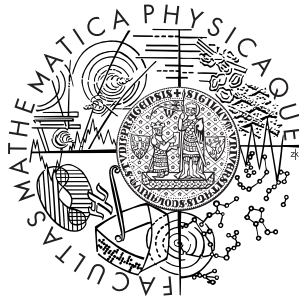


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Matúš Tejiščák

Zpracování snímků z družice Landsat

Katedra teoretické informatiky a matematické logiky

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Ondřej Zajíček

Studijní program: Informatika – Programování

2008

Ďakujem svomu vedúcemu, Mgr. Zajíčkovi, za zodpovedný prístup, rady, dobré postrehy a nápady týkajúce sa tejto práce.

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu napísal samostatne a výhradne s použitím citovaných prameňov. Súhlasím so zapožičiavaním práce a jej zverejňovaním.

V Prahe dňa 7.8.2008

Matúš Tejiščák

Obsah

1	Úvod	6
1.1	Motivácia	6
1.2	Dostupný materiál	7
1.2.1	Systém WRS	8
1.2.2	Systém UTM	9
1.3	Cieľová funkcionálnosť	9
2	Implementácia	11
2.1	Model kombinácie spektrálnych komponentov	11
2.2	Kompozícia RGB obrazu	13
2.2.1	Farebný priestor KLM	14
2.2.2	Kombinácia transformácií	15
2.3	Architektúra aplikácie	17
2.3.1	Utilita <code>merge</code>	19
2.3.2	Utilita <code>stitch</code>	20
2.3.3	Adresárová štruktúra	20
3	Záver	22
3.1	Ukážky	22
3.2	Ďalšie úvahy	25
4	Apendix	27
4.1	Všeobecné vzťahy pre $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$	27
4.2	Návod na inštaláciu a používanie	29
4.3	Použitý softvér	29
4.4	Linky	29
4.5	Požiadavky na HW/SW	30
	Literatúra	32

Název práce: Zpracování snímků z družice Landsat
Autor: Matúš Tejiščák
Katedra (ústav): Katedra teoretické informatiky a matematické logiky
Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Ondřej Zajíček
e-mail vedoucího: santiago@crfreenet.org

Abstrakt: V predloženej práci sa skúmajú možnosti spracovania snímkov z družice Landsat spôsobom lepším než naivná kompozícia RGB obrazu z monochromatických obrazov v červenom, zelenom a modrom pásme viditeľného svetla, ktoré sú súčasťou verejne dostupných dát z Landsatu. Tieto monochromatické obrazy majú totiž rozlíšenie 28.5 metrov na pixel. Dostupný je však aj tzv. *panchromatický* kanál s rozlíšením 14.25 m/px, ktorý ale nekorešponduje priamo s pásmom viditeľného svetla – je posunutý smerom k infračervenej oblasti. Hľadá sa teda spôsob, ako z obrazov vo viditeľnom svetle (s nízkym rozlíšením) a panchromatického obrazu (s vysokým rozlíšením) zasahujúceho do viditeľného pásma zostaviť obraz v prirodzených farbách a zároveň s vysokým rozlíšením. Ďalším cieľom práce je poskytnúť automatizovaný spôsob spracovania snímkov od ich stiahnutia z internetu, cez spracovanie uvedeným spôsobom, až po vytvorenie výsledného, hotového obrazu.

Kľúčové slová: Landsat, satelitné snímky, spracovanie, automatizácia

Title: Landsat imagery processing
Author: Matúš Tejiščák
Department: Department of Theoretical Computer Science and Mathematical Logic
Supervisor: Mgr. Ondřej Zajíček
Supervisor's e-mail address: santiago@crfreenet.org

Abstract: In the presented work, possibilities to process Landsat imagery are studied. The aim is to find better methods of composition of natural-colored images from the monochromatic images in the red, green, and blue spectral ranges, publicly available on the Landsat FTP. These images' resolution is 28.5 m per pixel. Furthermore, panchromatic images are provided; their resolution is 14.25 m/px. However, the spectral range of panchromatic images does not correspond exactly to the visible light, instead, they cover

bands roughly from green to near infrared spectral area. Therefore a way is sought to merge the spectral components into a single natural-colored, yet high-resolution (equal to resolution of the panchromatic component) image. Another objective is to provide an automated way of downloading relevant scenes, processing them in the described way and finally outputting a single resulting image.

Keywords: Landsat, satellite, imagery, processing, automation

Kapitola 1

Úvod

1.1 Motivácia

Landsat je vesmírny program zameraný na monitorovanie zemského povrchu s dôrazom na pravidelné obnovovanie nasnímaných dát[LH1]. Družica Landsat 7, vypustená v roku 1999, poskytuje obrazy v ôsmich spektrálnych pásmach, z ktorých je 7 disjunktných a ôsmym je tzv. panchromatické pásmo, ktoré pokrýva oblasť zhruba zeleného až blízkeho infračerveného svetla (kanály 2, 3 a 4). [LTG]

Vzhľadom na široký spektrálny záber a pomerne vysoké priestorové rozlíšenie snímok je tieto možné využiť na rozličné účely – zisťovať druh povrchu, množstvo a rozloženie vegetácie[LH6], či získavať klasické satelitné snímky v prirodzenom, viditeľnom svetle.

Na získavanie snímok v prirodzenom svetle obsahujú dáta z Landsatu práve snímky v červenom, zelenom a modrom pásme. Tieto snímky majú rozlíšenie 28.5 metra na pixel. Ich zložením vznikne na pohľad prirodzený obraz, avšak s nízkym rozlíšením. Okrem nich totiž do viditeľného svetla zasahuje aj panchromatický kanál s rozlíšením 14.25 metra na pixel. Ak by sme extrahovali zložku panchromatického kanála zasahujúcu do viditeľného pásma a vhodne ju skombinovali s obrazom z červeného, zeleného a modrého pásma, dostali by sme snímok vo viditeľnom svetle s vysokým rozlíšením.

Potrebuje teda nájsť spôsob, ako kombinovať obrazy v rôznych spektrálnych pásmach (a s rôznym rozlíšením), aby sme dostali požadovaný výsledok – štandardný RGB obraz s rozlíšením panchromatického kanála. Okrem toho chceme implementovať program, ktorý by všetko vykonával automaticky – stiahol by potrebné dáta z internetu, spracoval ich a vyprodukoval by

výsledný obraz ako súbor v nejakom štandardnom formáte.

1.2 Dostupný materiál

Spracované údaje sa nachádzajú na FTP serveri Global Land Cover Facility (GLCF)¹ na adrese `ftp://ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/Landsat/WRS2/`. Všetky dáta (vrátane ukážok) použité v práci boli čerpané odtiaľto, tj. z [LD].

Snímky zemského povrchu sú rozdelené do *scén* o veľkosti zhruba 180 × 180 km; každá takáto scéna je nasnímaná v ôsmich spektrálnych pásmach a takto vzniknuté snímky (7+2 monochromatických obrázkov²) sa ukladajú na príslušné miesto v adresárovej štruktúre repozitára.

Adresárová štruktúra repozitára odrzkadľuje systém WRS (sekcia 1.2.1), čiže prvá podadresárová úroveň diferencuje medzi WRS cestami a druhá podadresárová úroveň medzi WRS riadkami. V tretej úrovni sa diferencuje medzi druhmi dát – niektoré oblasti majú na výber TM, ETM+³, prípadne iné dátové sady.

Dáta sú vo formáte GeoTIFF⁴, ktorý využíva *tagovateľnosť*⁵ TIFF formátu na jeho obohatenie o geografické metadáta; v tomto prípade ide predovšetkým o dáta opisujúce mapovanie obrazu na geografické súradnice. Použité geografické súradnice sú udané v systéme UTM (sekcia 1.2.2). TIFF obrazy sú komprimované programom `gzip`, aby bola zredukovaná náročnosť prenosu súborov po internete.

Dekomprimovaný TIFF súbor má veľkosť zhruba 70MB v prípade R, G, B kanálov (28.5 m/px), 280MB v prípade panchromatického kanála (14.25 m/px). Rozmery obrazov sú asi 7000 × 8000, resp. 14000 × 16000 px a zaberajú (už spomínanú) oblasť približne 180 × 180 km.

Jeden TIFF súbor obsahuje na čiernom pozadí umiestnený natočený rovnobežník, ktorý obsahuje jeden snímok po korekcii tak, že 1 pixel zodpovedá príslušnému počtu metrov a celý snímok je v UTM projekcii príslušnej zóny.

¹Bližšie informácie o GLCF: <http://glcfc.umiacs.umd.edu/aboutUs/>

²Kanál č. 6 sa poskytuje v dvoch snímkoch – s vysokým ziskom a nízkym ziskom.

³TM, Thematic Mapper vs. ETM(+), Enhanced Thematic Mapper (Plus), sú druhy senzorov použité v satelite. [LH3]

⁴V tomto formáte sa dodáva produkt *Level 1G*, čo znamená, že na dáta boli aplikované isté korekcie, ktorých rozoberanie je mimo rozsahu tejto práce; bližšie informácie sa nachádzajú v [LH11]. Špecifikácia formátu GeoTIFF sa nachádza v [GT].

⁵Čím sa rozumie možnosť pripojiť k obrazu metadáta.

Na štvrtej úrovni adresárovej štruktúry sa teda nachádzajú samotné komprimované TIFF súbory, pre každý kanál jeden (s výnimkou kanála 6, ktorý sa poskytuje vo dvoch snímkoch – s vysokým a nízkym ziskom).

Kanál	Názov	Rozsah (<i>nm</i>)	Rozlíšenie (<i>m/px</i>)
1	Modrý	450 – 515	28.5
2	Zelený	525 – 605	28.5
3	Červený	630 – 690	28.5
4	Blízky IR	760 – 900	28.5
5	Stredný IR	1550 – 1750	28.5
6	Tepelný	10400 – 12500	57
7	Stredný IR	2080 – 2350	28.5
8	Panchromatický	520 – 920	14.25

Tabuľka 1.1: Spektrálne rozsahy kanálov Landsatu 7, podľa [LTG]

Z tabuľky 1.2 vidno, že panchromatický kanál zaberá rozsah zhruba kanálov 2, 3 a 4, preto budeme pracovať s dátami kanálov 1, 2, 3, 4 a 8.

Okrem toho sa na štvrtej úrovni adresárovej štruktúry nachádzajú aj súbory s príponou `.met`, obsahujúce rozličné informácie o scéne, predovšetkým geografické súradnice rohov scény, projekciu scény, pixelové rozlíšenie apod. Tieto informácie (obsahujúce informácie o scéne, tj. nečiernom rovnobežníku v obraze), spolu s metadátami z GeoTIFF tagov umožňujú presne prevádzať súradnice z geografických na pixelové súradnice v TIFF obraze a vice versa.

1.2.1 Systém WRS

WRS (Worldwide Reference System) je systém identifikácie jednotlivých scén snímaných Landsatom. Jednu scénu identifikuje dvojica prirodzených čísel *cesta-riadok* (path-row). Ciest je 233, riadkov 248. Jednotlivé scény sa navzájom prekrývajú, a to tým viac, čím bližšie k pólom.

Bližšie informácie o WRS⁶ podáva [LH5].

⁶Pre naše účely stačí vedieť, že scéna sa identifikuje dvojicou prirodzených čísel v nejakom rozsahu.

1.2.2 Systém UTM

UTM (Universal Transverse Mercator) je systém projekcií vychádzajúci z Mercatorovej projekcie. Povrch Zeme sa rozdeľuje do 60 zón; každá zóna má vlastnú projekciu, čím sa znižuje skreslenie projektovaných obrazov. V rámci každej zóny sa potom používajú pohodlné kilometrové súradnice – *easting* a *northing*.

Každá UTM zóna tvorí pás v blízkom okolí niektorého poludníka, ktorý sa nazýva centrálnym meridiánom zóny. Pri určovaní súradníc bodu na povrchu Zeme si teda najprv zvolíme UTM zónu, v ktorej budeme udávať ostatné údaje, prirodzene, najlepšou voľbou bude zóna s najbližším centrálnym meridiánom, aby došlo k čo najmenšiemu skresleniu.

Súradnica *easting* predstavuje vzdialenosť v metroch meranú od centrálného meridiána UTM zóny až ku zvolenému bodu, rastúcu na východ, klesajúcu na západ. Centrálny meridián UTM zóny má všade konštantný *easting* o hodnote 500000 m.

Northing je vzdialenosť v metroch meraná od rovníka, na sever stúpajúca, k zvolenému bodu. Rovník má všade *northing* rovný 0 m. [TM1, TM2]

Geografické súradnice používané u dát z Landsatu sú udané práve v UTM, rovnako aj dáta samotné (obrazy) sú v UTM (tj. v projekcii príslušnej zóny)⁷.

1.3 Cieľová funkcionálna

Program má mať rozhranie konzolovej aplikácie, čo umožňuje zaraďovať ho do väčších celkov – skriptov a podobne. Má poskytovať plne automatizované spracovanie, od stiahnutia dát z FTP Landsatu, cez zostrovanie obrazov, vytváranie výrezov, ich zošívanie, spájanie a konverziu do finálneho obrazového formátu. Prijíma výrez zadaný v UTM a výstupom je jeden obrázok reprezentujúci snímok daného výrezu vo zvolenom formáte.

Názov spúšťaného príkazu je `landmerge` a podporuje nasledujúce prepínače:

- `-z <zone>` – Číslo UTM zóny. Ide o longitudálnu zónu, teda iba o číslo zóny zbavené písmenného suffixu, závislé iba na centrálnom meridiáne zóny. Je to prirodzené číslo v rozsahu 1–60.

⁷Údaj pochádza z `.met` metasúborov [LD], ktoré sú opísané v sekcii 1.2.

- `-a <area>` – Požadovaný výrez. Zadáva sa vo formáte *šírka**x**výška*@*x*,*y*, kde *x*, *y* sú súradnice ľavého horného rohu výrezu – *x* je easting a *y* je northing (viď sekciu 1.2.2 o UTM), a *šírka*, *výška* sú rozmery snímanej oblasti v metroch. Na južnej pologuli je teda northing záporný.
- `-o <outfile.png>` – Výstupný súbor. Udáva názov súboru, kam sa má uložiť výsledný obrázok. Implicitná hodnota tohto parametra je `outfile.png`. Od prípony tohto súboru závisí formát, do ktorého sa obrázok nakoniec prevedie. Podporované formáty sú:
 - `*.png` – PNG, defaultný formát, bezstratová kompresia.
 - `*.jpg` – JPEG obrázky. Kvalita kompresie sa nastavuje prepínačom `-q`.
 - `*.raw` – RAW RGB obrázky. K takýmto súborom sa vygeneruje ešte jeden textový súbor (`file.raw` → `file.raw.size`), v ktorom sa nachádza len jeden riadok a na ňom dve prirodzené čísla – šírka a výška obrázka.
- `-q <quality>` – Kvalite JPEG kompresie. Prirodzené číslo v rozsahu 1..100, pričom vyššie číslo znamená väčší súbor a detailnejší obrázok.

Príkaz na spracovanie môže teda vyzeráť napríklad nasledovne:

```
./landmerge -z 34 -a 10000x10000@500000,5200000 -o test.png
```

Kapitola 2

Implementácia

2.1 Model kombinácie spektrálnych komponentov

Podľa [LO] pokrýva panchromatický kanál rozsah zhruba kanálov 2, 3 a 4, teda oblasť zeleného až blízkeho infračerveného svetla. Pre naše účely však potrebujeme informáciu z kanálov 1, 2 a 3, ktoré pokrývajú pásmo viditeľného svetla. Preto potrebujeme nájsť spôsob, ako kanály miešať – odpočítať z panchromatického kanála blízke infračervené pásmo a pripočítať k nemu modré, a teda zvoliť vhodný model miešania spektrálnych kanálov.

Budeme predpokladať, že môžeme obraz z panchromatického kanála považovať za lineárnu kombináciu kanálov pokrývajúcich jeho rozsah. Pre pixel i jeho farba a_i teda je

$$a_i = \alpha(x_i - x_\varphi) + \beta(y_i - y_\varphi) + \gamma(z_i - z_\varphi) + a_\varphi$$

kde x_i, y_i, z_i sú intenzity pixelov nasnímaných v zelenom, červenom a blízkom infračervenom pásme, α, β, γ sú multiplikatívne konštanty závisiace od citlivosti panchromatického snímača v príslušnom pásme a podielu šírky tohoto pásma k šírke celého panchromatického pásma, $x_\varphi, y_\varphi, z_\varphi, a_\varphi$ sú absolútne aditívne konštanty pre jednotlivé pásma.

Celý výraz sa ale dá ešte zjednodušiť:

$$\begin{aligned} a_i &= \alpha(x_i - x_\varphi) + \beta(y_i - y_\varphi) + \gamma(z_i - z_\varphi) + a_\varphi \\ a_i &= \alpha x_i + \beta y_i + \gamma z_i + \underbrace{a_\varphi - (\alpha x_\varphi + \beta y_\varphi + \gamma z_\varphi)}_{\varphi=\text{const}} \end{aligned}$$

$$a_i = \alpha x_i + \beta y_i + \gamma z_i + \varphi \quad (2.1.1)$$

Ak poznáme konštanty α , β , γ a φ , môžeme znalosť $\alpha x_i + \beta y_i$ (čo zodpovedá zelenému a červenému kanálu) s vysokým rozlíšením použiť na zvýšenie rozlíšenia RGB obrazu vhodným nahradením červeno-zelenej zložky údajmi z panchromatického kanála (po odčítaní infračervenej zložky).

Potrebujeme teda určiť z nameraných hodnôt (teda z obrazových dát) spomínané konštanty α , β , γ a φ . To sa vykoná lineárnou regresiou metódou najmenších štvorcov. Nech b_i je nameraná intenzita i -tého pixelu panchromatického kanála, a_i je jeho vypočítaná hodnota z príslušných zložiek podľa vzťahu (2.1.1). Potom celkovú chybu zavedieme ako súčet štvorcov odchýliek vypočítaných intenzít od nameraných:

$$\Delta = \sum (a_i - b_i)^2 \quad (2.1.2)$$

Odchýlku chceme minimalizovať, preto položíme

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \alpha} = \frac{\partial \Delta}{\partial \beta} = \frac{\partial \Delta}{\partial \gamma} = \frac{\partial \Delta}{\partial \varphi} = 0 \quad (2.1.3)$$

Označme $S_\mu = \sum \mu_i$ a $S_{\pi\rho} = \sum \pi_i \rho_i$. Potom po zderivovaní (2.1.2), dosadení do (2.1.3) a zjednodušení dostávame:

$$\begin{aligned} \alpha S_{xx} + \beta S_{xy} + \gamma S_{xz} + \varphi S_x &= S_{bx} \\ \alpha S_{yx} + \beta S_{yy} + \gamma S_{yz} + \varphi S_y &= S_{by} \\ \alpha S_{zx} + \beta S_{zy} + \gamma S_{zz} + \varphi S_z &= S_{bz} \\ \alpha S_x + \beta S_y + \gamma S_z + \varphi &= S_b \end{aligned}$$

čo prepíšeme do maticového tvaru

$$\begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} & S_x \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} & S_y \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} & S_z \\ S_x & S_y & S_z & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{bx} \\ S_{by} \\ S_{bz} \\ S_b \end{pmatrix}$$

Riešením tejto sústavy lineárnych rovníc dostaneme hľadané konštanty α , β , γ , φ . Všeobecné vzťahy pre ne sú uvedené kvôli ich rozsiahlosti v apendixe (4.1).

Na náhodne vybranej vzorke dát boli namerané nasledujúce konštanty (je to regresia cez celú meranú oblasť):

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.2367 \\ \beta &= 0.1255 \\ \gamma &= 0.3228 \\ \varphi &= -5.139 \times 10^{-3}\end{aligned}\tag{2.1.4}$$

Keďže absolútny člen φ je so svojou hodnotou 0.00514 voči použitej škále $\langle 0, 255 \rangle$ nepatrný, zanedbáme ho¹. To dáva vzťah pre zmiešavanie kanálov 2, 3 a 4 do panchromatického pre danú vzorku:

$$a_i \approx 0.237x_i + 0.126y_i + 0.323z_i\tag{2.1.5}$$

Empiricky sa ukazuje, že všetky vzorky dávajú zhruba rovnaké hodnoty α , β , γ a φ , navyše pekne korešpondujúce s pomerom rozsahov vlnových dĺžok jednotlivých kanálov k celému panchromatickému kanálu.

2.2 Kompozícia RGB obrazu

Výsledný RGB obraz s vysokým rozlíšením budeme skladať z dvoch zložiek

- RGB obraz s nízkym rozlíšením – priamym zložením z kanálov 1, 2 a 3.
- $\alpha G + \beta R$ obraz s vysokým rozlíšením vzniknúvší odpočítaním blízkej infračervenej zložky z panchromatického kanála.

Na tento účel by sa nám hodil farebný priestor, ktorý by bol izomorfný RGB a zároveň by jedna jeho zložka priamo korešpondovala $\alpha G + \beta R$ obrazu, pričom ostatné jeho zložky by boli na tomto obraze nezávislé. Vtedy by sa dalo

- (bezstratovo a jednoznačne) prevádzať medzi týmto priestorom a RGB
- nahradiť jednu farebnú zložku obrazu vyjadreného v tomto priestore obrazom extrahovaným z panchromatického obrazu, ostatné zložky pritom iba interpolovať na vyššie rozlíšenie.

¹To zároveň podporuje naše rozhodnutie použiť lineárny model kombinácie spektrálnych komponentov do panchromatického kanála zo začiatku tejto sekcie.

To vedie na priamočiary postup konštrukcie výsledného obrazu:

1. Zložiť kanály 1, 2 a 3 na RGB obraz s nízkym rozlíšením
2. Previesť tento obraz do uvedeného farebného priestoru
3. Zdvojnásobiť rozlíšenie obrazu dointerpolovaním chýbajúcich pixelov
4. Nahradiť príslušný kanál obrazom získaným odčítaním blízkeho infračerveného kanála z panchromatického
5. Previesť obraz naspäť do RGB priestoru

Ako by mal teda hľadaný priestor (označme ho KLM) vyzerat'?

2.2.1 Farebný priestor KLM

Skonstruujme teda maticu prechodu z RGB do KLM².

Budeme chcieť, aby jedna zložka priamo korešpondovala údajom extrahovaným z panchromatického kanála, nech je to teda trebárs zložka K .

$$K = \beta \cdot R + \alpha \cdot G + 0 \cdot B$$

Navyše bázové vektory KLM budeme chcieť na seba kolmé, čomu vyhovuje voľba L napríklad nasledovne:

$$L = 0 \cdot R + 0 \cdot G + 1 \cdot B$$

Tretí bázový vektor pre M dostaneme vektorovým súčinom predchádzajúcich dvoch:

$$M = \alpha \cdot R - \beta \cdot G + 0 \cdot B$$

Odtiaľ odvodíme maticu prechodu a jej inverziu:

$$T_{\text{RGB} \rightarrow \text{KLM}} = \begin{pmatrix} \beta & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \alpha & -\beta & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_{\text{KLM} \rightarrow \text{RGB}} = (T_{\text{RGB} \rightarrow \text{KLM}})^{-1} = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \beta & 0 & \alpha \\ \alpha & 0 & -\beta \\ 0 & \alpha^2 + \beta^2 & 0 \end{pmatrix}$$

²Tým je zároveň jednoznačne daný priestor KLM.

a teda, pre úplnosť:

$$\begin{pmatrix} K \\ L \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \alpha & -\beta & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.2.1)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \beta & 0 & \alpha \\ \alpha & 0 & -\beta \\ 0 & \alpha^2 + \beta^2 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} K \\ L \\ M \end{pmatrix} \quad (2.2.2)$$

a z 2.1.1 (φ zanedbávame):

$$P = \alpha \cdot G + \beta \cdot R + \gamma \cdot I \quad (2.2.3)$$

2.2.2 Kombinácia transformácií

Poznáme teda vzťahy medzi premennými K, L, M, R, G, B, I .

Ďalej si zavedme novú premennú K' , ktorá reprezentuje podiel viditeľného svetla – hodnotu odvodenú z panchromatického pásma odpočítaním infračerveného kanála s príslušnou váhou, a premenné P a I , ktoré zodpovedajú hodnotám z panchromatického a blízkeho infračerveného kanála. Nakoniec budeme ešte potrebovať premenné R', G' a B' , ktoré reprezentujú finálne zložky RGB pixela.

Okrem toho budeme chcieť mať možnosť miešať zložku K z RGB obrazu a K' z panchromatického kanála. Príslušnú konštantu si označme η . Jej hodnota $\eta = 1$ nech znamená úplné nahradenie zložky K zložkou K' , $\eta = 0$ znamená ponechanie RGB obrazu bezo zmeny.

Pre tieto premenné si teraz napíšeme vzťahy. Zo vzťahu 2.2.3:

$$P = \underbrace{\alpha \cdot G + \beta \cdot R}_{K'} + \gamma \cdot I$$

a definície K'' (hodnota zmiešaná z K a K' v pomere η) máme

$$\begin{aligned} K' &= P - \gamma \cdot I \\ K'' &= \eta K' + (1 - \eta)K \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

Ďalej,

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \beta & 0 & \alpha \\ \alpha & 0 & -\beta \\ 0 & \alpha^2 + \beta^2 & 0 \end{pmatrix}}_{T_{KLM \rightarrow RGB}} \cdot \begin{pmatrix} K'' \\ L \\ M \end{pmatrix} \quad (2.2.5)$$

$$\begin{pmatrix} K \\ L \\ M \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \beta & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \alpha & -\beta & 0 \end{pmatrix}}_{T_{\text{RGB} \rightarrow \text{KLM}}} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.2.6)$$

Z (2.2.6) a (2.2.4) odvodíme:

$$\begin{pmatrix} K'' \\ L \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta(1-\eta) & \alpha(1-\eta) & 0 & -\eta\gamma & \eta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \alpha & -\beta & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ I \\ P \end{pmatrix} \quad (2.2.7)$$

A nakoniec z (2.2.5) a (2.2.7) plynie:

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \beta & 0 & \alpha \\ \alpha & 0 & -\beta \\ 0 & \alpha^2 + \beta^2 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \beta(1-\eta) & \alpha(1-\eta) & 0 & -\eta\gamma & \eta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \alpha & -\beta & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ I \\ P \end{pmatrix}$$

Vynásobením prostredných dvoch matic dostávame:

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \alpha^2 + \beta^2(1-\eta) & -\alpha\beta\eta & 0 & -\gamma\beta\eta & \beta\eta \\ -\alpha\beta\eta & \beta^2 + \alpha^2(1-\eta) & 0 & -\gamma\alpha\eta & \alpha\eta \\ 0 & 0 & \alpha^2 + \beta^2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ I \\ P \end{pmatrix}$$

Vidíme, že modrý kanál je úplne nezávislý na ostatných, preto položíme

$$B' = B \quad (2.2.8)$$

a vylúčime ho z rovníc.

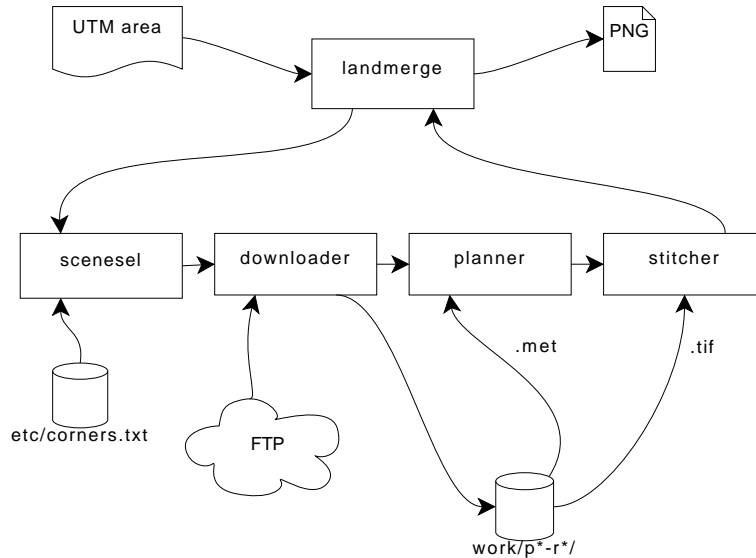
$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \end{pmatrix} = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \begin{pmatrix} \alpha^2 + \beta^2(1-\eta) & -\alpha\beta\eta & -\gamma\beta\eta & \beta\eta \\ -\alpha\beta\eta & \beta^2 + \alpha^2(1-\eta) & -\gamma\alpha\eta & \alpha\eta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ I \\ P \end{pmatrix} \quad (2.2.9)$$

čo spolu s (2.2.8) dáva pomerne kompaktný vzorec na výpočet výsledných RGB komponentov farby.

2.3 Architektúra aplikácie

Aplikácia pozostáva zo skriptov napísaných v jazyku Python, ktoré vykonávajú high-level úlohy a programov v C, ktoré sa používajú tam, kde je potrebné efektívne spracovať množstvá dát.

Tieto podprogramy sú zaradené do reťaze (obrázok 2.1), ktorá na začiatku prijíma špecifikáciu požadovanej oblasti, zo strán prijíma externé dáta, aby na konci vyprodukovala výsledný obrázok vo zvolenom formáte.



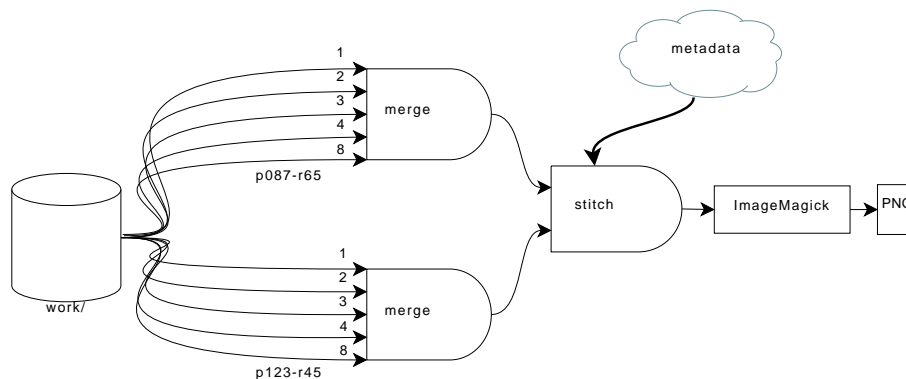
Obrázok 2.1: Schéma toku dát v aplikácii.

Reťaz pozostáva z týchto komponentov:

- *landmerge* – Hlavný skript, ktorý volá všetky ostatné podprogramy/podskripty v príslušnom poradí. Okrem toho zabezpečuje interakciu s používateľom (tj. parsovanie príkazového riadka).
- *scenesel* – Na základe údajov v databáze súradníc rohov scén a užívateľom zadaného rozsahu (výrezu) určí všetky scény, ktoré majú so zadaným výrezom neprázdny prienik. Na to využíva databázu v súbore `etc/corners.txt` (čo je textový súbor, kde sa na jednom riadku, oddelené dvojbodkami nachádzajú položky jedného záznamu – číslo UTM zóny, UTM súradnice a WRS súradnice. Vznikol spracovaním strojovo nasťahovaných `.met` súborov z celého repozitára, tj. z [LD]).

- *downloader* – Scény, ktoré boli označené ako incidentné s požadovaným výrezom, stiahne a v prípade potreby rozbalí. Má implementovanú základnú inteligenciu, aby každý súbor stiahol najviac raz (za dostupnosti programu `wget` dokáže obnovovať prerušené sťahovanie) a podobne.
- *planner* – Na základe metadát z GeoTIFFov a `.met` súborov zostaví *plán* – pre každú scénu určí súradnice výrezu (už v pixeloch) a súradnice vo výslednom obraze, kam sa tento výrez má položiť.
- *stitcher* – Podľa dát, ktoré dostane od zvyšku aplikácie,
 1. zlúči jednotlivé spektrálne kanály do obrazu v prirodzených farbách a s vysokým rozlíšením (na to používa utilitu `merge`)
 2. preloží cez seba takto získané výrezy do výsledného obrázka (na to používa utilitu `stitch`).

Spôsob spracovania dát z jednotlivých kanálov jednotlivých scén je znázornený na obrázku 2.2. Vstupné TIFF obrázky (pre kanály 1, 2, 3, 4 a 8) sa zlučujú programom `merge` do výrezov, ktoré boli predpočítané plánovačom. Tieto výrezy sa potom programom `stitch` cez seba preložia (s offsetmi vypočítanými plánovačom) a takto vznikne výsledný obraz.



Obrázok 2.2: Schéma toku dát do stitchera.

2.3.1 Utilita merge

merge je program napísaný v jazyku C, ktorý má za úlohu (efektívne) vykonať dve veci:

- zlúčiť jednotlivé spektrálne kanály do obrazu v prirodzených farbách a s vysokým rozlíšením (podľa postupu opísaného v sekcii 2.2)
- z tohoto obrazu extrahovať (zadaný) výrez a uložiť ho pre ďalšie spracovanie

Prirodzene, nedeje sa to vo dvoch etapách (obrazy sú totiž priveľké) zlúčenie-výrez, ale generuje sa priamo požadovaný výrez.

Program merge pracuje v nasledujúcich krokoch:

1. Výpočet regresných koeficientov (podľa modelu v sekcii 2.1). Iterovaním cez každý pixel výrezu sa spočítajú hodnoty Sxx , Sxy , ..., z ktorých sa následne vypočítajú váhy α , β a γ zeleného, červeného a infračerveného kanálu v panchromatickom kanáli.

Tieto váhy (α , β , γ) sa používajú v nasledujúcich krokoch na výpočet hodnôt pixelov (nenormalizovaného) RGB obrazu podľa vzťahov 2.2.8 a 2.2.9.

2. Výpočet priemernej hodnoty pixelu (výsledného RGB obrazu) cez celý výrez ($\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$). Potrebné pre neskoršiu normalizáciu.
3. Výpočet rozptylu hodnôt pixelov vo výslednom RGB obraze cez celý výrez ($\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$). Potrebné pre neskoršiu normalizáciu.
4. Normalizácia hodnôt pixelov. Nenormalizovaný obraz vo všeobecnosti nevyužíva plne dynamický rozsah RGB. Predpokladá sa (zhruba) normálne rozdelenie hodnôt pixelov $N(\bar{x}, \hat{\sigma}^2)$. Preto sa obraz normalizuje lineárnou transformáciou tak, že sa rozsah intenzít $\bar{x} \pm \kappa \hat{\sigma}$ zobrazí práve na rozsah 0.0–1.0, čo predstavuje celý využiteľný rozsah RGB obrázka. κ má v aktuálnej implementácii hodnotu 3, čo umiestňuje približne 99.8% všetkých hodnôt pixelov do využiteľného rozsahu a 0.2% hodnôt orezáva na hodnoty 0.0 alebo 1.0.
5. γ -kompresia. Na obraz sa nakoniec aplikuje γ -kompresia so štandardnou hodnotou $\gamma = 1/2.2$ ($x'_i = x_i^\gamma$) a tieto hodnoty sa uložia ako RGB

intenzity do súboru³.

Všetky výpočty sa dejú v pohyblivej rádovej čiarky s dvojitou presnosťou, zaokrúhľuje sa (a hodnoty sa orezávajú) až na konci spracovania, pri zápise bajtov do súboru. Obrazy sa nikdy nenačítavajú do pamäte celé, čítajú sa (a výsledok sa zapisuje) po riadkoch (aj keď implementácia LibTIFF si podľa potreby pamäte zrejme v pamäti uchováva o čosi viac než len jeden riadok).

Program `merge` číta (s využitím LibTIFF) na vstupe TIFF súbory a zapisuje RAW RGB⁴ súbory, čiže súbory bez hlavičky, obsahujúce priamo RGB trojice bajtov zapísané po riadkoch. V celej aplikácii sa na interné spracovávanie využívajú RAW RGB súbory, pretože informácie o rozmeroch obrázkov (udané plánovačom) sa šíria v aplikácii samotnej spolu s názvom súboru.

2.3.2 Utilita `stitch`

`stitch` má za úlohu skombinovať výrezy získané z rôznych scén do jedného obrázka a rozumne ich cez seba preložiť. V aktuálnej implementácii sa to deje priemerovaním hodnôt pixelov spadajúcich na to isté miesto.

Na vstupe tento program prijíma RAW RGB súbory, vydáva opäť RAW RGB súbor so zadanými rozmermi.

2.3.3 Adresárová štruktúra

Koreňový adresár aplikácie vyzerá nasledovne:

- `bin/` – Spustiteľné programy. Nielen binárne, ale aj skripty (prevažne v jazyku Python).
- `doc/` – Sprievodné texty, dokumentácia. Obsahuje digitálnu formu tejto práce vo formátoch PDF a PS.
- `etc/` – Statické dátové súbory, konfigurácia. Momentálne obsahuje len súbor `corners.txt` udržiavajúci súradnice rohov jednotlivých scén.
- `src/` – Zdrojové súbory kompilovaných programov.

³V implementácii sa používajú ešte multiplikačné konštanty pre gamu jednotlivých RGB kanálov, ktoré posúvajú farebný nádech obrazu z fialového do (subjektívne) prirodzenejšieho odtieňa.

⁴Tieto súbory majú štandardne príponu `.rgb`.

- `work/` – Pracovný adresár, sem sa sťahujú všetky dáta, môže výrazne narásť. Je možné preto ho nahradiť symlinkou na nejaké vysokokapacitné médium.
 - `p12-r34/` – Adresár obsahujúci dáta pre cestu 12, riadok 34.
 - `p56-r78/` – Adresár obsahujúci dáta pre cestu 56, riadok 78.
 - ...
- `landmerge` – Nie adresár, ale symlinka na hlavný skript aplikácie (a jediný program určený na spustenie užívateľom); umiestnená v koreňovom adresári pre pohodlie a poriadok.

Kapitola 3

Záver

Vznikla teda aplikácia, ktorá spĺňa oba z cieľov, ktoré sme si kládli. Jednak dokáže zlúčiť jednotlivé obrazy v rôznych spektrálnych pásmach tak, aby vznikol obraz v prirodzených farbách a zároveň dvakrát vyšším rozlíšením, než jednoduchým zlúčením červeného, zeleného a modrého kanála. Navyše aplikácia celý proces zlučovania automatizuje – na vstupe dostane súradnice požadovaného výrezu, postará sa o všetko sama a na výstupe vydá do zadaného súboru v zadanom formáte snímku zadaného výrezu.

3.1 Ukážky

Na obrázku 3.1 sa nachádza porovnanie obyčajného RGB obrazu zostaveného prostým zlúčením červeného, zeleného a modrého kanála do jedného RGB obrázka (hore) s obrazom získaným našou metódou z kanálov 1, 2, 3, 4 a 8 (dole). Oba obrazy majú rovnaké rozmery (tj. prvý obraz bol supersamplovaný na dvojnásobné rozlíšenie s lineárnou interpoláciou pixelov). Ide o oblasť v UTM zóne 34, s rozmermi 8×3 km, so súradnicami ľavého horného rohu (easting, northing) = (514000, 5428000), prvý obraz bol generovaný utilitou `merge` s hodnotou $\eta = 0$, druhý s hodnotou $\eta = 1$. (Konštanta η je opísaná v sekcii 2.2.2).

Na druhom obrázku (3.2) vidíme stratu plasticosti pri eliminácii infračerveného kanála, bližší popis sa nachádza v sekcii 3.2 Ďalšie úvahy.



Obrázok 3.1: Porovnanie obyčajného (hore) a zosťreného obrazu (dole).



Obrázok 3.2: Obraz zostrený jednoduchým spôsobom (hore) a spôsobom opísaným v tejto práci (dole).

3.2 Ďalšie úvahy

...alebo možnosti, zlepšenia, nápady, ktoré sú už mimo rozsahu tejto práce. Čo by sa dalo zmeniť, prečo niečo nie je tak, ako by to mohlo byť a ako sa to dá dosiahnuť.

Na obrázkoch sa vyskytuje šum. Je zaujímavý tým, že nie je úplne náhodný, ale tvorí rovnobežníkovú sieť s rozmermi bunky cca 16×16 pixelov. Pochádza zrejme z panchromatického kanála, kde je viditeľný tiež a jeho vzor sa zdá byť rovnobežný s okrajmi scény – tj. nečierneho rovnobežníka umiestneného v panchromatickom obrazovom súbore. Zlučovaním viacerých obrazov stitcherom sa tento šum vypriemeruje a je menej nápadný.

Po vyskúšaní niekoľkých jednoduchých algoritmov¹ v utilite `merge` na zlučovanie spektrálnych kanálov a napísaní verzie podľa odvodu v tejto práci bola jednou z najnápadnejších zmien výrazná strata plasticity terénu (obrázok 3.2), typicky zalesnených kopcov (oproti naivnej verzii a tiež v porovnaní s mapovými službami typu Google Maps). Pri bližšom skúmaní sa ukázalo, že monochromatické zdrojové obrazy vo viditeľnom svetle sú skutočne málo plastické; plasticita pochádzala z blízkeho infračerveného kanála, ktorý sme práve týmto algoritmom z panchromatického kanála eliminovali. Súvisí to zrejme s vo fotografických kruhoch všeobecne známym faktom, že vegetácia (predovšetkým listy) výrazne odráža svetlo v infračervenom pásme (viď napríklad graf v [SC]). Google Maps tiež zrejme ladí obrazy skôr smerom k názornosti než striktnej realistikosti. Možnou úpravou by teda mohlo byť zamiešanie infračerveného kanála do lumenančného kanála výsledného obrazu, čo by obrazu dodalo (aj keď falošnú) plasticitu.

Do utility `stitch` by sa mohla pridať korekcia rozdielov svetlosti jednotlivých výrezov, pretože vo všeobecnosti nemusia mať výrezy na prekryvoch rovnakú svetlosť, čím by vznikali v obraze viditeľné švy. Avšak pri testovaní sa mi nepodarilo vyprodukovať obrázok s viditeľným švom, a teda toto vylepšenie nemá veľkú prioritu.

Priestorom na zlepšenie by mohlo aj byť nevytváranie dočasných pracovných súborov s výrezmi a čítanie priamo gzipovaných TIFF obrázkov a použitie rúr, pretože všetko v aplikácii sa deje (a súbory sa čítajú) sekvenčne, čím by sa ušetrilo isté množstvo diskového priestoru.

Ďalším vylepšením by mohla byť paralelizácia výpočtu – tu by však ale bolo potrebné urobiť analýzu, či (a ako) by bola paralelizácia efektívna. V

¹Išlo najmä o prevedenie supersamplovaného RGB obrazu do YPbPr, nahradenie Y zložky dátami z panchromatického kanála a prevod späť.

prípade I/O náročnosti by bolo možné paralelizovať I/O (čo však asi najvhodnejšie vykoná príslušný RAID), v prípade CPU náročnosti a dostupnosti viacerých procesorov by bolo možné paralelizovať výpočet na viacerých procesoroch.

Užitočnou vecou by mohol byť jednoduchý GUI front-end s výberom výrezov z mapy, konvertorom medzi súradnicovými systémami (UTM, uhlové) atď. To však už výrazne presahuje rozsah tejto práce.

Kapitola 4

Apendix

4.1 Všeobecné vzťahy pre α , β , γ , φ

(Z Cramerovho pravidla). Použité v sekcii 2.1.

$$\begin{aligned}\alpha' = & S_b S_x S_{y_z}^2 - S_b S_x S_{y_y} S_{z_z} + S_b S_{x_y} S_y S_{z_z} \\ & - S_b S_{x_y} S_{y_z} S_z - S_b S_{x_z} S_y S_{y_z} + S_b S_{x_z} S_{y_y} S_z - S_{b_x} S_y^2 S_{z_z} \\ & + 2S_{b_x} S_y S_{y_z} S_z - S_{b_x} S_{y_y} S_z^2 + S_{b_x} S_{y_y} S_{z_z} - S_{b_x} S_y^2 \\ & + S_{b_y} S_x S_y S_{z_z} - S_{b_y} S_x S_{y_z} S_z + S_{b_y} S_{x_y} S_z^2 - S_{b_y} S_{x_y} S_{z_z} \\ & - S_{b_y} S_{x_z} S_y S_z + S_{b_y} S_{x_z} S_{y_z} - S_{b_z} S_x S_y S_{y_z} + S_{b_z} S_x S_{y_y} S_z \\ & - S_{b_z} S_{x_y} S_y S_z + S_{b_z} S_{x_y} S_{y_z} + S_{b_z} S_{x_z} S_y^2 - S_{b_z} S_{x_z} S_{y_y}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta' = & (S_b S_x S_{x_y} S_{z_z} - S_b S_x S_{x_z} S_{y_z} - S_b S_{x_x} S_y S_{z_z} \\ & + S_b S_{x_x} S_{y_z} S_z - S_b S_{x_y} S_{x_z} S_z + S_b S_{x_z}^2 S_y + S_{b_x} S_x S_y S_{z_z} \\ & - S_{b_x} S_x S_{y_z} S_z + S_{b_x} S_{x_y} S_z^2 - S_{b_x} S_{x_y} S_{z_z} - S_{b_x} S_{x_z} S_y S_z \\ & + S_{b_x} S_{x_z} S_{y_z} - S_{b_y} S_x^2 S_{z_z} + 2S_{b_y} S_x S_{x_z} S_z - S_{b_y} S_{x_x} S_z^2 \\ & + S_{b_y} S_{x_x} S_{z_z} - S_{b_y} S_{x_z}^2 + S_{b_z} S_x^2 S_{y_z} - S_{b_z} S_x S_{x_y} S_z \\ & - S_{b_z} S_x S_{x_z} S_y + S_{b_z} S_{x_x} S_y S_z - S_{b_z} S_{x_x} S_{y_z} + S_{b_z} S_{x_y} S_{x_z})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\gamma' = & (S_b S_x S_{xz} S_{yy} - S_b S_x S_{xy} S_{yz} + S_b S_{xx} S_y S_{yz} \\
& - S_b S_{xx} S_{yy} S_z + S_b S_{xy}^2 S_z - S_b S_{xy} S_{xz} S_y - S_{bx} S_x S_y S_{yz} \\
& + S_{bx} S_x S_{yy} S_z - S_{bx} S_{xy} S_y S_z + S_{bx} S_{xy} S_{yz} + S_{bx} S_{xz} S_y^2 \\
& - S_{bx} S_{xz} S_{yy} + S_{by} S_x^2 S_{yz} - S_{by} S_x S_{xy} S_z - S_{by} S_x S_{xz} S_y \\
& + S_{by} S_{xx} S_y S_z - S_{by} S_{xx} S_{yz} + S_{by} S_{xy} S_{xz} - S_{bz} S_x^2 S_{yy} \\
& + 2S_{bz} S_x S_{xy} S_y - S_{bz} S_{xx} S_y^2 + S_{bz} S_{xx} S_{yy} - S_{bz} S_{xy}^2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varphi' = & (S_b S_{xx} S_{yy} S_{zz} - S_b S_{xx} S_{yz}^2 - S_b S_{xy}^2 S_{zz} + 2S_b S_{xy} S_{xz} S_{yz} \\
& - S_b S_{xz}^2 S_{yy} - S_{bx} S_x S_{yy} S_{zz} + S_{bx} S_x S_{yz}^2 + S_{bx} S_{xy} S_y S_{zz} \\
& - S_{bx} S_{xy} S_{yz} S_z - S_{bx} S_{xz} S_y S_{yz} + S_{bx} S_{xz} S_{yy} S_z + S_{by} S_x S_{xy} S_{zz} \\
& - S_{by} S_x S_{xz} S_{yz} - S_{by} S_{xx} S_y S_{zz} + S_{by} S_{xx} S_{yz} S_z - S_{by} S_{xy} S_{xz} S_z \\
& + S_{by} S_{xz}^2 S_y - S_{bz} S_x S_{xy} S_{yz} + S_{bz} S_x S_{xz} S_{yy} + S_{bz} S_{xx} S_y S_{yz} \\
& - S_{bz} S_{xx} S_{yy} S_z + S_{bz} S_{xy}^2 S_z - S_{bz} S_{xy} S_{xz} S_y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d = & (S_x^2 S_{yz}^2 - S_x^2 S_{yy} S_{zz} + 2S_x S_{xy} S_y S_{zz} - 2S_x S_{xy} S_{yz} S_z \\
& - 2S_x S_{xz} S_y S_{yz} + 2S_x S_{xz} S_{yy} S_z - S_{xx} S_y^2 S_{zz} \\
& + 2S_{xx} S_y S_{yz} S_z - S_{xx} S_{yy} S_z^2 + S_{xx} S_{yy} S_{zz} - S_{xx} S_{yz}^2 \\
& + S_{xy}^2 S_z^2 - S_{xy}^2 S_{zz} - 2S_{xy} S_{xz} S_y S_z + 2S_{xy} S_{xz} S_{yz} \\
& + S_{xz}^2 S_y^2 - S_{xz}^2 S_{yy})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha &= \frac{\alpha'}{d} \\
\beta &= \frac{\beta'}{d} \\
\gamma &= \frac{\gamma'}{d} \\
\varphi &= \frac{\varphi'}{d}
\end{aligned}$$

4.2 Návod na inštaláciu a používanie

Pre inštaláciu a používanie je potrebné splniť požiadavky na hardvérovú a softvérovú konfiguráciu počítača, opísanú v sekcii 4.5.

Na priloženom CD sa v koreňovom adresári nachádza adresárová štruktúra opísaná v sekcii 2.3.3. Túto štruktúru stačí skopírovať kamkoľvek tak, aby bol koreňový adresár a adresár `work/` zapisovateľný. Potom sa program spúšťa z príkazového riadka z koreňového adresára, ako je uvedené v sekcii 1.3, napríklad:

```
./landmerge -z 34 -a 10000x10000@500000,5200000 -o test.png
```

Na výber scény je vhodné použiť službu ako napríklad Google Maps v kombinácii s konvertorom uhlových súradníc do UTM (linky v sekcii 4.4). Výsledný obraz sa dá prehliadať ľubovoľným grafickým softvérom (podporujúcim zvolený formát).

4.3 Použitý softvér

Užitočné utility/programy použité pri tvorbe práce.

- GIMP (<http://gimp.org>) – Populárny grafický editor
- Qalculate (<http://qalculate.sourceforge.net>) – špinavá práca pri derivovaní, zjednodušovaní výrazov, invertovaní matíc, počítaní determinantov apod.
- LibTIFF (<http://libtiff.org>) – dodávaná s commandline utilitami poskytujúcimi informácie o TIFF obrázkoch.
- ImageMagick (<http://imagemagick.org>) – konverzia z (takmer) ktoréhokoľvek obrazového formátu do (takmer) ktoréhokoľvek

4.4 Linky

- *Universal Transverse Mercator (Wikipedia)* – http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Transverse_Mercator_coordinate_system
- *Geographic/UTM Coordinate Converter* – <http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html>

- *Google Maps* – <http://maps.google.com/>
- *Landmerge na Google Code* – <http://code.google.com/p/landmerge/>

4.5 Požiadavky na HW/SW

Množstvo používanej operačnej pamäte závisí od veľkosti vyrezávanej scény (pretože tá sa konvertuje celá ImageMagickom). Pre predstavu, na konverziu obrazu 5600×5600 pixelov potreboval ImageMagick necelých 250 MB pamäte. Okrem toho *merge* na spracovanie všetkých piatich vstupných súborov potrebuje zhruba 200 MB operačnej pamäte (čo je údaj rovnaký pre každú scénu). Ostatné parametre ovplyvnia rýchlosť výpočtu. Na stroji s Intel Core2Duo, 2.2 GHz, 2GB RAM (výpočet ale nie je paralelizovaný, takže sa využilo len jedno jadro) trvá vygenerovanie jedného výrezu 2800×2800 pixelov zhruba pol minúty¹.

Závisí teda od veľkosti generovaných výrezov, ale vo všeobecnosti by mal stroj poskytovať aspoň 256 MB *voľnej* operačnej pamäte.

Požiadavky na úložný priestor na disku sú o čosi vyššie než bežné – pracovný adresár pre jednu scénu zaberá priestor necelých 600 MB, pričom na jeden výrez (závisí od veľkosti/umiestnenia) sú typicky potrebné dve až štyri scény. Množstvo požadovaného diskového priestoru je teda niekoľko gigabajtov.

Prostredie pre beh programu by malo byť linuxové/unixové. Okrem toho sú vyžadované nasledujúce knižnice/programy/balíky:

- Python 2.5 (<http://python.org>) – potrebný pre beh jadra aplikácie, napísaného v Pythone.
- GCC (<http://gcc.gnu.org/>) + build system – C kompilátor používaný na kompiláciu C utilít v adresári `src/`.
- ImageMagick (<http://imagemagick.org>) – používa sa na konverziu obrazových formátov (RAW RGB \rightarrow PNG). Konkrétne sa vyžaduje prítomnosť utility `convert` niekde v `$PATH`.
- LibTIFF (<http://libtiff.org>) – potrebné na prácu s TIFF obrázkami v C, utilita `tiffinfo`.

¹Celkový čas výpočtu z drivej časti určujú časy generovania jednotlivých výrezov.

- Wget (www.gnu.org/software/wget/) *voliteľný* – ak je v systéme prítomný, používa sa na sťahovanie súborov z FTP. Výhodou v takom prípade je progressbar a automatické obnovovanie prerušených sťahovaní.

Literatúra

- [GT] GeoTIFF homepage and specification
<http://www.remotesensing.org/geotiff/geotiff.html>
- [LD] NASA Landsat Program, 1999-2008, Landsat ETM+ scenes, Orthorectified, USGS, All metafiles (*.met), channels 1, 2, 3, 4, 8 (*.tif.gz).
- [LH1] Landsat handbook
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_toc.html
- [LH3] Landsat payload
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter3/chapter3.html
- [LH5] Landsat orbit
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter5/chapter5.html
- [LH6] Landsat data properties
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html
- [LH11] Landsat data products – Level 1G
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html#section11.3
- [LO] Landsat imagery overview
<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>
- [LTG] Landsat technical guide
http://glcf.umd.edu/data/guide/technical/techguide_landsat.pdf

- [SC] Introduction to Full-Spectrum and Infrared photography (surrealcolor.com)
http://www.surrealcolor.com/IR_explained_web/IR_explained.htm#IRColor
- [TM1] Datums, ellipsoids, grids, and grid reference systems
<http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/toc.html>
- [TM2] The universal grids: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS)
http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.2/TM8358_2.pdf