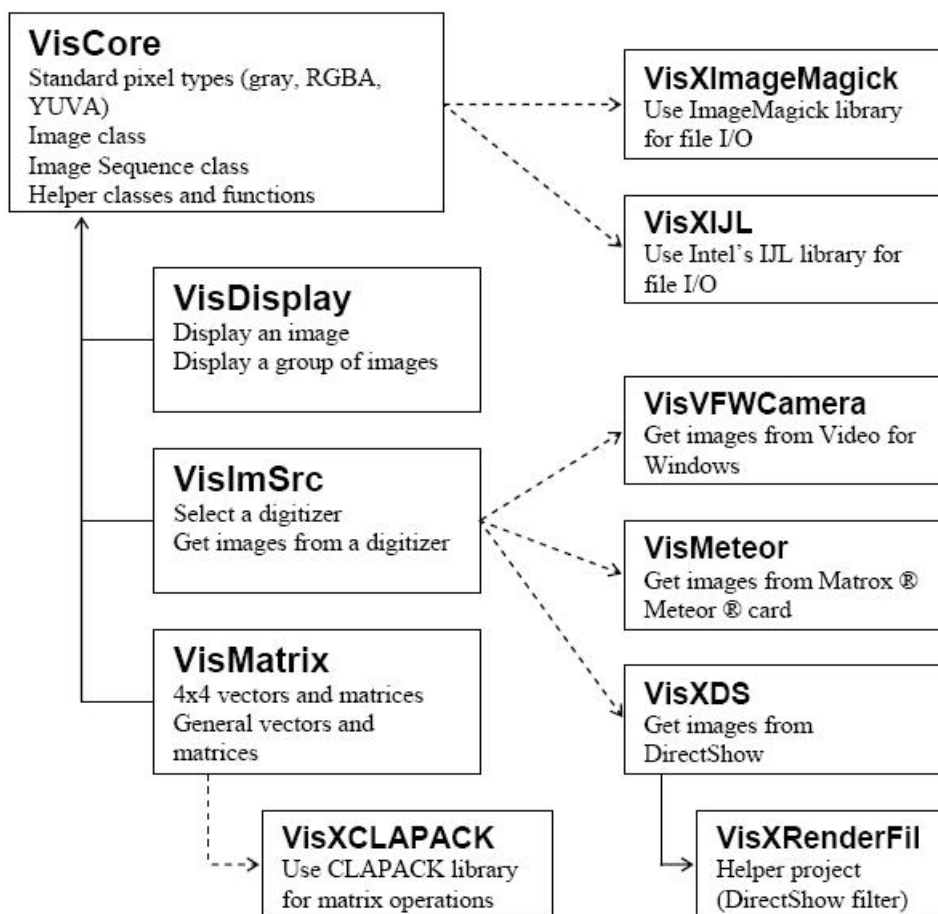
The Vision SDK je organizovaná do viacerých podprojektov prislúchajúcich k hlavným funkciám knižnice:

Wizard projekt je malý projekt, ktorý kopíruje Vision AppWizard súbory do Microsoft Visual Studio templates adresára, čo má za následok doplnenie Vision AppWizard do záložky projektov v podmenu File/New v Microsoft Visual štúdiu. Potom je Vision AppWizard používaný na vytvorenie nových projektov, ktoré už v sebe obsahujú zahrnuté funkcie knižnice Vision SDK.

VisLocalInfo projekt je takisto malý projekt používaný k vytvoreniu VisLocalInfo.h hlavičkového súboru, ktorý definuje konštanty používané na zisťovanie rôznych nastavení ako napr.: či je použitá interná alebo externá verzia Vision SDK, či sa používa Windows 9x alebo Windows NT (alebo Windows 2000), a či je nainštalovaná knižnica Intel Image Processing Library. Tieto konštanty sú použité na určenie hlavičkových súborov, ktoré majú byť zahrnuté pri vytváraní projektu, ktorý používa Microsoft Vision SDK.

VisCore projekt definuje základné triedy CVisImage a CVisSequence, ktoré sú použité na prácu s jednoduchými obrazmi a sekvenciami obrazov. Tiež definuje triedy pre výnimočnú a referenčne-počítanú pamäť, ktorá je použitá v iných projektoch.

VisImSrc projekt definuje triedu `CVisImageSource`, funkciu `VisFindImageSource`, a interfejs používaný k získavaniu obrazov z digitalizérov. `VisImSrc` projekt nekomunikuje s digitalizérom priamo. Aby bolo možné požiť `VisImSrc` projekt na získanie obrázkov z digitalizéra, sú k tomu potrebné špecializované DLL a nastavenia registrov, popisujúce tieto DLL.



Obr. 1.6: Vzťahy medzi základnými modulmi knižnice Microsoft Vison SDK

VisDisplay projekt definuje triedy `CVisPane` a `CVisPaneArray`, ktoré sú použité na vytvorenie okna zobrazujúceho interakciu medzi samostatným

obrazom a skupinou obrazov. Tento projekt bol navrhnutý pre používateľov, ktorí nie sú veľmi zbehlí vo Windows programovaní a pre používateľov ktorý potrebujú zobrazíť obraz počas debugovania ich MFC (Microsoft Foundation Classes) programov. Triedy a funkcie vo VisDisplay projekte umožňujú obrazy zobrazovať ľahšie. Používatelia, ktorí sú skúsení vo Windows programovaní môžu použiť Vision AppWizard k vytvoreniu MFC projektu ktorý zobrazuje obrazy v zobrazovacích triedach. Keďže VisDisplay projekt používa k vytvoreniu okna Microsoft Foundation triedy (MFC), mal by byť používaný len v tých MFC aplikáciách, ktoré používajú globálne objekty zdedené od triedy CWinApp.

VisMatrix projekt poskytuje triedy pre vektory a matice. Triedy CVisDVector a CVisDMatrix pracujú s vektormi a maticami všetkých dimenzií. Triedy CVisVector4, CVisTransform4x4, a CVisTransformChain sú špecializované na prácu s troj-dimenzionálnymi vektormi a maticami používajúcimi homogénne súradnice.

VisMeteor, VisVFWCamera, and VisXDS projekty môžu byť použité na vytvorenie DLL súborov, ktoré dovoľujú VisImSrc projektu načítavať obrazy z Matrox Meteor (alebo Meteor II) digitalizérov; digitalizérov, ovládače ktorých podporujú Microsoft Video For Windows (VFW) interfejs, alebo z digitalizérov, ktorých ovládače podporujú Microsoft DirectShow interfejs. Každý z týchto projektov zahŕňa REG súbory obsahujúce vstupy registrov, ktoré popisujú ich DLL. Preto ak používateľ nemá digitalizér od firmy Matrox, nepotrebuje (a nebude môcť) vytvoriť VisMeteor projekt. K vytvoreniu VisXDS projektu, používateľ potrebuje mať nainštalované knižnice DirectX a DirectX Media SDK (ktoré sú obsiahnuté v knižnici Platform SDK).

VisXImageMagick projekt je používaný k vytvoreniu DLL, ktoré vytvára interfejs pre knižnicu ImageMagick. Súbor I/O kódu v VisCore projekte bude volaný touto DLL na čítanie alebo zápis súborov používajúc knižnicu ImageMagick.

VisXIJL projekt je používaný k vytvoreniu DLL ktoré vytvára interfejs pre knižnicu Intel's IJL library. Súbor I/O kódu v VisCore projekte bude volaný týmto DLL na čítanie alebo zápis JPEG súborov, použijúc knižnicu IJL.

Funkcie knižnice

V jedinom manuáli, ktorý sme k tejto knižnici našli, nie je popísaný zoznam funkcií pre spracovanie obrazu, ktoré táto knižnica implementuje. V tomto manuály je však spomenuté že funkčnosť tejto knižnice sa dá doplniť prepojením s inými knižnicami. Pre spracovanie obrazu sú to dve knižnice: Image Magick, ktorá je spomínaná v tejto diplomovej práci a Intels Image Processing Library (IPL). Funkčnosť tejto knižnice je však už momentálne zahrnutá v knižnici OpenCV, ktorú taktiež spomíname v tejto diplomovej práci.

Distribuovaný formát

Knižnica je distribuovaná v zdrojovom kóde. Avšak tento zdrojový kód nie je priamo prístupný, ale je zbalený vo viacerých dátových balíkoch typu CAB, ktoré by sa zrejme mali rozbaľiť počas inštalácie.

Najnovšia a aktuálna verzia

Najnovšia verzia s ktorou sme sa stretli, bola Microsoft Vision SDK Release 1.2 z mája 2000. Avšak keďže sa už na oficiálnych stránkach Microsoft nedá nikde stiahnuť a je určená pre OS Windows 2000 a nižšie, nedá sa o tejto verzii uvažovať ako o aktuálnej.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Čo sa týka aktuálnosti informácií, všetky linky, ktoré smerujú na stránky Microsoft Reserach, a ktoré sa týkajú knižnice, sú už neaktuálne. Na hlavnej stránke výskumu pre videnie nie je uvedený žiadny oficiálny kontakt pre otázky.

Z iných zdrojov (na stránkach univerzít a pod.) sa dá nájsť užívateľská príručka (viď [3]) a plná verzia Microsoft Vision SDK Release 1.2 z mája 2000 (viď [5]). Avšak e-mail, ktorý je v tomto manuáli uvedený ako e-mail pre rôzne otázky o knižnici, už nefunguje.

1.7 OpenCV [6], [11]

Základná charakterizácia

Open Source Computer Vision Library je voľne dostupná knižnica vysokého stupňa pre spracovanie obrazu a počítačové videnie. Je vyvíjaná firmou Intel od roku 1999, je napísaná v jazyku C/C++ a obsahuje okolo 500 funkcií. Z toho dôvodu je značne používaná v mnohých spoločnostiach ako aj výskumných centrách.([8])

OpenCV implementuje široký výber nástrojov na interpretáciu obrazu. Napriek niektorým primitívom ako sú binarizácia, filtrovanie, pyramídy, je OpenCV predovšetkým knižnica vysokého stupňa implementujúca algoritmy pre kalibračné techniky (Camera Calibration), detekciu črty (Feature) a sledovanie (Optical Flow), analýzu tvaru (Geometry, Contour Processing), analýzu pohybu (Motion Templates, Estimators), 3D rekonštrukciu (View Morphing), segmentáciu a rozpoznávanie objektu (Histogram, Embedded Hidden Markov Models, Eigen Objects).([7])

Pre operačný systém Windows je knižnica stiahnuteľná v balíku spolu s knižnicou Intel Image Processing Library. Ide o knižnicu nižšieho stupňa implementujúcu operácie ako napr. vytváranie a prístup k obrazu, aritmetické a logické operácie, filtrovanie obrazu, lineárne obrazové transformácie, obrazová morfológia, histogram, prahovanie, geometrické transformácie, momenty, konverzia medzi obrazovými priestormi.

Autori

Knižnica bola a je vyvíjaná firmou Intel. Doteraz na nej pracovalo viacero ľudí, ich mená môžete nájsť na web stránke knižnice (viď [9]). Na vývoji a hlavne smerovaní knižnice sa firma Intel radila s komisiou, ktorej členmi sú

pracovníci spolupracujúcich firiem a laboratórií, ako aj profesori významných univerzít. Ich mená môžete takisto nájsť na web stránke, viď [10].

Licencia

Všetky práva sú vyhradené firmou Intel Corporation, Copyright ©2000.

Redistribúcia a používanie zdrojovej alebo binárnej formy či už bez alebo s modifikáciou a na súkromné alebo aj komerčné účely, sú povolené, avšak pod nasledujúcimi kritériami:

- Pri redistribúcii či už zdrojovej alebo binárnej formy musí byť pripojená alebo zahrnutá licencia ([11])
- Meno firmy Intel Corporation nesmie byť používané k autorizácií alebo reklame produktov odvodených z tohto softvéru bez špeciálneho povolenia napísaného firmou Intel.

Použiteľnosť pre rôzne operačné systémy

Knižnice je použiteľná vo väčšine operačných systémov: Windows 95/98/NT/2000/XP, Linux, Unixové OS, a MacOSX.

Použiteľnosť v rôznych programovacích jazykoch a prostrediach

Knižnica je napísaná v programovacom jazyku C/C++ a je použiteľná len v týchto programovacích jazykoch. Avšak funkcie naprogramované v jazyku C++ (využívajúce napr. objekty), nebudú fungovať pri použití jazyka C.

Na OpenCV Wiki stránkach (viď [12]), čo je vlastne editovateľná dokumentácia pre OpenCV knižnicu, je popísané použitie knižnice pre Visual C++.net, Eclipse IDE, C++ Builder.

Podporované formáty

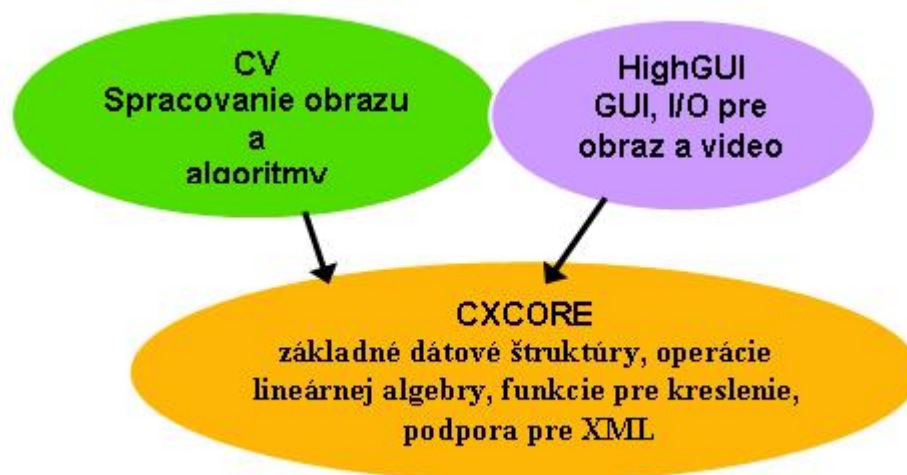
Doposiaľ sú podporované nasledujúce formáty: Bit mapy - BMP, DIB; JPEG súbory - JPEG, JPG, JPE; Prenosná sieťová grafika (Portable Network Graphics) - PNG; Prenosné obrazové formáty (Portable image format) -

PBM, PGM, PPM; Sun rastre - SR, RAS; TIFF súbory - TIFF, TIF; OpenEXR HDR súbory - EXR; JPEG 2000 súbory - jp2.

Organizácia knižnice

Knižnica pozostáva zo štyroch modulov:

- CV - Obsahuje všetky hlavné obrazové funkcie pre spracovanie obrazu a počítačové videnie
- CXCORE - Obsahuje základné dátové štruktúry, podporu pre operácie lineárnej algebry, funkcie pre kreslenie a podporu pre XML
- HIGHGUI - GUI funkcie ako napr. zobrazenie okna, načítanie a zobrazenie obrazu, prácu s myšou a pod.
- CVAUX - Obsahuje doplňujúce (experimentálne) OpenCV funkcie



Obr. 1.7: OpenCV - Zobrazenie prepojení medzi jednotlivými projektami

Vzťah hlavných 3 modulov (teda bez doplňujúceho modulu) je zobrazený na obrázku 1.7. Popis funkcií jednotlivých modulov možno nájsť napr. na spomínaných Wiki stránkach (viď [12]).

Funkcie knižnice**Funkcie balíka CV**

Gradients, hrany a rohy - Sobel, Laplace, Canny, Rôzne verzie detekcie rohov

Vzorkovanie, interpolácia a geometrické transformácie - Zmena veľkosti, Afinné transformácie, Rotácia, Deformácie, Zdeformovaná perspektíva

Morfologické operácie - Vytvorenie štrukturálneho elementu, Erózia, Dilatácia, Otvorenie, Uzavretie, Gradient, Top-hat, Black-hat

Filtre a konverzia farieb - Vyhľadovací 2D filter s voliteľným typom vyhladzovania pre blur, Gaussian, median a bilaterálny filter, Konvolúcia z definovanou maskou, Vytvorenie okrajov, Konverzia farebného priestoru,

Prahovanie - Binárne, Inverzné binárne, Zrezávacie, K nule, K nule inverzné, Adaptívne prahovanie

Obrazové pyramídy

Spojitosť komponentov a získavanie hraníc - Flood fill, Nájdenie hraníc v binárnom obraze, Nahradenie nájdených hraníc

Obrazové a hranicové momenty - Výpočet geometrických, centrálnych a normalizovaných centrálnych momentov

Špeciálne obrazové transformácie - Houghove čiary, Houghove kruhy, Vzďalenostné transformácie

Histogramy - Manipulácia, Porovnávanie, Normalizácia, Ekvalizácia, Spätná projekcia

Párovanie - Porovnávanie so vzorom, Porovnávanie s tvarom

Štrukturálna analýza - Funkcie pre úpravu hraníc (Vytvorenie stromu hraníc, Porovnávanie stromov hraníc), Výpočtová geometria (Maximálny obdĺžnik objektov, Vytvorenie elipsy alebo čiary pre zadané body, Konvexný obal, Kontrola spojitosti kontúr, Nájdenie chýb v spojitosti, Minimálny obdĺžnik, kruh, pre zadané body), Planárne delenie

Analýza pohybu a referencie pre sledovanie objektov - Akumulátory pre štatistiku pozadia, Vzory pre pohyb, Sledovanie objektov (Minimalizácie energie hadov), Optický tok (HS, L-K, BM a L-K), Odhadovanie (Kalmanov filter)

Rozpoznávanie objektov - Detekcia objektov (Klasifikátory)

Kalibrácia kamery a 3D rekonštrukcia - Vnútoraná, vonkajšia, Rodrigues a nezkreslená kalibrácia, nájdenie šachovnicového kalibračného vzoru, Odhady pozície (POSIT objekty, Počítanie obrazovej homografie), Epipolárna geometria (Nájdenie fundamentálnej matice, Nájdenie korešpondujúcich čiar)

Funkcie balíka CXCORE

Operácie na poliach - Inicializácia, Prístup k elementom, Kopírovanie a vyplňanie, Transformácie a permutácie, Aritmetické a logické funkcie, Porovnávanie, Štatistika, Lineárna algebra, Matematické funkcie, Diskrétné transformácie (Diskrétna Fourierova transformácia, Diskrétna kosínusová transformácia)

Dynamické štruktúry - Sekvencie, Množiny, Stromy, Grafy

Kresliace funkcie - Funkcie pre vykresľovanie kriviek a tvarov, Funkcie pre vykresľovanie a písanie znakov, Množiny bodov a kontúry

Distribučný formát

Pre OS Windows je knižnica distribuovaná ako jeden inštalačný exe súbor, po jeho spustení sa knižnica sama nainštaluje na Váš počítač.

Pre OS Linux je knižnica distribuovaná ako dvojnásobne skomprimovaný balík (tar.gz). Po rozbalení tohto balíku sú k dispozícii už priamo potrebné adresáre, avšak pre správne fungovanie treba knižnicu ešte nakonfigurovať.

Najnovšia a aktuálna verzia

Aktuálna verzia je verzia 1.0, avšak pri mojej návšteve download stránky knižnice boli na stiahnutie k dispozícii aj viaceré beta verzie.

Dostupnosť a aktuálnosť informácií o knižnici

Všetky informácie o knižnici sú dostupné buď na jej webstránke (viď [6]), alebo na odkazoch, ktoré sú na tejto stránke uvedené. Tieto informácie sú aktuálne. Na stiahnutie sú k dispozícii okrem balíkov knižnice pre Linux

a Windows aj kurzy a tutoriály pre použitie knižnice. Na stránke je odkaz na editovateľné Wiki stránky knižnice (viď [11]), ktoré poskytujú základné informácie a rôzne návody na použitie, či už pre rôzne oblasti použitia alebo pre rôzne programovacie prostredia (Eclipse IDE, C++ Builder, Visual C++.net). Po nainštalovaní knižnice je k dispozícii aj manuál, avšak tento manuál je už zastaralý (bol vyrobený pre staršie verzie) a mnohé informácie už nie sú aktuálne.

Existuje aj on-line komunita vytvorená na yahoogroups.com, ktorá sa zaoberá zdieľaním informácií, chýb a rôznych otázok a odpovedí týkajúcich sa knižnice. Členom tejto skupiny sa môže stať každý, kto má záujem, je možné dostávať aj pravidelné e-maily s novinkami a rôznymi inými informáciami. Popis ako sa stať členom tejto skupiny je na úvodnej stránke knižnice. Okrem toho sú na tejto stránke ešte aj odkazy, kam sa obrátiť s rôznymi problémami.

Ak by mal niekto záujem knižnicu nielen používať, ale k nej niečo aj prirobiť a podeliť sa so svojim dielom aj s ostatnými, k dispozícii je príručka resp. pravidlá pre písanie kódu knižnice OpenCV (OpenCV Coding Style Guide), ako aj licencia vzťahujúca sa k tomuto kódu (OpenCV Coding Style Guide License).

Kapitola 2

Testovanie knižníc

Cieľom testovania pre nás bolo porovnanie a zhodnotenie knižníc. Ako kritéria pre porovnávanie sme sa rozhodli použiť čas vykonávania funkcií, ako aj presnosť výsledkov porovnávaných funkcií. Je samozrejmé, že nie je možné pre každú knižnicu otestovať všetky algoritmy a funkcie, ktoré implementuje. Aby bolo možné knižnice podľa týchto kritérií porovnávať, bolo nutné vybrať algoritmy implementované vo viacerých knižniciach. Preto sme sa na testovanie rozhodli vybrať len určitú oblasť funkčnosti a v tejto oblasti vybrať len niekoľko algoritmov.

2.1 Výber algoritmov

Kritériom na výber oblasti a algoritmov bolo aby ich implementovalo čo najviac charakterizovaných knižníc. Keďže knižnice sme v tejto diplomovej práci vyberali s dôrazom na implementáciu funkcií spracovania obrazu, je prirodzené že výber padol práve na túto oblasť. Výber algoritmov z tejto oblasti sa potom už odvíjal podľa výberu knižníc tak, aby vybrané algoritmy boli implementované v čo najviac vybraných knižniciach a bolo možné ich použiť s rovnakými parametrami, kvôli ich porovnávaniu. Voľba nakoniec padla na nasledujúce štyri algoritmy:

- vyhladzovanie - medián so štvorcovou maskou veľkosti 3, 5 a 7

- morfológické operácie - otvorenie, ktoré sa dá zložiť z funkcií erózie a následnej dilatácie
- konvolučný hranový operátor - prechod nulou so štvorcovou maskou 17x17
- obrazové transformácie - Fourierová dopredná a inverzná transformácia

2.2 Výber knižníc

Prvým dôležitým kritériom pri výbere bolo to, či sú knižnice voľne dostupné alebo nie. Knižnica Matrox Imaging Library nie je voľne dostupná a nepodarilo sa nám zohnať ani jej testovaciu verziu. Z toho dôvodu túto knižnicu nebolo možné otestovať.

Druhým kritériom bol fakt, či sa nám danú knižnicu podarilo nainštalovať, skompilovať a následne spustiť testovací program. Knižnicu Microsoft Vision SDK sa nepodarilo ani len nainštalovať, a teda nemohlo dôjsť ani k jej otestovaniu. S knižnicou Gandalf zasa nastali problémy pri jej kompilácii, a keď sme sa snažili odstrániť tieto problémy, knižnica následne nefungovala správne. Táto knižnica teda nemohla byť na testovanie taktiež použitá.

Posledným kritériom boli algoritmy, ktoré knižnice implementujú. Knižnica Microsoft Vision SDK sa sústreďuje hlavne na podporu získavania obrazu, implementuje len málo funkcií spracovania obrazu. A práve spracovanie obrazu sme si vybrali ako oblasť pre naše testovanie.

Na testovanie nám teda ostali štyri knižnice, a to OpenCV, ITK, Image Magick a IM.

2.3 Parametre testovania

Hardvér

- Procesor: Intel Pentium M 725 (2MB L2 cache, 1.6GHz, 400MHz FSB)

- Pamäť: 512MB DDR2 s podporou dvoch kanálov
- Grafika: Intel Graphics Media Accelerator 900

Softvér

- Použitý operačný systém: Windows XP Home Edition, Verzia z roku 2002, Service Pack 2
- Programovací jazyk: C++
- Programovacie prostredie: Microsoft Visual C++ 6.0, Service Pack 5

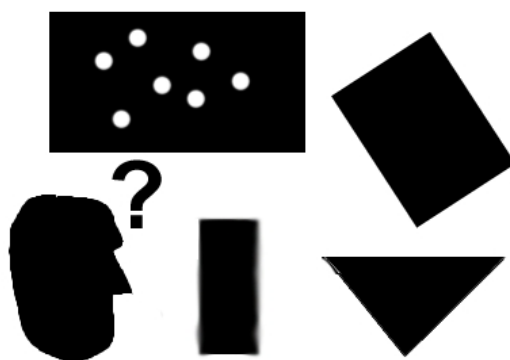
Použité obrázky

Knižnicu sme chceli testovať na obrázkoch viacerých formátov, avšak tieto formáty museli byť podporované vo všetkých vybraných knižniciach. Výber padol na najštandardnejšie tri formáty a to jpg, bmp a png. Avšak formát jpg sa pri prvých základných testoch ukázal ako nevhodný, keďže aj bez použitia akejkoľvek funkcie vznikali rozdiely v pôvodnom a zapísanom obraze. Tento rozdiel pravdepodobne spôsobili rozdiely v kódovaní jpg formátu, resp. v zvolení predefinovaných parametrov pri tomto kódovaní.



Obr. 2.1: Lena

Keďže už výsledky prvých testov vychádzali podobné pre podobné obrázky (lena a baboon), rozhodli sme sa ďalej používať už len dva obrázky a to klasicky v grafike často používaný obrázok leny (Obr. 2.1), a ďalší, trochu odlišný typ obrázka, obsahujúci čierne objekty na bielom pozadí (Obr. 2.2).



Obr. 2.2: Čierne predmety na bielom pozadí

2.4 Implementácia testovania

2.4.1 Vytvorenie pracovných prostredí

Pre knižnicu Image Magick som použila vopred vytvorené testovacie prostredie pre Microsoft Visual C++ 6.0, prepísala som len obsah zdrojového súboru. Pre ďalšie tri knižnice takáto možnosť nie je, keďže neexistujú predpripravené pracovné prostredia. Pre knižnicu ITK však existuje odporúčaný program CMake, ktorý po vyplnení potrebných konfiguračných nastavení tento projekt vytvorí za Vás. Zároveň som pri tejto knižnici ako pri jedinej vytvárala samostatné pracovné prostredie pre každý testovaný algoritmus, keďže má špecifický systém spracovávania pomocou filtrov napojených za seba do jednej súvislej línie (pipelines and filters). Pre knižnice OpenCV a IM som si programovacie prostredie, ako aj všetky prepojenia na potrebné knižnice, vytvorila sama.

Všetky pracovné prostredia použité pri testovaní môžete nájsť v prílohách tejto diplomovej práce na CD v adresári "Testovacie projekty".

2.4.2 Meranie času

Na meranie času sme použili funkciu:

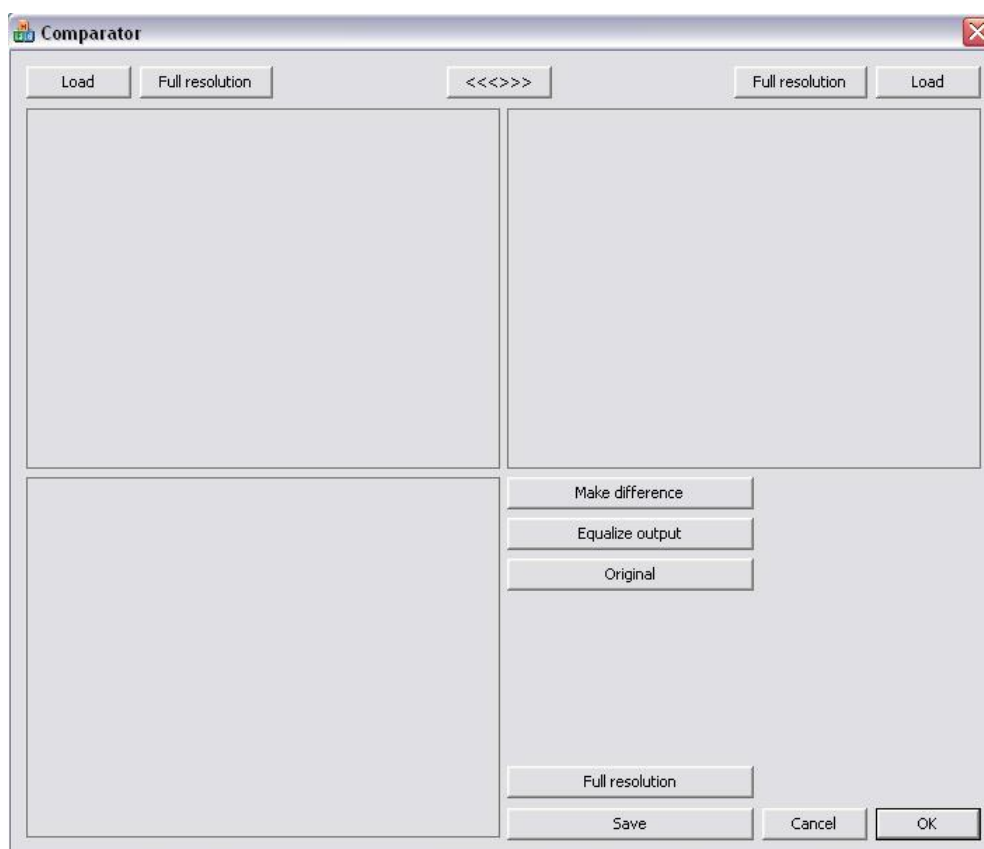
```
DWORD GetTickCount(void);
```

Ide o funkciu z windowsáckej knižnice (časť systémové informácie), ktorá vracia čas od zapnutia počítača v milisekundách (až do uplynutia času 49,7 dní). Funkcia sa zavolá pred spustením časti programu, ktorú chceme merať a zapamätá sa jej hodnota. Následne sa znova zavolá po skončení meranej časti programu a znova sa zistí hodnota. Čas trvania v milisekundách sa získa rozdielom týchto dvoch nameraných časov. Tento čas je pomerne presný, keďže závisí od systémového časovača. Práve presnosť a mierka v milisekundách boli hlavné dôvody použitia práve tejto funkcie, keďže iné funkcie na merania času nedosahujú potrebnú mierku a presnosť na testovanie.

2.4.3 Program pre porovnávanie obrázkov

Pre porovnávanie obrázkov som si vytvorila jednoduchú aplikáciu Comparator. Táto aplikácia bola vytvorená v Microsoft Visual Studiu 2003 a pre vytvorenie grafického rozhrania som použila knižnicu MFC (Microsoft Foundation Class Library). Funkčnú stránku tohto nástroja som sa rozhodla zabezpečiť pomocou knižnice OpenCV. Okrem funkcií pre zobrazenie obrázka v okne a vytváranie kópií obrázkov, bola táto knižnica použitá na zabezpečenie dvoch hlavných funkcií tohto nástroja. Prvým je odčítanie dvoch obrázkov a druhým ekvalizácia výsledku tohto odčítania. Na automatické vygenerovanie dokumentácie som použila Microsoft Visual Štúdio.

Táto aplikácia ma prehľadné a jednoduché grafické rozhranie (GUI), vid' Obr. 2.3. V hornej časti obsahuje dve rovnako veľké plochy pre zobrazenie



Obr. 2.3: GUI aplikácie Comparator

vstupných obrázkov, určených na porovnanie. Nad každou z týchto plôch sú dve tlačidlá. Jedno je pre otvorenie obrázka, ktorý sa má byť na danej ploche zobrazený ("Load") a druhé pre zobrazenie obrázka v samostatnom okne v plnom rozlíšení ("Full resolution"). Medzi hornými plochami je aj tlačidlo pre vymenenie ľavého a pravého obrázka. V dolnej časti GUI programu Comparator je ďalšia plocha určená pre zobrazenie výsledného obrázka. Vedľa nej sú tlačidlá pre vykonanie rozdielu dvoch horných obrázkov ("Make difference"), ďalej tlačidlo pre ekvalizáciu tohoto rozdielu ("Equalize output"), tlačidlo pre zobrazenie pôvodného rozdielu ("Original"), tlačidlo pre uloženie výsledného obrázka ("Save") a tlačidlo pre zobrazenie výsledného obrázka v samostatnom okne ("Full resolution"). V pravom dolnom rohu sú ešte dve

tlačidlá pre ukončenie programu.

Aplikáciu Comparator môžete nájsť v prílohách tejto diplomovej práce na CD v adresári "Comparator".

2.5 Popis implementácie algoritmov

Pár praktických poznámok na úvod:

ITK nevie priamo pracovať s farebnými obrázkami, treba ich rozložiť na jednotlivé RGB zložky a pracovať s každou samostatne. OpenCV má podporu pre viacanálové obrázky pre funkcie medián i pre morfologické operácie, avšak pre konvolúcie a Fourierovu transformáciu nie. IM a Image Magick prácu s farebných obrázkami zvládajú bez problémov.

IM potrebuje pri výstupe explicitne určiť výstupný formát. Ostatné knižnice vedia určiť formát výstupného súboru priamo z prípony.

Pri funkciách ktoré majú ako parametre aj vstupný aj výstupný obrázok, a pri výpočte potrebujú hodnoty zo vstupného obrázka až do konca, je potrebné aby boli vstupný a výstupný parameter rôzne. (napr. pri mediáne, konvolúciách ...) V opačnom prípade sa k výpočtu nových hodnôt budú používať už aj nové hodnoty pixlov, a dôjde k skreslených výsledkom. Tieto výsledky sú často krát okom nerozoznateľné, ale ak sa kladie dôraz na presnosť, môžu byť aj takéto chyby dôvodom problémov.

IM

Pre **medián** stačí použiť funkciu:

```
imProcessMedianConvolve(vstup, výstup, veľkosť_masky);
```

ktorej parametrami su vstupný a výstupný obraz typu imImage a veľkosť použitej masky. Rovnaké vstupné parametre má aj funkcia pre **otvorenie**:

```
imProcessGrayMorphOpen (vstup, výstup, veľkosť_masky);
```

Funkcia pre **konvolúciu prechodu nulou** s maskou veľkosti 17x17 má rovnaké prvé dva parametre, tretím je namiesto veľkosti masky priamo maska

vo formáte `imImage`. Túto masku som si uložila v požadovanom tvare do samostatného súboru formátu `krn`, a potom som si ju načítala ako obrázok:

```
imImage* kernel = LoadImage("17x17.krn");  
imProcessConvolve(vstup, výstup, maska);
```

Fourierova transformácia: Na začiatok jedno upozornenie. Vo vzorovom príklade použitia Fourierovej transformácie na zmenu obrazového spektra, viď [62], sú názvy funkcií nesprávne. Možno sa tak funkcie volali v starších verziách a autori potom zabudli ich názvy vo vzorových príkladoch zmeniť. V čase písania tejto diplomovej práce však boli správne názvy

```
imProcessFFT (vstup, výstup);  
imProcessIFFT (vstup, výstup);
```

Parametrami sú vstupný a výstupný obraz formátu `imImage`. Treba dať pozor na to, že pri doprednej Fourierovej transformácii musí byť dátový typ výsledného obrazu komplexný. Pri inverznej transformácii musí byť vstupný aj výstupný obraz komplexného typu. Pred zápisom je preto potrebná spätná konverzia dátového typu.

Image Magick

Pre **medián** stačí použiť funkciu:

```
medianFilter(polomer_masky);
```

ktorej jediným parametrom je polomer veľkosti masky.

Pri **konvolúcii prechodom nulou** s maskou veľkosti `17x17` nám nefungovala funkcia pre konvolúciu z interfejsu `Magick++`, preto sme si pomohli tým, že knižnica má aj príkazy pre príkazový riadok. Príkaz som si preto napísala do súboru `convolve17x17.bat`, a kvôli meraniu času ho potom zavolať z `C++` programu.

Morfologické funkcie a Fourierovu transformáciu táto knižnica neimplementuje.

ITK

Pri tejto knižnici bola implementácia vybraných algoritmov trochu zložitejšia, keďže táto knižnica silne využíva objektovo-orientované programovanie. Obraz sa spracováva pomocou filtrov, z ktorých každý je reprezentovaný samostatným objektom, ktorý treba zdefinovať a inicializovať. Tieto objekty si potom postupne predávajú parametre, čo vytvára štruktúru akéhosi potrubia ("pipeline"). Navyše všetky funkcie objektov vedia pracovať len s jedným kanálom obrazu. Ak sme chceli dostať ako výstup obraz farebný, bolo treba ho filtermi najprv rozložiť na tri RGB zložky a pred uložením znova spojiť do RGB obrazu.

Keďže rôzne filtre majú rôzne vstupné parametre, bolo potrebné často krát používať konverziu medzi typmi týchto parametrov. Z týchto dôvodov by bolo nepraktické robiť všetko v jednom programovacom prostredí, a tak sme sa rozhodli vytvoriť si pre každý druh algoritmu samostatné pracovné prostredie.

Práca jednotlivých filtrov sa najlepšie dá pochopiť na vzorovom príklade kódu, takým najjednoduchším je zdrojový program pre medián. Jeho programovacie prostredie ako aj ostatné programovacie prostredia pre knižnicu ITK sa dajú nájsť na CD prílohe v časti "Testovacie projekty\ITK\".

Pre **mediánový** filter sa používa trieda:

`itk::MedianImageFilter` ktorá je definovaná v súbore "itkMedianImageFilter.h". Tento súbor je potrebné zahrnúť do zdrojového súboru.

Pre **otvorenie** sme použili dva filtre, jeden pre eróziu a druhý pre dilatáciu. Príslušné triedy pre filtre sú:

`itk::GrayscaleErodeImageFilter`

`itk::GrayscaleDilateImageFilter`

Sú definované v súboroch "itkGrayscaleErodeImageFilter.h" a "itkGrayscaleDilateImageFilter.h". Tieto súbory je potrebné zahrnúť do zdrojového súboru.

Pre **konvolúciu prechodu nulou s maskou 17x17** sme použili takisto dva filtre. Prvý dodáva potrebný región pre druhý, ktorý sa vie akoby v tomto regióne potom pohybovať a čítať a zapisovať hodnoty pixlov. Avšak keďže dokumentácia a manuály sú dosť nepriehľadné, nenašli sme iný spôsob ako vo "for" cykle prechádzať pixle z masky, vynásobiť ich príslušnou hodnotou z konvolučnej matice, sčítať ich a tento súčet vrátiť filtru na výpočet hodnoty stredového pixla. Príslušné triedy pre filtre sú:

```
itk::ConstNeighborhoodIterator
```

```
itk::itk::ImageRegionIterator
```

Sú definované v súboroch "itkConstNeighborhoodIterator.h" a "itkImageRegionIterator.h". Tieto súbory je potrebné zahrnúť do zdrojového súboru.

Pre doprednú **Fourierovu transformáciu** slúži trieda

```
itk::VnlFFTRealToComplexConjugateImageFilter,
```

definovaná v súbore "itkVnlFFTRealToComplexConjugateImageFilter.h", pre inverznú trieda

```
itk::VnlFFTComplexConjugateToRealImageFilter
```

definovaná v súbore "itkVnlFFTComplexConjugateToRealImageFilter.h".

OpenCV

Pre **medián** stačí použiť funkciu:

```
void cvSmooth( vstup, výstup, typ, veľkosť_masky);
```

ktorej parametrami su vstupný a výstupný obraz typu IplImage, veľkosť použitej masky a typ filtra. Pre medián treba typ zvoliť CV_MEDIAN.

Pre **otvorenie** sú dve možnosti, a to buď použiť 2 funkcie:

```
void cvErode(vstup, výstup, maska);
```

```
void cvDilate(vstup, výstup, maska);
```

alebo iba jednu:

```
void cvMorphologyEx( vstup, výstup, maska, typ, pocet_interacii);
```

kde pre otvorenie treba zvoliť typ=CV_MOP_OPEN a pocet_interacii=1.

Maska pre oba tieto prístupy sa definuje funkciou:

```
void cvCreateStructuringElementEx( r, s, x, y, tvar_masky, 0 )
```

kde r je počet riadkov masky, s počet stĺpcov, x a y určujú polohu filtrovaného bodu v rámci masky. Pre stred $x = (r-1)/2$, $y = (s-1)/2$. Pre masku štvorcového tvaru treba zvoliť tvar `_masky=CV_SHAPE_RECT`.

Pre **všeobecnú konvolúciu** je k dispozícii funkcia:

```
void cvFilter2D( vstup, výstup, maska, stred);
```

Maska je typu jednokanálovej matice reálnych čísel. Stred určuje pozíciu filtrovaného bodu v rámci masky, je reprezentovaný dvojrozmerným bodom. Jeho predefinovaná hodnota je `cvPoint(-1,-1)`, čo znamená že filtrovaný bod je v strede masky. Táto funkcia sa od predchádzajúcich dvoch líši formátom vstupu. Tie už nie sú požadované vo formáte `IplImage`, ale vo formáte `CvArr*`, čo je matematické pole. Preto táto funkcia ako vstupy požaduje obrázky obsahujúce jeden kanál reálnych čísel. Z toho dôvodu je potrebná konverzia vstupného RGB obrázku na jednokanálový. Výstup je potom takisto v jednokanálovom formáte reálnych čísel, ktorý treba pred zápisom transformovať na formát s pevnou desatinnou čiarkou. Navyše, keď obraz už raz transformujeme na jeden kanál, tri už z neho potom nevyrobíme. Riešenie je buď rozdeliť RGB obraz na 3 zložky, alebo testovať aj ostatné knižnice na šedotónovom vstupe. A keďže nám išlo o porovnanie správania sa knižníc pri takejto veľkej maske, rozhodli sme sa, že pre porovnanie nám postačia aj výsledky na šedotónových obrázkoch.

Fourierova transformácia je na tom so vstupmi presne tak ako konvolúcia, teda potrebuje transformáciu vstupov i výstupov. Funkcia má tvar:

```
void cvDFT( gray_vstup, gray_vystup, typ);
```

kde pre doprednú transformáciu sa volí `typ=CV_DXT_FORWARD`, a pre inverznú transformáciu sa volí `typ=CV_DXT_INV_SCALE`, ktorý v sebe zahŕňa aj škálovanie výsledku. Pre inverznú transformáciu bez škálovania zvolte `typ=CV_DXT_INVERSE`.

2.6 Porovnanie a zhodnotenie výsledkov

2.6.1 Výsledky merania času

Všetky časy v tabuľkách sú uvedené v milisekundách.

Načítanie a zápis obrázkov

Čas pre načítanie a zápis obrázkov uvádzame pre operáciu medián. Tieto časy sme merali aj pre ostatné algoritmy, avšak boli takmer identické s časmi nameranými pre medián. Nasledujúce závery vychádzajú z viacerých meraní, ktoré však len potvrdili výsledky nasledujúcich štyroch tabuliek. Vzhľadom na to, že išlo stále o tie isté obrázky, je toto zistenie prirodzené.

	Načítanie obrázka		Spracovanie		Uloženie obrázka	
	BMP	PNG	BMP	PNG	BMP	PNG
IM	16	31	140	140	0	32
Magick++	16	16	156	172	31	62
ITK	265	187	703	703	125	68
OpenCV	0	0	63	78	0	32

Tabuľka 2.1: Medián 3x3 pre obrázok Pic1

	Načítanie obrázka		Spracovanie		Uloženie obrázka	
	BMP	PNG	BMP	PNG	BMP	PNG
IM	16	78	797	797	16	422
Magick++	16	16	687	656	16	547
ITK	485	109	1765	1766	250	734
OpenCV	0	47	156	141	0	375

Tabuľka 2.2: Medián 3x3 pre obrázok Lena

	Načítanie obrázka		Spracovanie		Uloženie obrázka	
	BMP	PNG	BMP	PNG	BMP	PNG
IM	16	31	140	140	0	31
Magick++	16	15	265	266	16	62
ITK	203	141	1297	1313	188	78
OpenCV	0	0	125	125	0	31

Tabuľka 2.3: Medián 5x5 pre obrázok Pic1

	Načítanie obrázka		Spracovanie		Uloženie obrázka	
	BMP	PNG	BMP	PNG	BMP	PNG
IM	31	78	3063	3047	16	375
Magick++	16	31	1484	1484	16	532
ITK	234	94	3360	3359	250	656
OpenCV	0	47	266	265	0	344

Tabuľka 2.4: Medián 5x5 pre obrázok Lena

Už pri týchto štyroch tabuľkách vidno, že čas trvania spracovania obrázku je pri formáte BMP aj pri formáte PNG takmer totožný. Tieto dve tvrdenia sa potvrdili aj pri všetkých ďalších testoch, preto kvôli menšiemu počtu tabuliek budeme ďalej uvádzať už len časy pre jeden z týchto formátov, povedzme že to bude formát PNG.

Vyhodnotenie časov načítania obrázkov

Pri formáte BMP sa veľmi neprejavovali rozdiely vo veľkosti obrázku. Čas načítania BMP obrázkov bol najrýchlejší pri knižnici OpenCV a to 0 milisekúnd, či už išlo o obrázok lena.bmp alebo pic1.bmp. Pri knižniciach IM a Image Magick to bol väčšinou zhodný čas 16 milisekúnd. Podstatne horšia v tomto hodnotení obstála knižnica ITK, v priemere 297 milisekúnd.

Pri formáte PNG sa už prejavili rozdiely vo veľkosti obrázku, kratšie časy boli pri menšom obrázku `pic1.png`. Najrýchlejšia knižnica bola OpenCV, pri obrázku `pic1.png` to bolo zhodných 0 milisekúnd a pri obrázku `lena.png` to bolo znova zhodných 47 milisekúnd. Druhá skončila knižnica Image Magick, ktorá oba obrázky načítala väčšinou za 16 ms. Tesne za ňu sa zaradila knižnica IM, menší s obrázkov načítala za cca 16 ms, väčší za 78 ms. Posledná skončila znova knižnica ITK.

Vyhodnotenie časov zápisu obrázkov

Čas zápisu BMP obrázkov bol najrýchlejší pri knižnici OpenCV a to 0 milisekúnd, či už ide o obrázok `Lena.bmp` alebo `Pic1.bmp`. Knižnica IM však veľmi nezaostávala, pri obrázku `pic1.bmp` to bolo takisto 0 ms, pri `lena.bmp` to bolo 16 ms. Image Magick to zvládol v oboch prípadoch väčšinou za 16 ms. Podstatne horšia v tomto hodnotení obstála knižnica ITK, v priemere 146 ms pri `pic1.bmp` a 250 ms pri `lena.bmp`.

Pri zápise formátu PNG sa podobne ako pri načítaní značne prejavili rozdiely vo veľkosti obrázku, kratšie boli časy pri menšom obrázku `pic1.png`. Najrýchlejšia bola knižnica OpenCV, pri obrázku `pic1.png` to bolo cca 32 ms a pri obrázku `lena.png` to bolo 349 ms. Tesne za ňou skončila knižnica IM, ktorá `pic1.png` načítala za 31 ms a `lena.png` v priemere za 390 ms. Image Magick zvládla `pic1` za 62 ms a `lenu` v priemere za 531 ms. Posledná, avšak tento nie až tak priepastne, skončila knižnica ITK. `Pic1` uložila v priemere za 70 ms a `lenu` v priemere za 677 ms.

Medián

Pri všetkých knižniciach sa čas priamo úmerne zvyšuje so zväčšujúcou sa veľkosťou masky. Knižnice sú už priamo v tabuľke uvedené v poradí od najlepšej (OpenCV) po najhoršiu (ITK).

	Lena			Pic1		
	3x3	5x5	7x7	3x3	5x5	7x7
OpenCV	141	265	312	78	125	140
Magick++	656	1484	2422	172	266	422
IM	797	3047	6781	140	375	812
ITK	1766	3359	5437	703	1313	2297

Tabuľka 2.5: Medián 5x5 pre obrázok Lena

Otvorenie

Knižnice sú už priamo v tabuľke uvedené v poradí od najlepšej (OpenCV) po najhoršiu (ITK). Knižnica Image Magick morfologické operácie neimplementuje.

	Lena	Pic1
OpenCV	78	31
IM	234	94
ITK	1828	828
Magick++	—	—

Tabuľka 2.6: Otvorenie, maska 3x3

Prechod nulou

Pri prechode nulou bude hodnotenie trochu náročnejšie, rozdelíme ho pre farebný a pre šedotónový vstup resp. výstup. Pre farebný vstup/výstup je na tom najlepšie knižnica Image Magick, len o niečo horšia je knižnica IM. Pre šedotónový vstup/výstup je na tom najlepšie knižnica OpenCV, za ňou nasleduje IM, Image Magick a ITK. Knižnica ITK mala v oboch prípadoch veľmi vysoké výsledky.

	Lena	Lena Grayscale	Pic1	Pic1 Grayscale
OpenCV	—	250	—	110
IM	1859	625	828	281
Magick++	1610	1548	517	545
ITK	20344	15360	8000	7078

Tabuľka 2.7: Prechod nulou, maska 17x17

Fourierova transformácia

Pri Fourierovej transformácii bol prekvapením veľmi rýchli čas knižnice ITK, keďže doteraz sa vo všetkých meraniach ukazovala ako najpomalšia. Knižnice sú už priamo v tabuľke uvedené v poradí od najlepšej (ITK) po najhoršiu (IM). Knižnica Image Magick Fourierovu transformáciu neimplementuje.

	Lena	Pic1
ITK	16	16
OpenCV	109	47
IM	172	47
Magick++	—	—

Tabuľka 2.8: Dopredná+inverzná Fourierova transformácia

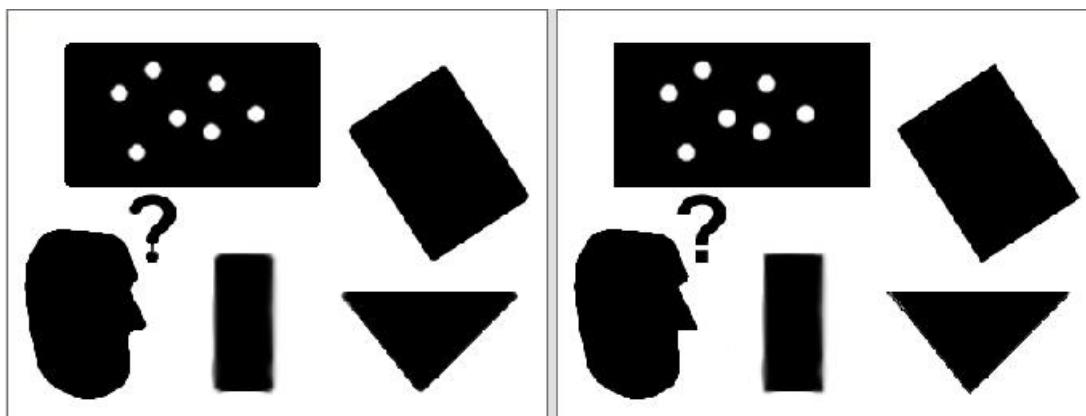
2.6.2 Porovnanie výstupov

Medián

Výstupy mediánového filtra pri maske 3x3, 5x5, 7x7 sa pri knižniciach OpenCV, ITK a Image Magick úplne zhodujú.

Pri knižnici IM je rozdiel v okrajoch výsledného obrázka. Tento rozdiel je viditeľný iba pri obrázku leny, keďže obrázok pic1 má okraje čierne. Pri

maske veľkosti 3x3 je tento rozdiel veľkosti do 1 pixla, pri 5x5 do 2 pixlov a pri 7x7 je tento rozdiel do 3 pixlov. Tieto výsledky napovedajú, že knižnica IM ma iný prístup v spracovávaní okrajových bodov, pri ktorých celá maska neleží v spracovávanom obraze.



Obr. 2.4: Výsledok operácie medián7x7. Vľavo obrázok po operácii medián7x7, vpravo pôvodný obrázok.

Pri bližšom skúmaní sme zistili že rozdiely sú najmä v pixloch, pre ktoré leží len párny počet bodov z masky v obraze. Pri párnom počte bodov existuje totižto viacero prístupov pre výpočet mediána. Knižnica IM používa tzv. vyšší medián, teda pri počte $2k$ hodnôt určí medián ako $k+1$ hodnotu. Ostatné knižnice používajú iný prístup, avšak nejde ani o vyšší medián, ani nižší medián (k -ta hodnota), ani o zaokrúhlený priemer k -teho a $k+1$ -eho prvku.

Otvorenie

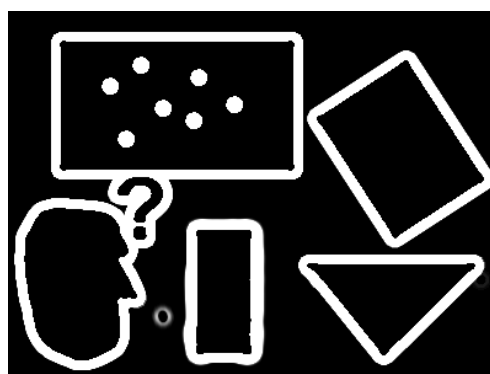
Pri otvorení nebol žiadny problém, výstupy všetkých troch knižníc, ktoré túto operáciu implementujú, boli rovnaké.

Prechod nulou

Pri konvolúcii s maskou pre prechod nulou veľkosti 17x17 vedeli dať farebné obrázky priamo na výstup iba dve knižnice a to IM a Image Magick. Preto sme sa kvôli jednoduchosti rozhodli testovať na šedotónových obrázkoch. Výstupy knižníc ITK a Image Magick boli rovnaké. Pri ďalších dvoch knižniciach však už vznikli rozdiely.



Obr. 2.5: Farebný prechod nulou pre obrázok Leny



Obr. 2.6: Výsledok prechodu nulou na obrázku pic1

Pri knižnici IM nastal podobný problém ako pri mediánovej filtrácii - rozdiely boli len v okrajoch, čo znova naznačuje iný postup pri spracovávaní okrajových pixlov, pre ktoré celá maska neleží v spracovávanom obraze.



Obr. 2.7: Prechod nulou: rozdiel medzi výstupom knižnice OpenCV a ostatnými knižnicami

Pri knižnici OpenCV sa pri porovnaní nástrojom Comparator zdal rozdiel dosť veľký (viď Obr. 2.7), avšak pri podrobnejšej analýze matice pixlov v programe ImLab (viď [38]) a porovnávaním tejto matice s maticou výstupu knižnice ITK sme zistili, že obraz je iba posunutý presne o 9 pixlov v smere doľava ako aj v smere hore. Pri maske 17x17 je to presne toľko krajných pixlov, pre ktoré neležali všetky body masky v obraze. Preto naša teória bola, že knižnica OpenCV rieši problém okrajových bodov posunom obrazu v pôvodnom štvorci s tým, že z dvoch strán potom nejako doplní chýbajúce pixle. Túto teóriu sme si nakoniec aj potvrdili posunom výsledných obrázkov a ich porovnaním s výstupnými obrázkami napr. knižnice ITK.

Fourierova transformácia

Pri Fourierovej transformácii vedela dať farebné obrázky priamo na výstup iba jedna knižnica a to IM, takže tento výstup nebolo s čím porovnať. Avšak po aplikovaní doprednej a následne inverznej Fourierovej transformácie by sme mali dostať pôvodný obrázok. Preto sme tento výstup otestovali so vstupom. Vstup a výstup boli zhodné, čo znamená že výsledok je korektný.

Podobne sme postupovali aj pri šedotónových výstupoch knižnice ITK a OpenCV, tieto výstupy sa zhodovali so vstupmi (vstupy sme použili takisto šedotónové) a teda samozrejme aj medzi sebou.

Zaujímavý výsledok nastal keď sme sa pokúsili otestovať knižnicu IM na šedotónových vstupoch. Robili sme to za účelom porovnania času, aby táto knižnica nebola oproti ostatným znevýhodnená, keďže sme predpokladali, že na farebnom trojkanálovom vstupe môže operácie Fourierovej transformácie prebiehať dlhšie. Spracovanie šedotónového obrázka síce trvalo podľa očakávaní kratšie, avšak výstup už podľa očakávaní nebol, keďže sa nezhodoval so vstupom. Rozdiel vstupu a výstupu môžete vidieť na Obr. 2.8



Obr. 2.8: Rozdiel medzi vstupom a výstupom pri knižnici IM

2.6.3 Celkové zhodnotenie

Pri časových testoch bola na tom jednoznačne najlepšia knižnica OpenCV. IM a Image Magick boli zhruba na rovnakej úrovni a najhoršie dopadla knižnica ITK.

Pri testoch kvality bola asi najlepšia knižnica ITK a Image Magick, aj keď pri spomenutých rôznych prístupoch je ťažké posúdiť, ktorý výsledok je ten správny. Image Magick navyše neimplementovala 2 zo štyroch testovaných algoritmov.

Ak by som knižnice mala posúdiť podľa toho, s ktorou sa mi najľahšie pracovalo, tak to bude určite knižnica IM, ktorá ma ľahko pochopiteľne použitie funkcií z dokumentácie. Podobne sa pracuje aj s knižnicou OpenCV. Rozdiel medzi nimi je akurát v tom, že OpenCV je oveľa komplexnejšia a pri rovnakých funkciách často krát ponúka viac parametrov. Najhoršia bola práca s knižnicami ITK a Image Magick.

Image Magick je knižnica príliš jednoduchá, implementuje málo funkcií zo spracovania obrazu, a implementované funkcie majú málo vstupných parametrov. Preto bolo dosť ťažké vôbec vybrať algoritmy, ktoré by sa dali z tejto knižnice použiť pri porovnávaní s ostatnými (napr. implementuje síce funkciu pre detekciu hrán, ale tá nemá žiadne parametre a nikde som nenašla, aké prístupy sa na toto hľadanie hrán využívajú).

Knižnica ITK je čo sa týka použitia a volania funkcií úplne iná ako všetky predošlé, keďže pracuje so systémom filtrov, ktoré sú reprezentované objektmi. Filtre sú napájané za seba tak, aby tvorili súvislé potrubie pre vstup, spracovanie a výstup obrazu. Pri tejto knižnici treba oveľa viac času venovať pochopeniu tohto systému, ako aj práce jednotlivých filtrov. Navyše dokumentácia je pre začiatočníkov podľa môjho názoru dosť slabá. Zložitá sa mi zdala aj práca s farebnými RGB obrázkami, ktoré je potrebné rozkladať na tri kanály.

Kapitola 3

Odporúčania pre používateľov

3.1 Hodnotenia podľa rôznych kritérií

3.1.1 Náročnosť inštalácie

Náročnosť inštalácie nie je možné posudzovať pri knižnici MIL, keďže táto knižnica je komerčná a nebola nám k dispozícii.

Pri knižnici MVSDK sa nepodarilo spustiť samoinštalčný súbor "Setup". Hlásil, že má zlý vstupný parameter. Žiadne vstupné parametre však nebolo potrebné zadávať.

Pri inštalácii knižnice Gandalf je pre správne fungovanie potrebné najprv nainštalovať a skompilovať doplnkové knižnice a doplniť pre ne systémové premenné. Potom treba prispôsobiť konfiguračný súbor Vášmu operačnému systému a programovaciemu prostrediu. Následne treba knižnicu skompilovať. Pod programovacím prostredím Microsoft Visual Studio 6.0 však knižnicu nešlo skompilovať, aj napriek tomu, že šlo o súbor špeciálne pre toto prostredie a autori tvrdili že to bolo pod týmto prostredím otestované. Tým pádom sa nepodarilo vytvoriť súbor Gandalf.lib a knižnica nemohla byť používaná. Aj keby sa túto knižnicu podarilo nainštalovať, bol by tento postup inštalácie najzložitejší.

Zo zvyšných štyroch knižníc, ktoré sa podarilo nainštalovať, bol najjednoduchší postup pri knižniciach IM - stačilo iba rozbaľiť stiahnutý komprimovaný

vaný balík a pri knižnici Image Magick - binárna verzia je samo inštalačná, stačilo ju len spustiť. Pri týchto knižniciach nie je potrebné robiť žiadne dodatočné nastavenia.

Pri knižnici OpenCV bolo potrebné okrem spustenia autoinštalačného exe súbor ešte doplniť cestu pre adresár inštalácie knižnice do systémových premenných a následne vytvoriť knižnicové súbory v nejakom programovacom prostredí.

Len o niečo málo zložitejší, avšak oproti iným knižniciam netradičnejší, je postup pri knižnici ITK. Knižnica je dodávaná v zdrojovom kóde, takže sa neinštaluje. Treba ju však nakonfigurovať pre konkrétny OS a programovacie prostredie, na čo sa používa program CMake. Postup konfigurácie je však pomerne jednoduchý.

Všetky spomenuté návody na inštaláciu knižníc nájdete na CD prílohe v adresári "Návody".

3.1.2 Náročnosť vytvorenia pracovného prostredia

Všetky, v nasledujúcej sekcii spomínané programovacie prostredia, sme vytvárali pre Microsoft Visual C++ 6.0.

Náročnosť vytvorenia pracovného prostredie sa dá posudzovať len pre knižnice, ktoré sa podarilo viac-menej nainštalovať. V nasledujúcich odsekoch sú uvedené knižnice a k nim popis vytvorenia programovacích prostredí v poradí od najjednoduchšie po najťažšie vytvoriteľné.

Pre Image Magick je najjednoduchšie použiť predvytvorené testovacie prostredie a v ňom zdrojový súbor prerobiť na svoj vlastný.

Pre knižnicu ITK neexistuje predvytvorené prostredie. Avšak celé prostredie za Vás vytvorí program CMake. Stačí preňho len vytvoriť krátky konfiguračný súbor CMakeLists.txt, spustiť tento program, zadať zdrojový a cieľový adresár, programovacie prostredie pre ktoré chcete vytvoriť projekt a spustiť konfiguráciu. Po zobrazení a odobrení dôležitých nastavení sa vytvorí požadované pracovné prostredie.

Pre knižnicu OpenCV sme použili návod na vytvorenie programovacieho

prostredia. Pôsobí síce odstrašujúco dlho, ale ak podľa neho postupuje, nie je potrebné robiť žiadne dodatočné nastavenia.

Pre knižnicu IM existuje oficiálny návod na vytvorenie testovacieho prostredia iba pre Microsoft Visual C++ 7.1. Pre Microsoft Visual C++ 6.0 sme si preto vytvorili programovacie prostredia sami.

Gandalf - po nainštalovaní upravenej verzie knižnice (v ktorej ale kompilátor nepoznal názvy niektorých funkcií), som sa pokúšala vytvoriť testovacie prostredie. Najprv som na to použila knižnicou vytvorené testovacie prostredie, avšak toto prostredie malo zle nastavené niektoré parametre. Preto som sa rozhodla vytvoriť si odznova vlastné programovacie prostredie.

Všetky spomenuté návody na vytvorenie programovacích prostredí nájdete na CD prílohe v adresári "Návody".

3.1.3 Náročnosť používania

Náročnosť používania sa dá ohodnotiť iba pri knižniciach, ktoré sme mali možnosť otestovať, alebo ku ktorým sme mali k dispozícii aspoň referenčné príručky ich funkcií.

Najmenšia programátorská zručnosť sa vyžaduje pri knižniciach IM, Image Magick. Obe knižnice dokázali bez problémov pracovať s farebnými obrázkami.

Knižnicu Gandalf sme nemali možnosť otestovať, avšak volania jej funkcií vyzerali podobne ako pri knižnici IM. Dá sa preto predpokladať, že aj potrebná programátorská zručnosť bude rovnaká.

O niečo málo náročnejšia je knižnica OpenCV. Pri niektorých funkciách je potrebné rozkladať viackanálové obrázky na zložky, resp. sú potrebné konverzie obrazu. Takisto funkcie majú často viac parametrov ako v predchádzajúcich troch knižniciach.

Najväčšia programátorská zručnosť sa určite vyžaduje pri knižnici ITK. Je potrebné mať aspoň základné skúsenosti s objektovo-orientovaným programovaním, keďže táto knižnica ho naplno využíva. Spôsob používania jednotlivých funkcií je úplne odlišný ako pri predchádzajúcich štyroch knižniciach

a je potrebné venovať viac času pochopeniu tohto systému. Viackanálové obrázky je potrebné rozkladať na zložky pri všetkých funkciách, resp. stále sú potrebné nejaké konverzie alebo škálovanie obrazu.

3.1.4 Dostupnosť knižníc

Jedinou platenou knižnicou spomedzi charakterizovaných knižníc je knižnica Matrox Imaging Library. Knižnica Microsoft Vision SDK je síce voľne použiteľná, avšak jej web stránka už nie je aktuálna. Preto môže byť problémom sa k nej dostať. Všetky ostatné knižnice sú voľne dostupné na svojich webovských stránkach.

3.1.5 Kvalita dokumentácie k funkciám

Dokumentáciu MIL nemôžeme korektne posúdiť, keďže nevieme, či je priamo ku knižnici dodávaná nejaká doplňujúca dokumentácia. Predpokladáme však že je, lebo veci ktoré sa dajú stiahnuť z web stránky, podľa nás nie sú postačujúce.

Dokumentáciu knižnice MVSDK taktiež nemôžeme posúdiť, keďže nemáme vôbec žiadnu referenčnú príručku. Tá je pravdepodobne obsiahnutá v adresári knižnice. K nemu sa nám však nepodarilo dopracovať.

Dokumentácie knižníc OpenCV, Gandalf a IM boli vygenerované z okomentovaného zdrojového kódu programom Doxygen. Sú podobné, a sú približne na rovnakej, veľmi dobrej, úrovni. Dokumentácia pre knižnicu ITK bola taktiež vygenerovaná programom Doxygen, avšak oproti predošlým trom sa nám zdala, najmä pre začiatočníkov, trochu horšie pochopiteľná. Pri knižnici Image Magick, resp. jeho interfejsu pre C++ nazývanom Magick++, nejde vlastne ani o dokumentáciu, ale len o zoznam funkcií. Táto dokumentácia je veľmi slabá. Popis jednotlivých dokumentácií:

OpenCV (Doxygen) - vysvetlené parametre, popísané úlohy funkcií, pri zložitejších funkciách aj vysvetlenie matematického pozadia, občas uvedené aj príklady použitia, poprípade obrázky, ktoré ukazujú výsledok aplikovania danej funkcie.

Gandalf (Doxygen) - vysvetlené parametre, popísané úlohy funkcií, pri zložitejších aj vysvetlenie matematického pozadia.

IM (Doxygen) - podobná ako Gandalf a OpenCV. Vysvetlené sú len tie parametre, ktoré nie sú zrejmé, podobne aj úlohy jednotlivých funkcií. Neobsahuje príklady ani dlhšie vysvetľovanie matematického pozadia. Avšak dokumentácia je krátka, prehľadná a čo je hlavné, postačujúca.

ITK (Doxygen) - iná ako Gandalf a OpenCV a IM, keďže aj knižnica má inú štruktúru. Obsahuje UML diagramy. Neobsahuje síce príklady použitia, ale tie sú v príručke pre začiatočníkov. Avšak vstupné parametre filtrov sú podľa nás, najmä pre začiatočníkov, slabo popísané. Podobne je to aj s úlohami niektorých filtrov.

Image Magick (vlastná) - len zoznam funkcií a parametrov. Parametre aj keď ich je minimálne, sú často krát málo vysvetlené alebo aj nevysvetlené. Funkcie sú len krátko popísane. Pri funkciách, ktoré si vyžadujú aj spôsob ich implementácie, tento spôsob nie je vôbec zdokumentovaný.

3.2 Prehľadové tabuľky

3.2.1 Podporované dátové štruktúry

	Gandalf	IM	Magick++	ITK	MIL	OpenCV
Množiny				X		X
Grafy				X		X
Pyramídy	X			X		X
Reťazce	X			X		X
Stromy			X	X		X
Mriežky				X		

Tabuľka 3.1: Prehľad podporovaných dátových štruktúr

3.2.2 Podporované formáty

	Gandalf	IM	Magick++	ITK	MIL	MVSDK	OpenCV
AVI		X	X		X	X	
BMP		X	X	X	X	X	X
DIB			X				X
EPS			X				
GIF	X	X	X			X	
GIPL				X			
ICO		X	X				
JPEG	X	X	X	X	X	X	X
JP2		X	X		X		X
MPEG			X		X		
PBM	X		X				X
PCX		X	X				
PGM	X		X				X
PNG	X	X	X	X		X	X
PNM		X	X				
PPM	X		X				X
RAS		X					X
RAW		X		X			
SGI		X	X				
TGA		X	X				
TIFF	X	X	X	X	X		X
Iné		LED WMV	DPX,MAT PCD,PDF PS,SVG TTF,WMF ...	GE; DICOM MetaIm. VTK ...			EXR, SR

Tabuľka 3.2: Prehľad podporovaných formátov

3.2.3 Poskytovaná funkčnosť

	Gandalf	IM	Magick++	ITK	MIL	OpenCV
Vzorkovanie			X	X		X
Kvantizácia		X	X			
Aritmetické operácie	X	X		X	X	X
Logické operácie	X	X		X	X	X
Morfologické operácie		X		X	X	X
Operácie s histogramom		X	X	X	X	X
Geometrické transformácie	X	X	X	X	X	X
Fourierova		X		X	X	X
Diskrétna kosínusová					X	X
Priemerovanie	X	X	X	X	X	X
Rotujúca maska		X				
Median		X	X	X		X
Frekvenčná filtrácia					X	
Konvolúcia	X	X	X	X	X	X
Cannyho operátor	X	X		X	X	X
Detekcia čiar	X					
Detekcia rohov	X					
Prahovanie		X	X	X	X	X
Houghova transformácia	X	X		X		X
Porovnávanie so vzorom				X	X	X
Spájanie oblastí				X		
Delenie oblastí				X		
Povodia				X	X	
Registrácia				X		

Tabuľka 3.3: Prehľad implementácie problémov spracovania obrazu

3.2.4 Podporované operačné systémy

	Gandalf	IM	Magick++	ITK	MIL	MVSDK	OpenCV
AIX		X		X			
Cygwin			X	X			
FreeBSD			X				
HP-UX				X			
IRIX	X	X		X			
LINUX	X	X	X	X	X		X
SunOS		X	X	X			
MacOSX	X			X			X
Win2000	X	X	X	X	X		X
WinNT	X	X	X	X	X	X	X
WinXP	X	X	X	X	X		X

Tabuľka 3.4: Prehľad použitia v rôznych operačných systémoch

3.2.5 Podporované programovacie jazyky

	Gandalf	IM	Magick++	ITK	MIL	MVSDK	OpenCV
C	X		X				X
C++	X	X	X	X	X	X	X
Java			X				
.NET			X				X
PHP			X				
Python			X	X			
Tcl			X	X			

Tabuľka 3.5: Prehľad použitia v rôznych programovacích jazykoch

Okrem v tabuľke spomínaných programovacích jazykov, poskytuje kniž-

nica Image Magick ešte interfejs pre nasledujúce programovacie jazyky: Ada, Ch, COM++, Lisp, Neko/ha Xe, Pascal, Perl, Ruby. Teda pokiaľ ide o toto kritérium, táto knižnica viacnásobne prevýšila ostatné knižnice.

3.3 Odporúčania pre riešenia problémov spracovania obrazu

Detekcia hrán

Pre problém detekcie hrán je možné použiť viacero knižníc, záleží na požadovanom spôsobe nájdenia týchto hrán. Odporučili by sme skúsiť knižnice OpenCV alebo ITK. Knižnica MIL má pre tento problém samostatný modul.

Segmentácia

Pre riešenie problémov segmentácie je najlepšie použiť knižnicu ITK, ktorá sa na tieto problémy špecializuje.

Ostatné základné funkcie spracovania obrazu

Prehľad implementácie základných funkcií pre spracovanie môžete nájsť v tabuľke 3.5. Pri hľadaní riešení základných problémov preto odporúčame riadiť sa podľa tejto tabuľky.

3.4 Odporúčania pre riešenia problémov počítačového videnia

Analýza spojených komponentov

Pri analýze farebných komponentov ("blobs") by som použila knižnicu MIL, keďže má pre tento problém naprogramovaný samostatný modul.

Aktívne kontúry - Hady

Tomuto druhu segmentácie pomocou parametrického kontúrovacieho modelu sa venuje iba knižnica OpenCV, preto Vám odporúčame použiť práve túto knižnicu.

Detekcia chýb

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV, alebo knižnicu MIL. Dosť úzko súvisiacemu problému, a to detekcii falzifikátov, sa venuje aj knižnica Gandalf.

Detekcia tváre

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV.

Identifikácia objektov

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV.

Interakcia človeka a počítača

Tejto problematike sa spomedzi všetkých charakterizovaných knižníc venuje iba knižnica OpenCV.

Kalmanov filter

Keďže Kalmanov filter sme našli implementovaný iba v jednej knižnici a to OpenCV, odporúčame Vám práve túto knižnicu.

Nájdenie geometrického modelu

Pre tento problém by sme Vám odporučili knižnicu MIL, keďže má pre to naprogramovaný samostatný modul.

Nastavenie kamery

Pre nastavenie ako aj kalibráciu kamery by sme odporučili buď knižnicu OpenCV alebo knižnicu MIL. Pre geometrické alebo fotometrické transformácie kamery by sme Vám odporučili knižnicu Gandalf.

OCR

S modulom pre optické rozpoznávanie znakov sme sa stretli iba pri knižnici MIL, preto Vám môžeme odporučiť iba túto knižnicu.

Registrácia

Pre riešenie problémov registrácie je najlepšie použiť knižnicu ITK, ktorá sa na tieto problémy špecializuje.

Rozpoznávanie gest a výrazov

Tejto problematike sa spomedzi všetkých charakterizovaných knižníc venuje iba knižnica OpenCV.

Sledovanie a detekcia pohybu

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV. Avšak detekcii pohybu sa venuje aj knižnica Gandalf.

Získanie štruktúry z pohybu

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV.

Zobrazenie optického toku

Pre tento problém má samostatný modul knižnica OpenCV, preto Vám odporúčame práve túto knižnicu.

3D

Knižnica Gandalf obsahuje podmoduly pre 3D rotáciu ako aj pre Euklidovu 3D transformáciu. Avšak komplexnejšie sa 3D problematike venuje knižnica OpenCV.

3D rekonštrukcia

Pre túto problematiku odporúčame knižnicu OpenCV.

3.5 Odporúčania pre riešenia iných problémov

Automatické rozpoznávanie ŠPZ

Tento problém má vo svojej špecifikácii spomenutý knižnica MIL.

Konverzia formátov

Pre konverziu medzi rôznymi formátmi Vám jednoznačne odporúčame pozrieť sa na knižnicu Image Magick, ktorá obsahuje podporu pre viac ako 100 obrazových formátov.

Robotika

Knižnica OpenCV sa venuje mobilnej robotike. Knižnica MIL sa dá použiť na riadení robota.

Práca s medicínskymi dátami

Pre riešenie problémov segmentácie je najlepšie použiť knižnicu ITK, ktorá bola vytváraná medicínskou organizáciou a je určená práve na prácu s medicínskymi dátami.

Použitie na web stránke

Pokiaľ nejde o nejaké zložité algoritmy, ale len jednoduché úkony (čo väčšinou o web stránkach platí), odporučila by som knižnicu Image Magick. Táto knižnica poskytuje viaceré interfejsi pre programovacie jazyky, ktoré sa dajú použiť aj pri tvorbe web stránok. Navyše aj rýchlosť, ktorá sa od webových aplikácií očakáva, bola pri tejto knižnici v norme.

Záver

V tejto práci sa nám podarilo vytvoriť komplexný prehľad knižníc podľa rovnakých bodov charakterizácie. Zistili sme, že mnohé knižnice sa navzájom využívajú, alebo majú pripravenú podporu pre vzájomnú spoluprácu (napr. IM používa FFTW). Pri kombinovaní knižníc však treba dávať pozor na ich licencie. Môže sa stať, že knižnice majú rôzne licencie. Takisto sme zaznamenali jav, že knižnice, ktoré boli niekedy v minulosti voľne dostupné sa po "voľnom" otestovaní a získaní mena, stali komerčnými. To napovedá, že táto oblasť sa stáva komerčne zaujímavou. Je to pravdepodobne z dôvodu rozmachu digitálnych technológií pre širší okruh ľudí, ako aj poklesu cien digitálnych zariadení.

Pri testovaní knižníc sa nám podarilo dospieť k zaujímavým a možno aj trochu neočakávaným výsledkom. Testovanie zároveň môže pomôcť pri informácií a časovej náročnosti knižnice. Táto informácia je dôležitá najmä pri potrebe čo najrýchlejšieho spracovania vstupných dát.

Najväčším prínosom tejto práce sú určite odporúčania, rady a porovnania, ktoré začínajúcim používateľom pomôžu pri riešení ich problémov, resp. pri rozhodovaní ktorú knižnicu bude najlepšie na ten ktorý problém použiť.

V budúcnosti by sa táto práca mohla rozšíriť o spracovanie ďalších knižníc. Knižnice by mohli byť špecializované buď znova na oblasť spracovania obrazu, alebo by sa mohli vytvoriť podobné prehľady a testovania pre iné oblasti ako napr. počítačové videnie, kompresia obrazu, numerické a štatistické algoritmy a iné.

Literatúra

- [1] Computer Vision Software, <http://www.cs.cmu.edu/cil/vision.html>
- [2] Free Graphics Libraries, 2D & 3D Engines, <http://www.thefreecountry.com/sourcecode/graphics.shtml>
- [3] Microsoft Vision SDK Homepage, <http://www.research.microsoft.com/research/vision>
- [4] The Microsoft Windows SDK User's Guide, http://www.lamce.ufrj.br/grva/realidade_aumentada/visionsdk/VisSDK.pdf
- [5] The Microsoft Windows SDK Release 1.2 Full Version, May 2000, http://users.isr.ist.utl.pt/~alex/Resources/VisSDK/VisSDK_Full.zip
- [6] OpenCV, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv>
- [7] Barbora Středanská, Segmentácia srdca z MRI dát, 2005
- [8] OpenCV_2005Q4_tutorial.ppt, http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=22870&package_id=16949&release_id=174855
- [9] OpenCV Contributors, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/contributors.htm>
- [10] OpenCV Committee, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/committee.htm>
- [11] OpenCV License, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/license.htm>

- [12] OpenCV Wiki pages, <http://opencvlibrary.sourceforge.net>
- [13] ITK Home page, <http://www.itk.org/index.htm>
- [14] ITK About, <http://www.itk.org/HTML/About.htm>
- [15] ITK License, <http://www.itk.org/HTML/Copyright.htm>
- [16] CMake home page, <http://www.cmake.org/HTML/Index.html>
- [17] CableSwig, <http://www.itk.org/HTML/CableSwig.html>
- [18] Gandalf, <http://gandalf-library.sourceforge.net>
- [19] Gandalf dokumentácia,
<http://gandalf-library.sourceforge.net/tutorial/report/index.html>
- [20] GNU Lesser General Public License,
<http://www.fsf.org/licensing/licenses/lgpl.html>
- [21] Gandalf download,
http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=39018
- [22] Z compression library, <http://www.gzip.org/zlib>
- [23] Libpng library, <http://www.libpng.org/pub/png/libpng.html>
- [24] Mesa library, <http://www.mesa3d.org>
- [25] Glut for Win32, <http://www.xmission.com/~nate/glut.html>
- [26] LAPACK library, <http://www.netlib.org/lapack>
- [27] Image Magick Web site, <http://www.imagemagick.org/script/index.php>
- [28] Examples of ImageMagick Usage, <http://www.imagemagick.org/Usage>
- [29] GNU GPL, <http://www.fsf.org/licensing/licenses>
- [30] Image Magick License, <http://www.imagemagick.org/script/license.php>

- [31] Image Magick Image Formats,
<http://www.imagemagick.org/script/formats.php>
- [32] Image Magick Online Studio,
<http://www.imagemagick.org/MagickStudio/scripts/MagickStudio.cgi>
- [33] IM Library, <http://www.tecgraf.puc-rio.br/im>
- [34] IM download site,
http://luaforge.net/project/showfiles.php?group_id=86
- [35] IM download folder, <http://www.tecgraf.puc-rio.br/im/download/>
- [36] IUP Library, <http://www.tecgraf.puc-rio.br/iup>
- [37] CD Library, <http://www.tecgraf.puc-rio.br/cd/>
- [38] ImLab, <http://imlab.sourceforge.net>
- [39] MIL Home page,
<http://www.matrox.com/imaging/products/mil/home.cfm>
- [40] MIL Datasheet,
http://www.matrox.com/imaging/products/mil/b_mil.pdf
- [41] Understanding MIL licensing mechanism,
http://www.matrox.com/imaging/products/mil/mil_licensing.pdf
- [42] MIL UserGuide,
<ftp://ftp.matrox.com/pub/imaging/mil/mil75/MIL75UserGuideUpdate.zip>
- [43] ImageLib, <http://purl.oclc.org/brendt/software/imagelib>
- [44] Matrox Image Library, <http://www.matrox.com/imaging>
- [45] FFTW library, <http://www.fftw.org>
- [46] Matrix Template Library, <http://www.osl.iu.edu/research/mtl/>

- [47] AMD Core Math Library, <http://developer.amd.com/acml.aspx>
- [48] Intel Math Kernel Library,
<http://www.intel.com/technology/computing/imkl>
- [49] Computational Geometry Algorithms Library,
<http://www.cs.uu.nl/CGAL/>
- [50] NAG Libraries, www.nag.co.uk
- [51] Scilab, <http://scilabsoft.inria.fr/>
- [52] GD Library, <http://www.boutell.com/gd/>
- [53] Intel JPEG Library,
<http://www.intel.com/technology/computing/ijpegl>
- [54] IJG Library, <http://www.ijg.org>
- [55] PASJPEG, <http://www.nomssi.de/pasjpeg/pasjpeg.html>
- [56] ImageJ, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- [57] Blas FAQ, <http://www.netlib.org/blas/faq.html>
- [58] Lapack users guide, <http://www.netlib.org/lapack/lug/index.html>
- [59] Acml users guide,
http://developer.amd.com/assets/acml_userguide.pdf
- [60] Intel Image Processing Library Quick Reference,
http://www.lamce.ufrj.br/grva/realidade_aumentada/ipl/iplqref.pdf
- [61] Intel Image Processing Library Reference Manual,
<https://www.cs.tcd.ie/courses/ba/4ba10/TIPS/IPLManualRelease2.2.pdf>
- [62] Fourier transform sample,
http://www.tecgraf.puc-rio.br/im/download/proc_fourier.cpp