

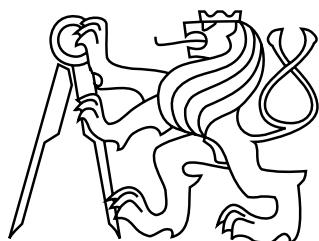
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁRSKÁ PRÁCA

PRAHA 2009

Gabriel GYÖRI

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEODEZIA A KARTOGRAFIA



BAKALÁRSKÁ PRÁCA
POROVNANIE RÔZNYCH METÓD RADIOMETRICKEJ
KALIBRÁCIE RADAROVÉHO OBRAZU

Vedúci práce: Doc. Ing. Lena Halounová, CSc.
Katedra mapovania a kartografie

september 2009

Gabriel GYÖRI

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

Z důvodu správného číslování stránek

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá radarovým diaľkovým prieskumom Zeme a to konkrétnie kvalitou snímok vyhotovených pomocou radaru so syntetickou apertúrou družíc ERS-1, ERS-2, pojednáva o rôznych metódach radiometrickej kalibrácie radarového obrazu. Predmetom tejto práce je otestovať rôzne druhy radiometrickej kalibrácie s posúdením ich presnosti, vhodnosti a použiteľnosti. Kalibrovaná bude iba hodnota amplitúdy. Súčasťou práce je popis vstupných dát a ich formát, podrobne rozpisane metódy kalibrácie, ich matematické a fyzikálne základy. Práca taktiež obsahuje jednoduché počítačové skripty vyhotovené v programe MATLAB v prostredí GNU Linux, pomocou ktorých sa budú potrebné súbory kalibrovať. Na záver sú porovnané výsledky rôznych kalibrácií a to kvantitatívne pomocou histogramov, porovnaním variancií a kvalitatívne porovnaním snímok a ich kontrastov. Najvhodnejšia metóda bude použitá na kalibráciu radarových dát.

ABSTRACT

This thesis deals with radar remote sensing and specifically with the quality of images acquired by the synthetic aperture radar, onboard satellites ERS-1 and ERS-2. The aim of this thesis is to test and compare various types of radiometric calibration methods with respect to their precision, applicability and usability. Only the amplitude will be calibrated. The thesis also contains the description of input data, detailed description of mathematical and physical basics. The thesis also contains simple scripts to be executed in MATLAB in the GNU Linux environment. SLC files will be calibrated using these scripts. At the end, the results of different calibrations are compared using histograms, variances and qualitative evaluation of the scenes and their contrasts. The most adequate method will be used for calibration of all radar data.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že bakalársku prácu na tému „Porovnanie rôznych metód radiometrickej kalibrácie radarového obrazu“ som vypracoval samostatne. Všetky použité podklady a informačné zdroje, z ktorých som čerpal, sú uvedené v zozname použitej literatúry.

V Prahe dňa

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Tento cestou by som rád podľakoval vedúcej mojej bakalárskej práce Doc. Ing. Lene Halounovej, CSc. konzultantovi Ing. Ivane Hlaváčovej, Ph.D. za cenné rady, pripomienky a odborné konzultácie v danej oblasti, za vždy pozitívny a trpežlivý prístup. Taktiež d'akujem svojím rodičom a známym za neustálu podporu pri štúdiu.

Obsah

Úvod	9
1 Družice ERS-1, ERS-2	10
2 Radarové družice v diaľkovom prieskume Zeme	11
2.1 Elektromagnetické žiarenie	12
2.1.1 Elektromagnetické vlny	12
2.1.2 Elektromagnetické spektrum	12
2.1.3 Mikrovlny frekvencia/vlnová dĺžka	12
2.1.4 Polarizácia	14
2.2 Geometria radaru	14
2.3 Geometria pohľadu	15
2.3.1 Tieň	16
2.3.2 Zhustenie signálu	16
2.3.3 Prekryt	16
2.4 Parametre cieľa ovplyvňujúce vzhľad obrazu	17
2.4.1 Drsnosť povrchu	18
2.4.2 Dielektrická konštantă	18
2.4.3 Lokálny incidenčný uhol (miestny uhol dopadu)	19
2.5 Parametre senzoru	19
2.5.1 Frekvencia a vlnová dĺžka	19
2.5.2 Incidenčný uhol (uhol dopadu)	20
2.5.3 Polarizácia	20
2.5.4 Smer pohľadu (Look direction)	20
2.6 Rozlíšenie	21
2.6.1 Rozlíšenie v smere azimutu	21
2.6.2 Rozlíšenie v smere priečnom k ose letu	22
3 Popis radarových dát DPZ	24
3.1 Obrazové dáta	24
3.1.1 Geometrická kalibrácia	24
3.1.2 Radiometrická kalibrácia	24
3.2 Vizuálna interpretácia	25
3.2.1 Odtieň	25
3.2.2 Textúra	25
3.2.3 Vzor	25
3.2.4 Rozmer	25

3.2.5	Tvar	26
3.2.6	Asociatívnosť	26
4	Radarové dátá a vstupné súbory	27
4.1	Súbory SLC	27
4.2	Súbory PWR	27
4.3	Ostatné vstupné súbory	28
4.3.1	Súbory s príponou .par	28
4.3.2	Súbory s príponou .ras	28
5	Histogram	29
5.1	Ekvalizácia histogramu	30
6	Kalibračná konštantá	32
7	Úprava dát	33
7.1	Prevody vstupných dát	33
7.1.1	Byteswap súborov	33
7.1.2	Prevod .slc súborov na matice	33
7.1.3	Prevod .pwr súborov na matice	33
7.1.4	Automatický prevod dát	34
7.2	Závislosť PWR a SLC súborov	34
7.3	Kalibrácia pomocou kalibračného koeficientu	35
7.3.1	Vyhotovenie zoznamu konštánt	35
7.3.2	Kalibrácia amplitúd	35
7.4	Kalibrácia vyrovnaním stredných hodnôt a variancií	35
7.5	Kalibrácia ekvalizáciou histogramov	36
7.6	Zobrazenie výsledkov kalibrácie	37
7.6.1	Prevod kalibrovaných matíc do formátu float	37
7.6.2	Spätný byteswap	38
7.6.3	Prevod snímok do formátu *.ras	38
7.6.4	Vyhotovenie histogramov	39
7.7	Tvorba užívateľského Handle Graphics	39
7.8	Výpočet disperzného koeficientu	40
7.9	Postup kalibrácie radarového obrazu	41
8	Hodnotenie výsledkov kalibrácie	42
8.1	Vizuálna interpretácia	42
8.2	Porovnanie histogramov	43
8.3	Porovnanie na základe výpočtu disperzného koeficientu	44

8.4 Charakteristické hodnoty radarových snímok	45
Záver	49
Referencie	50
Zoznam príloh	52
A Zdrojové kódy v programe MATLAB	53
A.1 Prevod float súborov na matice	53
A.2 Prevod complexných súborov na matice	53
A.3 Načítanie kalibračných konštant	54
A.4 Testovanie závislosti medzi PWR a SLC súbormi	55
A.5 Oprava snímok pomocou kalibračného koeficientu	55
A.6 Oprava snímok vyrovnaním stredných hodnôt	56
A.7 Oprava snímok ekvalizáciou histogramu	58
A.8 Zdrojový kód Handle Graphics	60

Úvod

Získavanie dát radarom je moderná, progresívna a neustále sa vyvíjajúca metóda získavania informácií o pozorovanom objekte, jave na zemskom povrchu, prípadne na nebeskom telese. Na rozdiel od skenerov a optických prístrojov, ktoré naznamenávajú odrazené slnečné žiarenie v spektrálnom rozsahu, sú radary vybavené vlastným zdrojom žiarenia. Toto mikrovlnné žiarenie je vysielané v pulzoch. Veľkosť odrazenej energie sa najčastejšie znázorňuje pomocou čiernobieleho obrazu. Výstupy z radarového diaľkového prieskumu Zeme, konkrétnie s použitím radarovej interferometrie sa s výhodou používajú na geologické mapovanie, určovanie posunov, poklesov banských území, pozorovanie sopečných erupcií, či dlhodobé pozorovanie terénnych deformácií.

Metódy zberu dát radarom sa už úspešne používajú, avšak pre oblasť, ktorá je v tejto práci pozorovaná, sú radarové snímky veľmi nekvalitné. Dáta sú vyhotovené radarom so syntetickou apertúrou SAR z družíc ERS-1, ERS-2. Snímky sú z tracku 394 s výrezom v oblasti Ervěnického koridoru medzi Mostom a Chomutovom. Sú to pôvodné radarové dáta z klesajúceho (descending) preletu. Snímky majú veľké diferencie v kontraste a málo bodov so stabilnou intenzitou. Tieto body sa nazývajú taktiež ako trvalé odrážače, sú to rohy budov tovarénske komíny a pod.. Tieto body sú znehodnocované nepriaznivým pôsobením atmosféry, sklonu a výšky terénu. Bez týchto bodov a radiometrickej kalibrácie nie je možné dostatočne presne vypočítať amplitúdovú disperziu, ktorá je nevyhnutná pre ďalšie spracovanie dát. Radiometrická kalibrácia umožňuje na snímkach vyhľadať bodové odrážače, ktoré mohli byť znehodnotené rozdielnými podmienkami pri akvizícii. Na korekciu dát existujú rôzne metódy, ktoré budú v tejto práci porovnané. Metódy sú založené na rôznom porovnávaní histogramov, ekvalizácií histogramov, vyrovnaní stredných hodnôt a variancií. ESA (European Space Agency) zverejňuje na svojich stránkach koeficient, pomocou ktorého by mohli byť dáta kalibrované, preto je nutné správnosť tohto koeficientu overiť. Cieľom práce je vytvoriť funkcie na radiometrickú kalibráciu dát, tieto metódy porovnať a tou najvhodnejšou funkciou radarový obraz kalibrovať.

1 Družice ERS-1, ERS-2

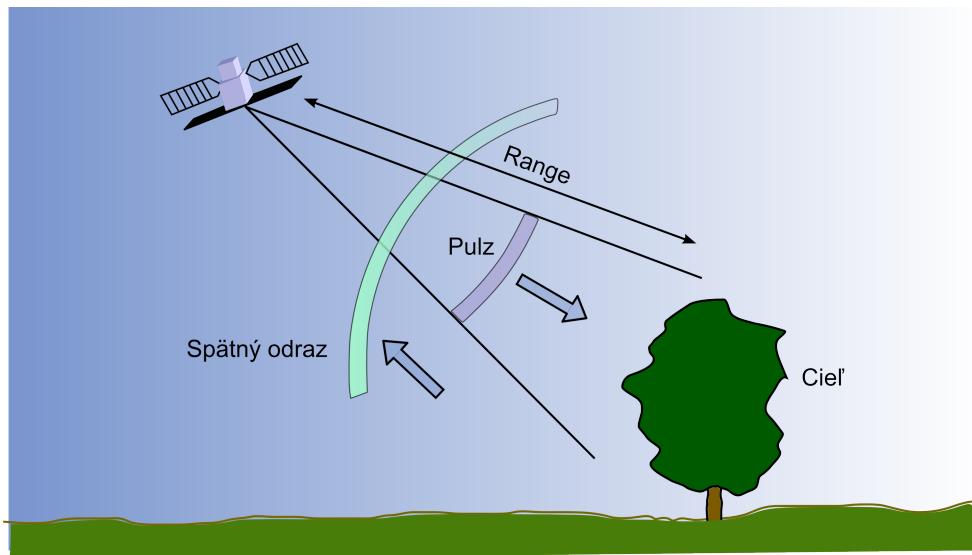
Družice ERS-1 a ERS-2 spoločnosti ESA (European Space Agency) sa stali prvými satelitami, ktoré vyhotovujú radarové snímky pre komerčné účely. Družica ERS-1 bola vynesená do kozmu v roku 1991 a o štyri roky neskôr v roku 1995 bola do kozmu vynesená družica ERS-2. Oba sateľity majú takmer zhodné prístrojové vybavenie. Družice sa pohybujú po heliocentrickej dráhe s inklináciou $98^{\circ}50'$ vo výške okolo 780 km. Snímky vyhotovuje SAR (radar so syntetickou apertúrou), ktorý dokáže zaznamenať údaje o pozorovanom území bez ohľadu na osvetlenie plochy. Tento systém je vybavený fyzicky krátkou anténou, ale modifikovaným záznamom dát so spracovaním simulujúcim dlhú anténu [8]. Časová rozlišovacia schopnosť je 35 dnov. Polohová rozlišovacia schopnosť týchto družíc sa pohybuje v rozmedzí približne 4.5 m v smere letu a 20-30 m v smere kolmom na smer letu. Dráha družíc je udržiavaná so stabilnou odchýlkou najviac 1km od určenej trasy. Vysielané a prijímané žiarenie je vertikálne polarizované v radarovom pásme C s frekvenciou 5.3 GHz a vlnovou dĺžkou 5,6 cm. Energiu zabezpečujú dva 12 metrové solárne panely. Hmotnosť družice je cca 2.3 tony [8].



Obrázok 1.1: Družica ERS-2 prevzaté z [13]

2 Radarové družice v diaľkovom prieskume Zeme

Družice vybavené radarovým snímačom dát podobne ako družice s optickým snímaním sa používajú k vyhotovovaniu snímok zemského povrchu. Radarová snímka sa získa interakciou elektromagnetického žiarenia s objektami na zemskom povrchu. Interpretácia radarových snímok závisí na porozumení konfigurácie radaru a interakcií energie s objektom. Radar vysiela do priestoru elektromagnetické pulzy, ktoré po odraze od objektov prijíma späť do prijímača ako signály. Tieto signály sú zaznamenávané na magnetické médium umiestnené na družici. Tieto dátá sú posielané späť na Zem k spracovateľom. Dátá sú ďalej spracovávané počítačovými procesmi tak, aby boli zobraziteľné na obrazovke počítača ako výsledný obrázok. Pretože radar disponuje vlastným zdrojom elektromagnetického žiarenia, je možné vyhotovať snímky ako aj cez deň, tak aj v noci, lebo nezáleží na slnečnom žiareni. Radarové snímky sa dajú vyhotoviť aj v nepriaznivom počasí cez hmlu a oblaka. Pri daždi záleží na tom, akú frekvenciu radar používa. Vrátený signál (backscatter) odrazený od objektu na Zemi, nazývaného taktiež ako cieľ, je ovplyvňovaný geometriou radaru voči Zemi, lokálnou energiou medzi radarom a cieľom a charakteristikami cieľa.



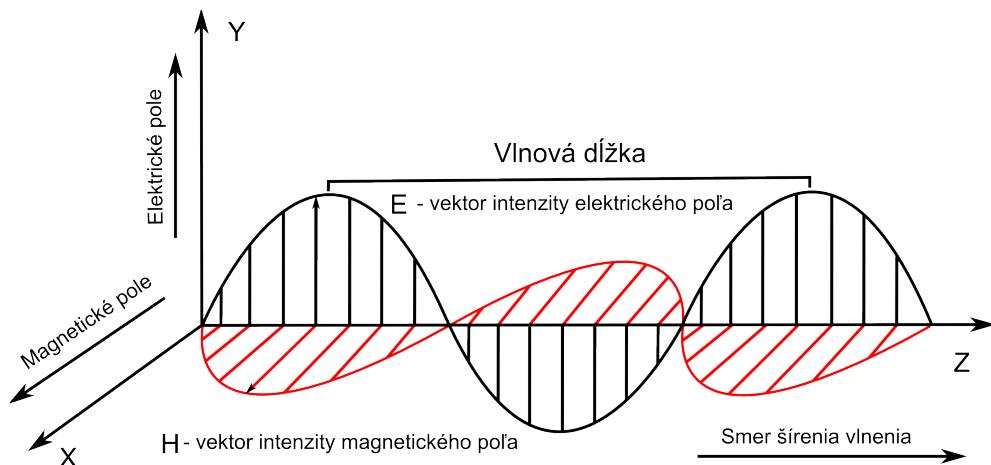
Obrázok 2.1: Princíp radaru [1]

2.1 Elektromagnetické žiarenie

Na rozdiel od optických skenerov, ktoré prijímajú odrazené slnečné žiarenie, radar disponuje svojim zdrojom elektromagnetického žiarenia a vysiela ho do priestoru až na zemský povrch, to sa potom odráža od ceľa späť k prijímaču radaru. Žiarenie sa šíri priestorom ako sinusoidálne vlnenie s rýchlosťou svetla.

2.1.1 Elektromagnetické vlny

Elektromagnetické vlnenie ma dve od seba navzájom neoddeliteľné zložky, elektrickú, ktorú charakterizuje vektor intenzity elektrického poľa, a zložku magnetickú, ktorú charakterizuje vektor magnetickej indukcie. Tieto vektory sú navzájom kolmé, majú rovnakú fázu a ich smery prebiehajú priečne k smeru, ktorým sa vlnenie šíri. Elektromagnetické vlnenie je priečne vlnenie a má vlastnosti vlnové a kvantové.



Obrázok 2.2: Elektromagnetické vlny [1]

2.1.2 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum zahrňuje elektromagnetické žiarenie všetkých možných vlnových dĺžok. Spektrum prechádza celou škálou žiarenií, počínajúc rádiovými vlnami s najdlhšou vlnovou dĺžkou, končiac gama lúčmi.

2.1.3 Mikrovlny frekvencia/vlnová dĺžka

Radarové vlny spadajú do intervalu mikrovlnného žiarenia. Veľkosť vlnovej dĺžky je určujúca pre to, aké veľké častice môžu ovplyvňovať prechod radarového žiarenia



Obrázok 2.3: Elektromagnetické spektrum prevzate z [12]

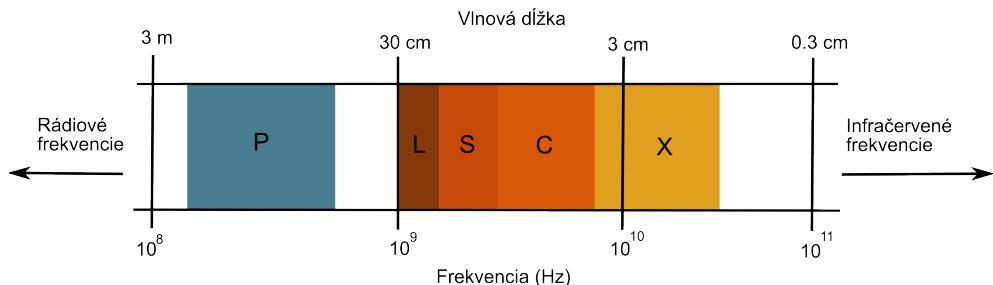
prostredím. Elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou λ má frekvenciu f a jemu pripisovaný fotón má energiu Q . Vzťah medzi nimi je vyjadrený rovnicou

$$Q = h \cdot f \quad (2.1)$$

kde h je Planckova konštanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [$J \cdot s$] a

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

kde c je rýchlosť svetla $c = 3 \cdot 10^8$ [$m \cdot s^{-1}$]. Prehľad používaných vlnových dĺžok a frekvencií je uvedený v nižšie uvedenej tabuľke.



Obrázok 2.4: Mikrovlná časť elektromagnetického spektra [1]

Pásmo	Vlnová dĺžka	Frekvencia	Použitie
X	od 2.4 do 3.8 cm	od 8 do 12.5 GHz	Vojenský prieskum Letecký radar CCRS Convair 580
C	od 3.8 do 7.5 cm	od 4 do 8 GHz	Družice RADARSAT, ERS-1 ERS-2
S	od 7.5 do 15 cm	od 2 do 4 GHz	Ruský Almaz
L	od 15 do 30 cm	od 1 do 2 GHz	Družice NASA SEASAT Japonské družice JERS-1
P	od 75 do 133 cm	od 225 do 400 MHz	NASA JPL Radarový letecký senzor

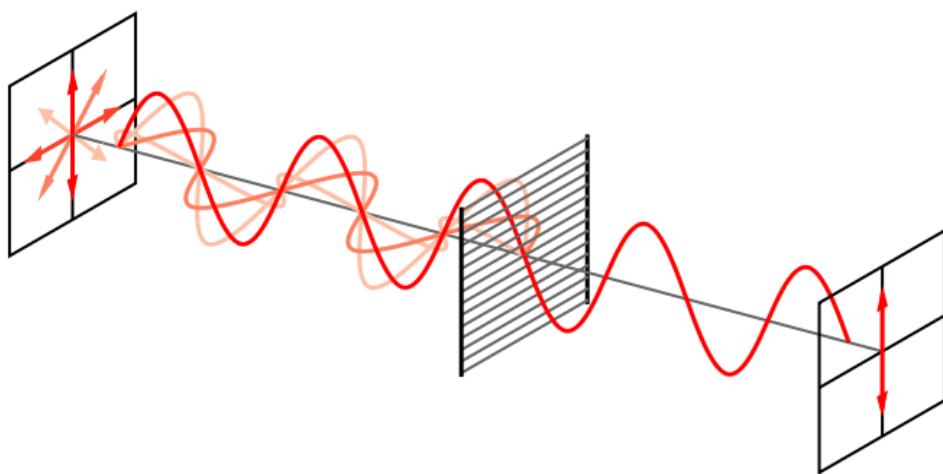
Tabuľka 2.1: Závislosť vlnovej dĺžky na frekvencii [1]

2.1.4 Polarizácia

Väčšina radarov v diaľkovom prieskume Zeme používa lineárne polarizované vlny, ktoré môžu byť polarizované buď vertikálne, alebo horizontálne. Lineárne polarizované žiarenie je žiarenie, ktorého vektor intenzity elektrického poľa kmitá stále v jednom smere. Priestorová orientácia horizontálne polarizovanej vlny je nezávislá na uhle medzi normálou Zeme a range vektorom. Ked' radarom vyslaný signál dopadne na Zem môže byť jeho polarizácia zmenená. Či signál zmení svoju orientáciu, závisí na fyzikálnych a elektrických vlastnostiach cieľa. Horizontálne polarizované žiarenie sa v DPZ označuje písmenom H a vertikálne polarizované žiarenie písmenom V. HV sa u družíc označuje vtedy, keď vysielané žiarenie je polarizované horizontálne a prijímané žiarenie je polarizované vertikálne. Pokiaľ je vysielané a prijímané žiarenie polarizované rovnako označuje sa buď písmenami HH alebo VV podľa typu polarizácie. Družice ERS 1,2 majú VV polarizáciu, takže vysielané a prijímané žiarenie je polarizované vertikálne.

2.2 Geometria radaru

- Altitude (výška): je vertikálna vzdialenosť medzi radarom a bodom priamo pod ním. Táto vzdialenosť reprezentuje výšku satelitu nad referenčným elipsoidom.
- Nadir: je bod priamo pod družicou na zemskom povrchu
- Azimut: je smer na Zemi súbežný s pohybom družice
- Range vektory: sú vektory (vzdialosti a smery) medzi radarom a elementmi terénu. V každom range je meraný jeden transmisný čas.
- Slant range: je vzdialenosť medzi senzorom a cieľom v smere range

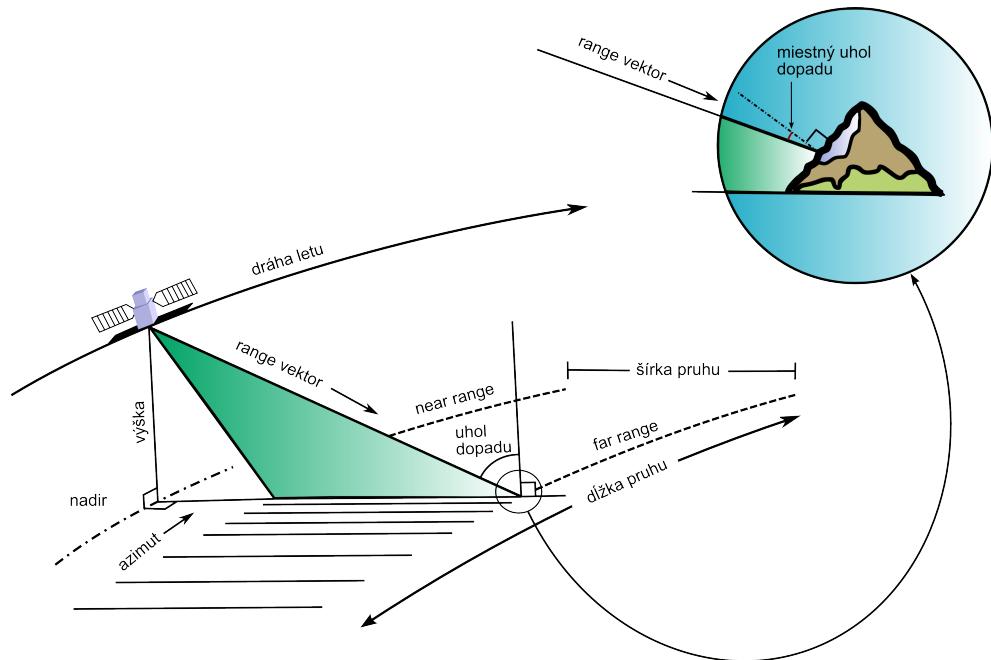


Obrázok 2.5: Polarizácia svetelného zväzku lúčov

- Ground range: je slant range premietnutý na zemský povrch, takže poznáme aktuálnu geografickú vzdialenosť
- Near range: je minimálny slant range, čiže vymedzuje kraj snímky
- Far range: je maximálny slant range, čiže vymedzuje kraj snímky
- Swath width (šírka pruhu): je dĺžka snímky v smere range (na zemi)
- Swath length (dĺžka pruhu): je dĺžka snímky v smere azimutu (na zemi)
- Illumination angle: je uhol medzi normálom vektorom Zeme a meraným range vektorom
- Incidence angle (incidenčný uhol): je uhol medzi range vektorom a lokálnym vertikálnym smerom k zemskému povrchu
- Local incidence angle (lokálny incidenčný uhol): je uhol medzi range vektorom a normálou každého elementu terénu

2.3 Geometria pohľadu

Táto kapitola pojednáva o geometrii medzi vyžiareným pulzom radaru a cieľmi na zemskom povrchu. Základným parametrom tejto geometrie je miestny uhol dopadu definovaným ako uhol medzi range vektorom a normálou každého elementu terénu. Vďaka nerovnostiam terénu dochádza u radarových dát k niekoľkým javom. Tieto javy sú ovplyvňované lokálnym incidenčným uhlom, vzdialenosťou od osi letu nosiča, terénnou nerovnosťou a sklonom svahu. Jedná sa o prekryv signálu, slabý odraz, tieň a zhustenie signálu.



Obrázok 2.6: Geometria radaru [1]

2.3.1 Tieň

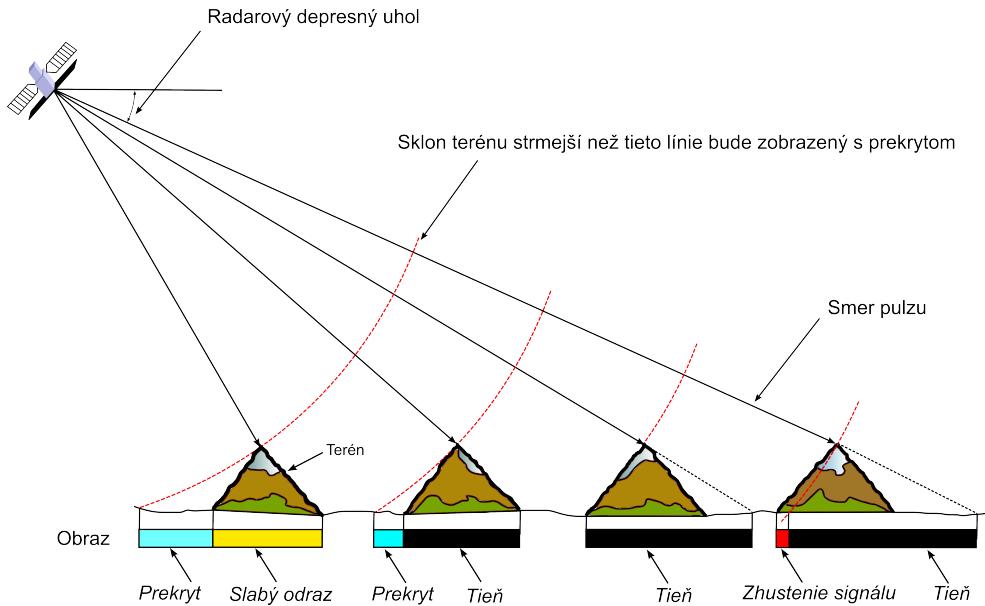
Tieň v geometrii radaru indikuje plochy na Zemi, ktoré neboli ožiarené radarovým signálom. Tieň vzniká vtedy, keď výšková členitosť terénu bráni osvetu plôch za ním. Plochy, ktoré sa nachádzajú v tieni, sú na obrázku zobrazené v tmavších farbách. Relatívna pozícia tieňa je závisla na charakteristických rysoch terénu a smere osvetu.

2.3.2 Zhustenie signálu

Zhustenie signálu vzniká vtedy, keď je lokálny incidenčný uhol menší ako incidenčný, ale väčší ako 0 stupňov. Plochy, ktoré sú ovplyvnené týmto javom sa na snímke zobrazia svetlejšie. Zhustenie signálu pretrváva na všetkých incidenčných uhloch, kde lokálny incidenčný uhol je menší než incidenčný uhol. Keď miestny uhol dopadu je väčší ako uhol dopadu a zároveň menší ako 90 stupňov, bude nastávať roztiahnutie a keď miestny uhol dopadu bude prevyšovať 90 stupňov, terén bude ležať v radarovom tieni.

2.3.3 Prekryt

Prekryt vzniká pri malom incidenčnom uhu vo veľmi svahovitom teréne. Tento efekt sa na snímkach vyskytuje vtedy, keď lokálny incidenčný uhol je väčší ako incidenčný

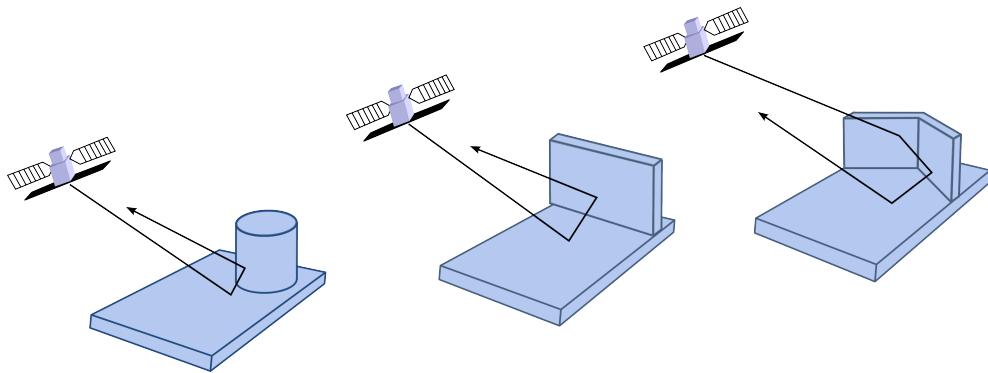


Obrázok 2.7: Geometria pohľadu [1]

uhol. Odrazený pulz z bodu na vrchole sa do senzoru vráti skôr ako bod ležiaci nižšie od vrcholu. Táto chyba je prevrátená k chybám fotografických skenerov.

2.4 Parametre cieľa ovplyvňujúce vzhľad obrazu

Geometrický a fyzikálny tvar objektu môže mať vplyv na zmenu množstva rozptylu. Rôzne kultúry pozemkov, poľnohospodársky obrábané polia, lesy s rôznou výškou, rozličnými listami, krivkami a orientáciou, všetky tieto parametre ovplyvňujú množstvo odrazeného signálu z príslušnej plochy, čo má za následok zmenu intenzity spätného signálu. Odrážače s veľmi malým rozptylom a kvalitným odrazom patria do triedy kútových odrážačov. Vrátený signál od týchto odrážačov je vysoko koherentný. Kútové odrážače môžeme rozdeliť do troch kategórií, na dvojboké odrážače, trojboké odrážače a tzv. top-hat odrážače s hladkým valcom postaveným na hladkom povrchu. Signál vrátený z top-hat odrážača nezávisí na azimute pozorovacieho uhlu, ale je zásadne slabší ako odraz z dvojbokého, alebo trojbokého odrážača. Signál z dvojbokého kútového odrážača je silný iba ak povrch, ktorý signál odráža je kolmý na smer žiarenia. Najsilnejší odraz spôsobuje trojboký rohový odrážač. Energia dopadajúca na nejaký povrch správne orientovaného kútového odrážača, bude priamo vrátená späť k zdroju žiarenia. Umelo vytvorené odrážače môžu byť napríklad budovy, mosty, veže a stĺpiky v stojacej vode. Prírodne vytvorený kútový odrážač môže byť napríklad skala, ktorá vyčnieva z vodnej hladiny, stromy stojace vo vode a pod.



Obrázok 2.8: Z ľava top-hat odrážač, dvojboký odrážač, trojboký odrážač [1]

2.4.1 Drsnosť povrchu

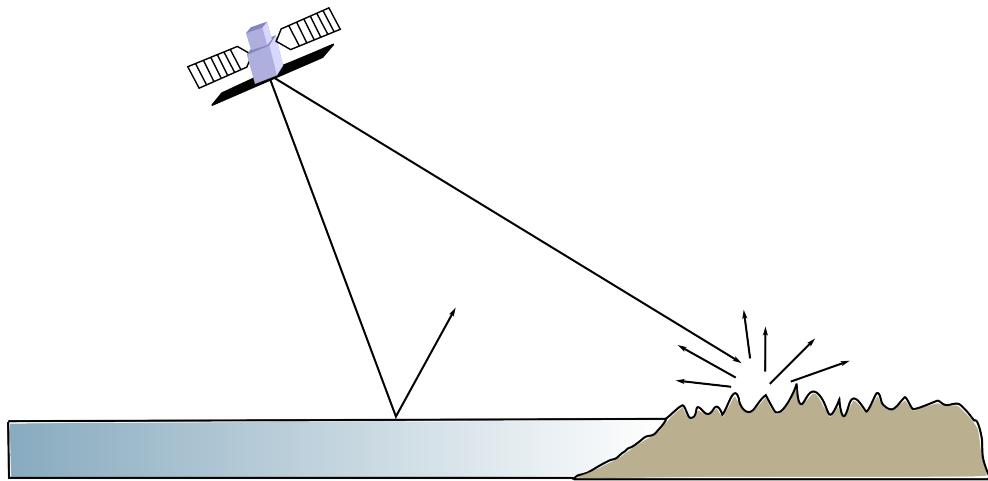
Drsnosť povrchu je pojem, ktorý vyjadruje nepravidelnosť vo výške a šírke povrchu. Drsnosť povrchu môže byť vyjadrená ako priemerný vertikálny a horizontálny poomer vzdialenosí a ako dvoj-dimenziuálna distribučná funkcia, ktorá popisuje ich nestálosť. Drsnosť povrchu má veľmi dôležitý efekt na mikrovlný odraz. Posúdenie drsnosti terénu pri radarovom snímaní závisí na vlnovej dĺžke signálu viz. kap. 2.1.3.. U družíc s vlnovou dĺžkou niekoľkých centimetrov, do ktorých taktiež spadajú družice ERS-1, ERS-2, môžeme terén považovať za drsný pri nepravidelnostach cca 2 cm [1]. Horizontálny hladký povrch odrážajúci skoro všetku dopadajúcu energiu mimo radar sa nazýva zrkadlový povrch, alebo aj zrkadlový odrážač. Ako zrkadlový odrážač sa chová napríklad vodná hladina, diaľnica a na snímke sa tieto plochy javia čierrou farbou. Plochy, ktoré odrážajú dopadajúcu energiu v širokom uhlovom intervale s veľmi malým podielom spätného odrazu sa nazývajú difúzne odrážače. Difúzny odrážač je možné určiť matematicky pomocou Rayleighovho kritéria, pokiaľ pre rms (root-mean-square, teda druhá odmocnina z veľkosti výšok na druhú) platí

$$rms > \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \Theta_i} \quad (2.3)$$

kde Θ_i je lokálny incidenčný uhol. Ako difúzne odrážače sa chovajú poľnohospodárske polia, vlnitá hladina vody, nízka vegetácia a pod. Matematicky je možné hladký povrch vyjádriť pomocou tohto istého vzorca avšak s opačným znamienkom.

2.4.2 Dielektrická konštanta

Dielektrická konštanta je elektrická charakteristika materiálu, ktorá ovplyvňuje odraz žiarenia od prvkov na zemskom povrchu. V radarovom DPZ materiály s vysšou dielektrickou konštantou silnejšie reagujú s radarovými vlnami. Materiály s vysšou



Obrázok 2.9: Zrkadlový odrážač, difúzny odrážač [1]

dielektrickou konštantou sa na radarovej snímke zobrazia tmavšie ako materiály s nižšou dielektrickou konštantou. Väčšina materiálov v suchom stave ma dielektrickú konštantu 3 - 8, pričom voda ju má 81. Preto sa na radarovej snímke zobrazí les po daždi tmavšie, ako ten istý les v suchom stave. Kvôli tejto vlastnosti majú snímky rovnakého územia často krát rozdielny kontrast.[1]

2.4.3 Lokálny incidenčný uhol (miestny uhol dopadu)

Množstvo odrazeného žiarenia odrazeného od cieľa je priamo ovplyvnené uhlom, pod ktorým dopadá energia na zemský povrch. Miestny uhol dopadu je špecifický uhol medzi normálou terénu a dopadajúcim lúčom. Tento uhol závisí na skлоне a natočení terénu. Napríklad sklon svahu s malým miestnym uhlom dopadu odrazí silnejší signál ako ten istý povrch s väčším uhlom dopadu. Čiže miesta s menším uhlom dopadu sa budú zobrazovať tmavšie ako tie isté miesta s väčším uhlom dopadu. [1]

2.5 Parametre senzoru

2.5.1 Frekvencia a vlnová dĺžka

Frekvencia radaru je veľmi dôležitý parameter, ktorý určuje prechod radarového signálu terénnym pokryvom. Efektivita odrazu na odrazových elementoch záleží hlavne na hodnote dielektrickej konštanty materiálu. Pokiaľ sú observované materiály s vysokou hodnotou dielektrickej konštanty, ako sú listy, ihličie v lesnom poraste, prechod signálu popisuje vzťah veľkosti odrážača k vlnovej dĺžke. Strata energie závisí na extinčnom koeficiente charakterizujúcom daný materiál. Extinčný

koeficient značne závisí na frekvencií. Experimentálne bolo zistené, že C-pásma (jeho vlnová dĺžka je 5.7 cm) prenikne cez 30% lesného pokryvu, L-pásma (jeho vlnová dĺžka je 23 cm) cez 60% lesného pokryvu a pomocou P-pásma (jeho vlnová dĺžka je 69 cm) je možné získať obraz povrchu terénu. Efektivita prechodu porastom taktiež záleží na objemovej hmotnosti (tony na hektár) lesnej vegetácie. [1]

2.5.2 Incidenčný uhol (uhol dopadu)

Incidenčný uhol je uhol medzi radarovým range vektorom a lokálnym vertikálnym smerom. Pretože sa radarové snímky vyhotovujú zo vzdialenosí cca 850 kilometrov, môže incidenčný uhol nadobúdať rozdielne hodnoty v blízkom a vzdialenom range. Ciele pozorované s rôznym incidenčným uhlom budú mať rozdielne odrazové príznaky, pretože interakcia s geometriou pohľadu a s fyzikálnou štruktúrou ciela ovplyvňuje informácie potrebné pre klasifikáciu. Malý uhol dopadu spôsobuje intenzívny odraz od relatívne hladkých povrchov, naopak pri veľkom uhle dopadu sú hladké povrhy reprezentované tmavšou farbou. Zmena veľkosti incidenčného uhlu nespôsobuje výrazné zmeny v jase radarového obrazu, pretože pomer výšky letu radarového nosiča a veľkosti snímkovanej oblasti dovoľuje zmenu incidenčného uhlia len v malom intervale.[1]

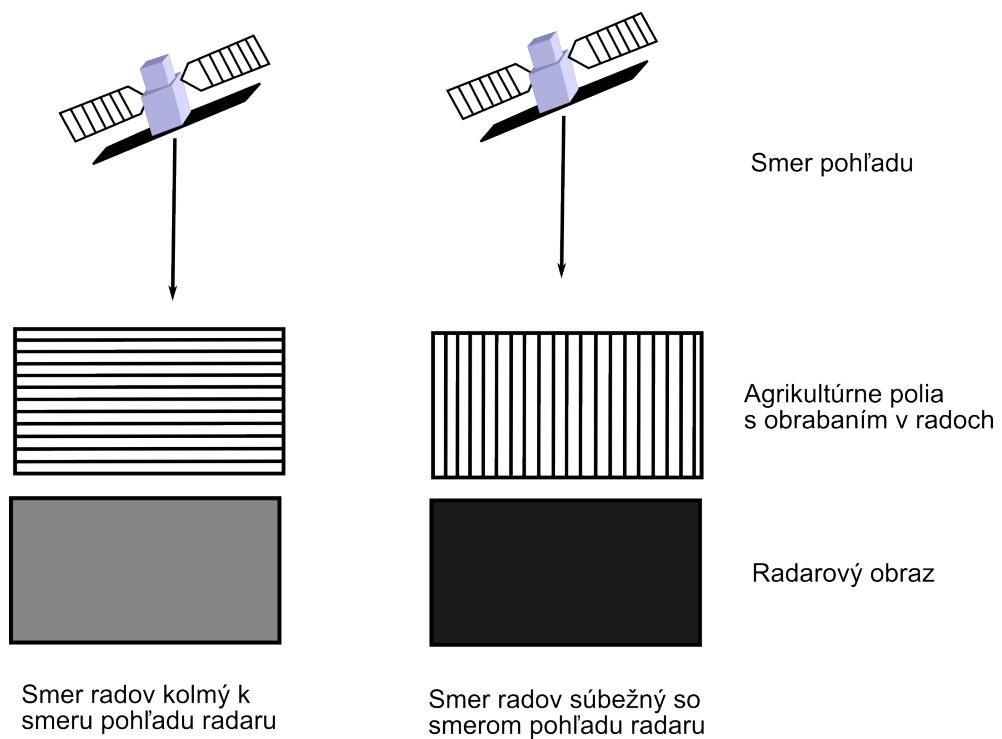
2.5.3 Polarizácia

Spôsob, akým radarový signál interahuje s cielom, záleží na charakteristike ciela, charakteristike signálu a signál-ciel' geometrii. Tento výsledok komplexnej interakcie môže mať za následok po odraze od ciela zmenu polarizácie radarového signálu. Jednoduchý odraz (single-bounce) mikrovlného žiarenia nemení polarizáciu vyslaného žiarenia (napr. horizontálne polarizovaný signál H ostane po odraze nezmenený). Komplexný odraz (multiple bounces) môže de-polarizovať vyslaný signál (napr. horizontálne polarizovaný signál H sa po odraze zmení na vertikálne polarizovaný V). Ciele sa môžu javiť odlišne v závislosti na stupni depolarizácie vyslaného signálu a polarizačnej konfigurácii senzora. Depolarizácia signálu je spôsobená predovšetkým odrazom od vegetačného pokryvu.[1]

2.5.4 Smer pohľadu (Look direction)

Smer pohľadu popisuje relatívnu orientáciu vyslaného radarového lúča k smeru zárovnania elementov terénu. Smer pohľadu môže ovplyvniť vzhľad radarového obrazu. Vzhľad ovplyvňuje obzvlášť terén s lineárne usporiadanou štruktúrou, ako sú

agrikultúrne polia a špecifické geologické štruktúry. Ked' je smer osvitu radaru orientovaný kolmo k smeru zlomov geologických lineárnych štruktúr, zvyšuje sa kontrast a tiene obrazu. Pri smere kolmom k smere obrábania agrikultúr sa zvyšuje množstvo odrazeného signálu a obraz je reprezentovaný šedým tónom farby, naopak smer súbežný so smerom obrábania znižuje množstvo odrazeného signálu a obraz je reprezentovaný tmavým tónom.



Obrázok 2.10: Vplyv lineárneho smeru zarovnania terénu na radarový odraz [1]

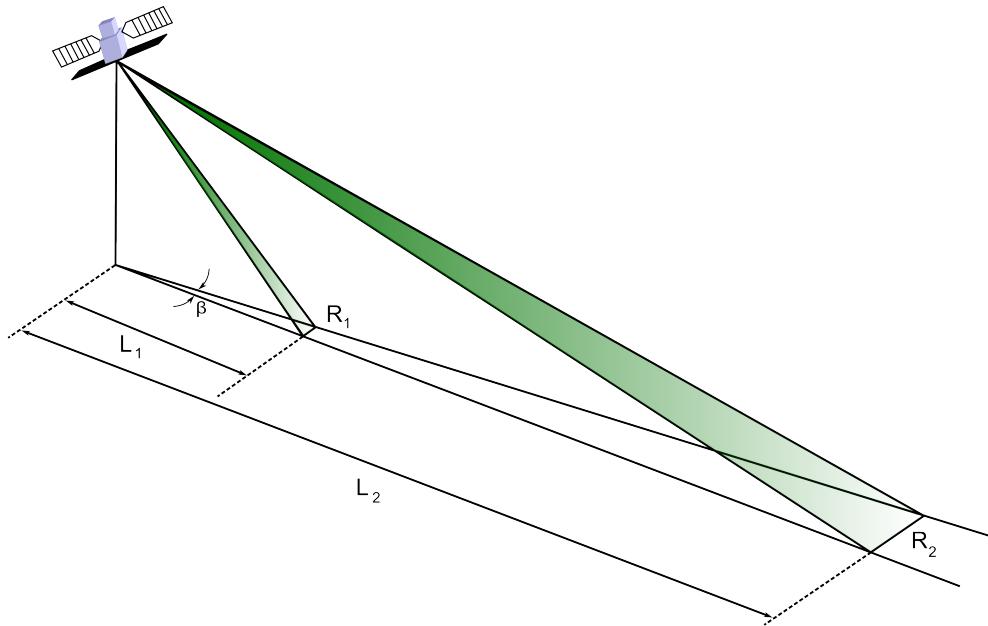
2.6 Rozlíšenie

Priestorové rozlíšenie je charakterizované dvoma parametrami a to dĺžkou pulzu vyslaného zdrojom žiarenia a šírkou lúča. Šírka lúča určuje rozlíšenie v smere letu družice, taktiež nazývaného ako rozlíšenie v smere azimutu a dĺžka pulzu určuje rozlíšenie v smere priečnom k osi letu.

2.6.1 Rozlíšenie v smere azimutu

Rozlíšenie v smere azimutu je závislé na uhlovej šírke antény β a vzdialosti na zemi L [2]. Azimutové rozlíšenie je dané rovnicou

$$R_\alpha = \beta \cdot L \quad (2.4)$$



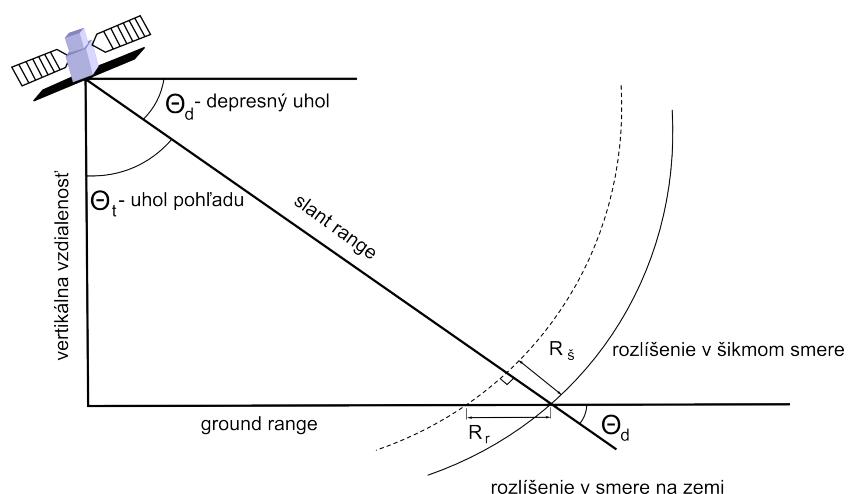
Obrázok 2.11: Závislosť azimutového rozlíšenia na šírke lúča antény [2]

2.6.2 Rozlíšenie v smere priečnom k ose letu

Aby sme na zemskom povrchu mohli od seba odlišiť dva rôzne predmety, je nutné, aby bol odraz od oboch predmetov priatý anténou oddelené. Pokiaľ by bola šikmá vzdialenosť dvoch predmetov menšia ako polovica dĺžky pulzu, tieto dva predmety by boli na snímke nerozoznateľné. Šikmé rozlíšenie v smere priečnom k osi letu nezáleží na vzdialosti od nosiča, ale je rovné polovici dĺžky pulzu. Pričom rozlíšenie v smere priečnom k osi letu meraného vo vzdialostiach na zemskom povrchu už na vzdialosti od družice závisí. Toto rozlíšenie je dané vzťahom

$$R_r = \frac{c \cdot \tau}{2 \cdot \cos \Theta_d} \quad (2.5)$$

Kde Θ_d je depresný uhol a τ je dĺžka trvania pulzu.



Obrázok 2.12: Rozlíšenie v smere priečnom k osi letu [2]

3 Popis radarových dát DPZ

Každá radiometrická veličina f , ktorá je závislá na vlnovej dĺžke, čase a polarizačnej rovine, je priradená k určitému miestu na zemskom povrchu. Pre každý bod na zemskom povrchu, ktorý je daný pravouhlými súradnicami (x,y) poprípade súradnicami zemepisnými (φ, λ) , existuje práve jedna hodnota radiometrickej veličiny. Ak sa bod na jednom mieste určí v L – vlnových dĺžkach v T – časových okamihoch, a P – polarizačných rovinách, bude na danom mieste $M = L.T.P$ meraných hodnôt. Radarové dátá sú potom M-rozmernou vektorovou funkciou $f_m(x, y)$. Každý bod môže nadobúdať hodnoty $x = (0, X)$ a $y = (0, Y)$ kde $x, y \in \mathcal{Z}$ a X, Y sú hranice pozorovaného územia [2].

3.1 Obrazové dátá

Ked'že každá radiometrická veličina má svoju priestorovú lokalizáciu, môžeme jej hodnotu reprezentovať v podobe obrazu. Funkciu $f_m(x, y)$ teda nazývame obrazovou funkciou. Hodnoty, ktoré môže nadobúdať obrazová funkcia, nazývame obrazovými dátami a celý nameraný súbor dát sa nazýva obraz.

3.1.1 Geometrická kalibrácia

Geometrické korekcie sa aplikujú na radarový obraz z dôvodu odstránenia geometrických distorzií spôsobených radarovou geometriou a dávajú radarovým dátam správnu geografickú reprezentáciu. Do geometrickej korekcie je zahrnutá korekcia prevodu zo slant range do ground range na zemskom povrchu a geometrická rektifikácia. Geometrická rektifikácia slúži k správnej reprezentácii objektov, koriguje ich tvar a orientáciu.

3.1.2 Radiometrická kalibrácia

Jeden z hlavných problémov radarových snímok je nedostatočná homogenita kontrastu, ktorá znehodnocuje obsah snímky. Radiometrická kalibrácia koriguje kontrastné diferencie medzi snímkami. Radiometrické vady sú spôsobené z veľkej časti nesprávnou geometriou senzoru. Radiometrické chyby snímky ovplyvňujú rôzne fyzikálne a geometrické parametre, ako sú napríklad smer osvetlenia objektov, odraz elektromagnetického žiarenia rôznymi topografickými plochami, atmosférické podmienky atď. Veľký vplyv na radiometrickú presnosť má taktiež topografia terénu,

resp. jeho výškové zmeny. Najviac sa tieto chyby prejavujú u snímok, ktoré sú vyhotovené pod šikmým uhlom (incidenčným uhlom). Takáto situácia je štandardná pre radarové snímky.

3.2 Vizuálna interpretácia

Vizuálna interpretácia má rovnaký základ ako klasifikácia leteckých snímok a držicových optických dát. Avšak medzi radarovým obrazom a optickou snímkou sú značné rozdiely v reprezentácii a forme obrazu. Pre správnu interpretáciu radarového obrazu je nevyhnutné rozumieť radarovej konfigurácii, energii interagujúcej s objektmi na zemskom povrchu a reprezentácii danej interakcie v obraze. Jedinečné vlastnosti radarového obrazu musia byť včlenené do interpretačného procesu. Medzi klíčové elementy interpretácie patrí odtieň, textúra, vzor, rozmer, tvar a asociatívnosť.

3.2.1 Odtieň

Odtieň je základný element ľudského vizuálneho vnímania. Odtieň v radarových obrazoch je výsledok odrazeného signálu v závislosti na frekvencii. Štruktúra objektu výrazne ovplyvňuje zmenu odtieňa. Napríklad voľná vodná hladina ma tmavší odtieň, pretože pri zrkadlovom odraze je väčšina energie odrazená mimo senzor. Na proti tomu povrhy odrážajúce väčšie množstvo signálu (odrážače s veľmi malým rozptylom kap. 2.4), sú na snímke zobrazené svetlejším odtieňom.

3.2.2 Textúra

Textúra je definovaná ako priestorový vzor so zmenou odtieňa v určitej ploche, ktorá môže byť klasifikovaná ako hladká, lineárna, zrnitá, škvŕnitá a ryhovaná. Textúra je faktor, pomocou ktorého je možné identifikovať homogénne plochy so špecifickým povrhom a je dôležitá pre geologické a vegetačné mapovanie.

3.2.3 Vzor

Vzor reprezentuje pravidelné priestorové usporiadanie objektu, orientáciu, rozostup a denzitu.

3.2.4 Rozmer

Rozmer objektu je definovaný ako zmena kontrastu objektu od okolitého prostredia a môže byť užitočný pri odlišení objektov podľa požadovaných podmienok. Rozmer obrazu je faktor, ktorý ovplyvňuje veľkosť objektu na obraze.

3.2.5 Tvar

Pomocou tvaru môžeme od seba odlišovať rôzne prírodne objekty. Tvar radarových tieňov pomáha určovať terénny typ, zatiaľ čo dĺžka tieňov môže byť použitá k odhadu výšky terénu. Projekcia tieňov taktiež určuje priestorovú formu terénu.

3.2.6 Asociatívnosť

Asociatívnosť môže taktiež pomáhať pri vizuálnej interpretácii obrazu. Asociacia je proces na identifikáciu, alebo na pomoc pri identifikácií lokálnej a regionálnej súvislosti objektov. Interpretácia objektov môže byť využitá k skúmaniu prostredia pomocou aplikácie princípu asociatívnosti.

4 Radarové dáta a vstupné súbory

Pri registrácii dát získavaných radarom so syntetickou apertúrou je výsledkom aktívna snímka, pri ktorej sa základne vlastnosti žiarenia nemenia, ale mení sa jeho intenzita [7]. Vzhľad radarovej snímky naproti snímkam vyhotovených pomocou optického senzoru je veľmi nezvyklý. Snímku je možno pripojiť k čiernobielej fotografii. Na rozdiel od bežných snímok majú radarové snímky veľké prechody intenzit, to znamená, veľké prechody medzi bielou a čiernou farbou. Táto vlasnosť je spôsobená tým, že rozptyl radarových vln je menší ako rozptyl bieleho svetla. Pôvodné dáta boli dodané Európskou vesmírnou agentúrou ESA na CD a pomocou programu GAMMA z nich boli vytvorené súbory *.slc, ostatné súbory sú z týchto dát určitým spôsobom odvodené.

4.1 Súbory SLC

Obrazové dáta vo formáte SLC (single look complex) sú uložené v tvare komplexného čísla. Každý bod obrazu je teda reprezentovaný práve jedným komplexným číslom. Toto číslo obsahuje informáciu o amplitúde a fáze odrazeného žiarenia. Podľa definície geometrického tvaru komplexného čísla je možné z daných dát získať amplitúdu a fázu žiarenia. Toto číslo je zaznamenané v tvare $r_\Phi = a + bi$. Veľkosť amplitúdy je rovná veľkosti vektoru v Gaussovej rovine. Amplitúdu môžeme vypočítať zo vzťahu

$$A = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4.1)$$

kde A je amplitúda žiarenia, a je hodnota na osi reálnej časti a b je hodnota na osi imaginárnej časti komplexného čísla. Veľkosť fáze je možné určiť pomocou vzťahu

$$\cos \Phi = \frac{a}{A} \quad , \quad \sin \Phi = \frac{b}{A} \quad (4.2)$$

kde Φ je fáza vlny.

4.2 Súbory PWR

Formát PWR je odvodený z formátu SLC. Každý pixel obrazu je reprezentovaný intenzitou žiarenia. Intenzita žiarenia je definovaná ako druhá mocnina príslušnej amplitúdy. V prípade, že súbory PWR niesu nejakým spôsobom upravené, mal by pre každý bod obrazu platiť vzťah $I_i = A_i^2$, kde I_i je intenzita i -tého pixlu formátu PWR a A_i je amplitúda toho istého pixelu v súbore SLC.

4.3 Ostatné vstupné súbory

4.3.1 Súbory s príponou .par

Vstupné súbory s príponou *.par obsahujú informácie o geometrii letu a snímkovania, informácie o veľkosti a polohe daného územia. V týchto súboroch je uložená kalibračná konštantá, pomocou ktorej je možné opraviť amplitúdu pôvodných SLC súborov.

4.3.2 Súbory s príponou .ras

Súbory s touto príponou sú rastrové súbory, ktoré je možné zobraziť v bežných editoroch obrázkov typu GIMP. Na týchto rastrových obrazoch je patrný rozdiel kontrastov aj napriek tomu, že zobrazujú rovnaké územie. Túto vadu je potrebné do určitej miery eliminovať.

5 Histogram

Histogram je jedným z najstarších odhadov hustoty pravdepodobnosti. Je to stĺpcový graf, v ktorom os x predstavuje triedy prvkov a os y počet prvkov danej triedy. Všeobecne je trieda obmedzená hraničnými bodmi, ktorých rozdiel definuje veľkosť intervalu tried. Kvalitu histogramu značne ovplyvňuje voľba počtu tried a veľkostí intervalov. Pokial dátu už nie sú rozdelené do tried, je potrebné definovať hraničné body všetkých tried $x_j, j = 1, \dots, L+1$, kde L je počet tried. Obecne potom môžeme zapísť vzťah pre j -tu triedu, ktorá je ohraničená bodmi

$$x_j \leq x \leq x_{j+1}, \quad (5.1)$$

Rozdiel hraníc tried určuje šírku intervalu $\Delta x = x_{j+1} - x_j$. Vhodná voľba počtu tried L je potrebná na vyhotovenie kvalitného histogramu. Počet tried L so šírkou Δx príslušného histogramu určuje vzťah

$$L = \text{int}(2\sqrt{n}), \quad (5.2)$$

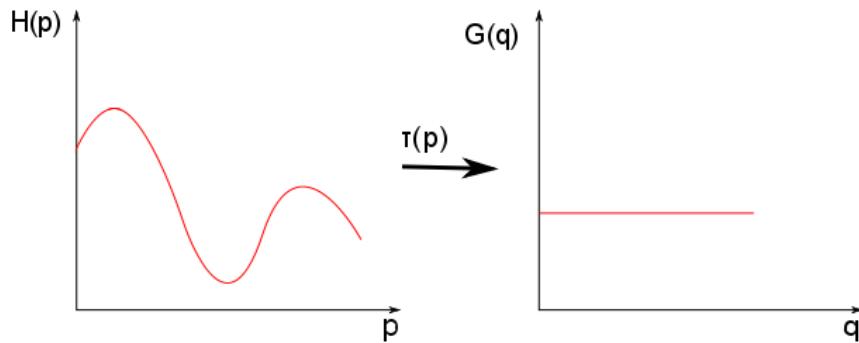
kde funkcia $\text{int}(x)$ označuje celo-číselnú časť čísla x , n je veľkosť výberu. Tento vzťah platí pre približne simetrické rozdelenia. Pri znalosti všetkých hraničných bodov sa histogram vypočíta podľa vzťahu

$$f(x) = \frac{1}{n(x_{j+1} - x_j)} C(x_j, x_{j+1}), \quad \text{pre } x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (5.3)$$

kde $C(x_j, x_{j+1})$ je funkcia, ktorá je rovná počtu prvkov výberu ležiacich v intervale $x_j \leq x \leq x_{j+1}$. Pri niektorých konštrukciách histogramu je funkcia $C(x_j, x_{j+1})$ rovná absolútnejmu početnosti jednotlivých tried. To znamená, že výška stĺpca histogramu je rovná počtu prvkov v danej triede [3].

5.1 Ekvalizácia histogramu

Ekvalizácia histogramu sa používa pre zvýšenie kontrastu mono-chromatického obrazu. Je to jasová transformácia vďaka, ktorej sú jednotlivé jasové úrovne v novom obrazu zastúpené približne rovnako. Po použití ekvalizácie sa zvýší kontrast pre úrovne jasu blízko maxímu histogramu a zníži kontrast v blízkosti minim. Ekvalizáciou zvýšime kontrast s využitím celej jasovej stupnice. Vstupnými hodnotami sú hodnoty histogramu $H(p)$ vstupného obrazu s jasovou stupnicou $p = \langle p_0, p_k \rangle$. Cieľom ekvalizácie je nájsť monotónnu transformáciu jasovej stupnice $q = \tau(p)$, tak, aby výsledný histogram $G(q)$ bol rovnomerný pre celý výstupný interval jasov $q = \langle q_0, q_k \rangle$



Obrázok 5.1: Transformácia histogramu

$$\sum_{i=0}^k G(q_i) = \sum_{i=0}^k H(p_i) \quad (5.4)$$

Ekvalizovaný histogram $G(q)$ zodpovedá uniformnej funkcií hustoty pravdepodobnosti f s počtom hodnôt N , ktorej funkčné hodnoty sú konštantné

$$f = \frac{N^2}{q_k - q_0} \quad (5.5)$$

Ideálne rovnomerný histogram získame iba pre idealizovanú spojitú funkciu hustoty pravdepodobnosti. Z toho vyplýva vzťah z ktorého je odvodnená transformácia $q = \tau(p)$

$$\int_{q_0}^q G(s)ds = \int_{p_0}^p H(s)ds \quad (5.6)$$

Ked'že funkcia $G(s)$ zodpovedá uniformnej funkcie hustoty pravdepodobnosti, je možné za $G(s)$ dosadiť f

$$N^2 \int_{q_0}^q \frac{1}{q_k - q_0} ds = \int_{p_0}^p H(s) ds \quad (5.7)$$

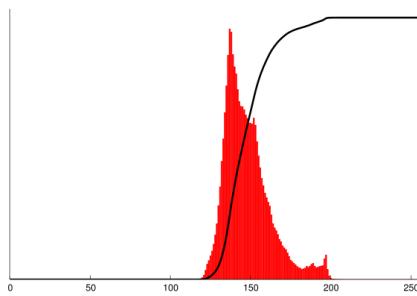
$$\frac{N^2 \cdot (q - q_0)}{q_k - q_0} ds = \int_{p_0}^p H(s) ds \quad (5.8)$$

$$q = \tau(p) = \frac{q_k - q_0}{N^2} \int_{p_0}^p H(s) ds + q_0 \quad (5.9)$$

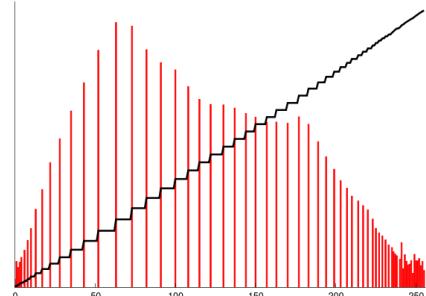
Aproximácia pre diskrétny prípad kumulatívneho histogramu je v tvare

$$q = \tau(p) = \frac{q_k - q_0}{N^2} \sum_{i=p_0}^p H(i) ds + q_0 \quad (5.10)$$

Táto kapitola je prevzatá z [11]



Obrázok 5.2: Pôvodný histogram prevzatý z [10]



Obrázok 5.3: Ekvalizovaný histogram prevzatý z [10]

6 Kalibračná konštanta

Kalibračná konštantu je pre každú snímku špecifická hodnota. Túto konštantu zverejňuje ESA a je dostupná na ich webových stránkach [9]. Kalibračná konštantu sa často udáva v decibeloch a môžeme ju matematicky vyjadriť ako

$$k_{dB} = 10\log_{10} \frac{A_1^2}{A_0^2} = 20\log_{10} \frac{A_1}{A_0} \quad (6.1)$$

kde A_1 je amplitúda opravená o kalibračnú konštantu, A_0 je amplitúda každého pixelu na nekalibrovanej snímke a K_{dB} je kalibračná konštantu v decibeloch.

7 Úprava dát

V tejto časti sú popísané metódy a postupy kalibrácie radarového obrazu. Všetky funkcie boli vytvorené v programe MATLAB, preto v ďalších kapitolách už použitý jazyk nebude špecifikovaný.

7.1 Prevody vstupných dát

7.1.1 Byteswap súborov

Družicové dáta môžu byť spracovávané na dvoch druhoch počítačov, ktoré pracujú buď v takzvanom „big endiane“ (počítače SUN, Apple) a „low endiane“ (počítače intel). Rozdiel medzi „low“ a „big endianom“ je v rozdielnej reprezentácii bajtov alokovaných v pamäti počítača. Všetky družicové dáta sú však prijímané a spracovávane na „big endiane“, avšak pre našu potrebu je nutné vyhodnocovať dáta v „low endiane“, preto je tieto dáta potrebné „byteswapovať“. Prevod týchto dát sa uskutočňuje pomocou shell skriptu. Na rýchly prevod dát bol vyhotovený jednoduchý shell skript, ktorý automaticky prevedie všetky SLC resp. PWR dáta. Skript je nutné nakopírovať do priečinku s dátami, ktoré potrebujeme byteswapovať. Byteswap súborov je potom možné vykonať pomocou príkazu `./nazov_skriptu` v termináli v operačnom systéme GNU Linux. Skript automaticky vyhľadá súbory s príponou `.slc` resp. `.slc.pwr` a všetky byteswapuje pomocou programu `byteswap-short` resp. `byteswap-float`, ktorý je uložený v príslušnom adresári. Umiestnenie tohto adresáru definujeme pomocou cesty.

```
#!/bin/sh
for i in `$(find . -name "*.slc")`; do /cesta/byteswap-short $i > ${i%.bs}; done
for i in `$(find . -name "*.slc.pwr")`; do /cesta/byteswap-float $i > ${i%.bs}; done
```

7.1.2 Prevod .slc súborov na matice

Pred začiatkom spracovania daných snímok je dôležité previesť byteswapované snímky na konkrétné matice. Po prevode bude možné s maticami podľa potreby pracovať. Prevod súborov sa vykonáva pomocou funkcie $A = freadbk(meno, X, 'cpxint16')$, kde A je výsledná matica komplexných čísel a X je počet pixlov v jednom riadku.

7.1.3 Prevod .pwr súborov na matice

Obdobne ako v predošлом prípade je nutné vyhodoviť z byteswapovaných dát matice, s ktorými budeme môcť ďalej pracovať. Na prevod súborov je použitá funkcia

$B = freadbk(meno, X, 'float32')$, kde B je výsledná matica amplitúdových hodnôt a X je obdobne ako v predošlom prípade počet pixelov v jednom riadku.

7.1.4 Automatický prevod dát

V predošlých prípadoch boli vysvetlené prevody jednotlivých PWR a SLC dát na matice spracovateľné v programe MATLAB. Je predpoklad, že snímok, ktoré budeme spracovávať, bude väčšie množstvo a postupný prevod dát by bol veľmi pomalý a neefektívny. Preto bolo nutné vyhotoviť funkciu, ktorá by postupne previedla všetky potrebné dáta na požadované matice. Aby však bolo možné vôbec dáta do matlabu načítať, je nutné pomocou jednoduchého shell skriptu vytvoriť zoznam súborov, ktoré je potrebné previesť. Skript sa musí nachádzať v adresári, kde sú uložené dátá.

```
#!/bin/sh
ls *.slc.pwr.bs > zoznam_pwr.m
ls *.slc.bs > zoznam_slc.m
```

Po vytvorení potrebných zoznamov súborov môžeme spustiť funkciu „readfloat.m“ resp. „readintcpx.m“, ktorá všetky dáta prevedie na matice. Táto funkcia vytvorí pole, do ktorého sa matice uložia.

7.2 Závislosť PWR a SLC súborov

Zistenie závislosti medzi dátami PWR a SLC je dôležité z hľadiska ďalšieho spracovania dát. Predpokladáme, že intenzita dát s príponou *.pwr je priamoúmerná druhej mocnine amplitúdy získanej z dát s príponou *.slc. Teda predpokladáme, že platí vzťah.

$$\text{PWR} = A^2 \quad (7.1)$$

kde A je amplitúda vypočítaná z komplexného čísla SLC súboru podľa rovnice 4.1.

Pokiaľ by táto závislosť nebola splnená predpokladame, že hodnoty intenzity boli nejakým spôsobom kalibrované a v tom prípade by bolo nutné zistiť spôsob kalibrácie a jej presnosť. V prípade splnenia závislosti nie sú dátá žiadnym spôsobom upravované. Zistenie závislosti bolo vyriešené pomocou funkcie „nadruhu.m“. Táto funkcia umocní každý pixel matice amplitúdových hodnôt a porovná to s hodnotami intenzít. V práci bolo zistené, že intenzity nie sú žiadnym spôsobom upravované.

7.3 Kalibrácia pomocou kalibračného koeficientu

7.3.1 Vyhotovenie zoznamu konštant

Každá snímka vyhotovená družicou ERS-1 resp. ERS-2 má svoju špecifickú kalibračnú konštantu uloženú v pomocnom súbore *.par. Pred kalibrovaním dát je nutné tieto konštanty vyhľadať a vytvoriť z nich zoznam čitateľný v programe MATLAB. Na vytvorenie tohto zoznamu bol vyhotovený shell skript spustiteľný v terminálovom okne systému GNU Linux.

```
#!/bin/sh
for i in $(find . -name "*.par"); do grep calibration_ gain:/* $i ; done > temp1
ls *.par > temp2
paste -d ' ' temp1 temp2 > cal_gain
sed 's/calibration_gain://g' temp1 | sed 's/dB//g' > con_mat
rm temp*
```

Tento skript vyhľadá v príslušných súboroch kalibračné konštanty a vytvori z nich dva čitateľné súbory so zoznamom príslušných konštant.

7.3.2 Kalibrácia amplitúd

Všetky konštanty sú udávane v dB. Opravenú amplitúdu získame použitím vzťahu

$$A_1 = 10^{\frac{K_{dB}}{20}} \cdot A_0 \quad (7.2)$$

kde A_1 je amplitúda opravená o kalibračnú konštantu, A_0 je amplitúda každého pixelu na snímku a K_{dB} je kalibračná konštanta v decibeloch. Na túto úpravu bola vyhotovená funkcia, ktorá vráti opravenú amplitúdovu hodnotu. Z opravených amplitúd boli vyhotovené histogramy, ktoré budú porovnané v kap.8.

7.4 Kalibrácia vyrovnaním stredných hodnôt a variancií

Aby sme dátá úspešne skalibrovali, musia mať všetky snímky rovnakú strednú hodnotu a varianciu. Stredná hodnota môže byť vypočítaná ako jednoduchý aritmetický priemer, avšak na základe priebehu histogramu je možné uvažovať ako strednú hodnotu taktiež median. V prvom rade je nutné vypočítať stredné hodnoty a variancie pre každú snímku zvlášť. Keďže kvalitu bodu určuje disperzný koeficient (kap. 7.8), ktorý je závislý na strednej hodnote a pri zvyšovaní strednej hodnoty sa zvyšuje aj kvalita bodov, je nutné vybrať ako master snímku, snímku s najväčšou strednou hodnotou. Každá snímka potom bude mať strednú hodnotu a varianciu rovnakú ako ich má master snímka. Snímka master je vzorová snímka, podľa ktorej sa ostatné

snímky budú kalibrovať. V prvom kroku je nutné nastaviť všetky stredné hodnoty na nulovú hodnotu $S_{i0} = h_{mn} - \bar{x}_i$, kde S_{i0} je i-tá kalibrovaná snímka s nulovou strednou hodnotou, h_{mn} je digitálna hodnota snímky v m-tom riadku a n-tom stĺpci a \bar{x}_i je stredná hodnota i-tej snímky. Ak budú všetky stredné hodnoty nulové, je možné varianciu ľubovoľne meniť a stredná hodnota ostane neporušená. Výpočet konštanty pre vyrovnanie rozptylov vypočítame zo vzťahu

$$k_i = \frac{\sigma_{master}}{\sigma_i} \quad (7.3)$$

kde σ_{master} je rozptyl master snímky a σ_i je rozptyl i-tej kalibrovanej snímky. Opravené dátá získame tak, že každú snímku s nulovou strednou hodnotou vynásobíme konštantou vypočítanou v rovnici 7.3 a pripočítame k nej strednú hodnotu master snímku.

$$S_i^{opr} = k_i \cdot S_{i0} + \bar{x}_{master} \quad (7.4)$$

kde S_i^{opr} je opravená i-tá snímka. Táto metóda je naprogramovaná ako funkcia „strhod.m“. Funkcia sa zadáva bez vstupných parametrov. Vstupné parametre sú implicitne nastavené digitálne hodnoty neopravených snímok. Funkcia vracia kalibrované matice, maticu disperzných koeficientov a počet bodov s požadovanou hodnotou disperzného koeficientu. Výpočet disperzného koeficientu je uvedený v kap. 7.8.

7.5 Kalibrácia ekvalizáciou histogramov

Teoretické odvodenie ekvalizácie histogramu bolo naznačené v kap.5. V tejto sekcií bude naznačený postup tvorby algoritmu, aplikovaný na problematiku radiometrickej kalibrácie. Najprv bola vybraná snímka, podľa ktorej by mali byť všetky snímky ekvalizované. V tomto prípade nie je podstatné, podľa ktorej snímky budeme histogramy upravovať. Ako snímka master bola zvolená prvá snímka v zozname. Pomocou tejto snímky sa budú rozdeľovať digitálne hodnoty. Snímky však majú veľký rozsah intenzít, avšak intenzity s vysokými hodnotami sú v riedkom zastúpení, preto by vo výpočte ekvalizácie nemali na výsledok skoro žiadnen vplyv. Veľmi dôležité preto bolo určiť hranicu, od ktorej by sa brali hodnoty ako odľahlé a do výpočtu nezahrňovali. Pre takéto množstvo dát je veľmi zložité počítať odľahlé merania, preto je maximálnu hodnotu možné zvoliť podľa charakteru vstupných dát. V prvom kroku boli vypočítané histogramy vzorovej snímky a snímky kalibrovanej. V tomto kroku nastavíme počet intervalov histogramu a maximálnu hodnotu. Výpočet histogramov zabezpečuje implementovaná funkcia v MATLABE. Zo vzorovej snímky bola určená kumulatívna početnosť digitálnych hodnôt.

$$cdf_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (7.5)$$

kde cdf_i je počet hodnôt vo výslednom i -tom stĺpci a n_k značí počet hodnôt v k -tom stĺpci. Nové digitálne hodnoty pre každý pixel sa vypočítajú zo vzťahu

$$ekv_i = \text{round} \left(\frac{cdf_i - cdf_{min}}{(M \cdot N) - cdf_{min}} \cdot (L - 1) \right) \quad (7.6)$$

kde ekv_i sú hodnoty nových intervalov, resp. nové digitálne hodnoty pixelov, round zaokrúhľuje hodnotu na celé číslo, M a N sú hodnoty určujúce rozmer matice, cdf_{min} je minimum kumulatívnej funkcie a L je veľkosť maximálnej hodnoty novej snímky. To znamená že hodnoty, ktoré predtým spadali do prvého intervalu, budú novo spadať do intervalu daného hodnotami ekv_i . Každý nový pixel bude mať hodnotu stredu intervalu. Na záver boli všetky nové digitálne hodnoty rozmiestnené na svoje pôvodné miesta v matici. Táto funkcia je vytvorená vždy len pre jednu snímku. Aby sa však ekvalizovali všetky snímky naráz, je vytvorená ďalšia funkcia, ktorá postupne vyberá každý snímku a ekvalizuje ju. Výstupnými hodnotami tejto funkcie sú ekvalizované matice, matica disperzných koeficientov a počet bodov s disperzným koeficientom menším ako je zvolená hodnota.

7.6 Zobrazenie výsledkov kalibrácie

Po radiometrickej oprave snímok je z hľadiska porovnania kalibračných metód a ďalšej práce s dátami nutné previesť vypočítané hodnoty na súbory *.pwr a obrazové súbory. Na porovnanie je nutné vyhotoviť histogramy a vypočítať disperzné koeficienty.

7.6.1 Prevod kalibrovaných matíc do formátu float

V tejto práci sa implicitne kalibrovali intenzity, preto je tieto výsledné hodnoty najvhodnejšie previesť na súbory s príponou *.pwr. Prevod sa vykonáva pomocou funkcie fwritebk, ktorá je podobne ako freadbk súčasťou balíčka zo zdroja [14]. Funkciu je možné použiť ako *fwritebk(Y, 'názov.pwr')*, kde Y je opravená matica intenzít a názov pwr je výsledný súbor uložený v adresári, kde sa daná funkcia nachádza. Obdobne ako pri prevode *.pwr súborov na matice aj v tomto prípade vykonáva funkcia automatický prevod všetkých matíc na *.pwr súbory. Aby to však bolo možné, je nutné vytvoriť zoznam, ktorý bude obsahovať názvy opravených snímok. Je dôležité, aby zoznam obsahoval rovnaký počet názvov aký je počet snímok a zároveň, aby bolo snímky možné od seba odlišiť. Na tento prevod bol vyhotovený

shell skript vyhotovujúci zoznam súborov, tak že pred každý názov snímky pridá skratku „opr“.

```
ls *.slc.pwr.bs > temp
sed 's/^/opr/' temp > zoznamopr.m
rm temp
```

kde zoznamopr.m je výsledný zoznam použiteľný v programe MATLAB.

7.6.2 Spätný byteswap

Spätný byteswap sa vykonáva úplne presne ako v sekcií 7.1.1.

7.6.3 Prevod snímok do formátu *.ras

Na vizuálnu interpretáciu snímok je nutné vyhotoviť z binárnych súborov obrázky spustiteľné v grafickom editore. Tento prevod je možné vykonať v programe GAMMA pomocou príkazu *./raspwr pwr a b c d e f g h vysl i j* Kde:

- *pwr* - vstupný súbor
- *a* - počet pixlov šírky snímky
- *b* - počiatočný riadok (implicitne 1)
- *c* - počet riadkov snímky (implicitne 0 až do konca snímku)
- *d* - počet pixlov na spriemerovanie v smere range (implicitne 1)
- *e* - počet pixlov na spriemerovanie v smere azimuth (implicitne 1)
- *f* - mierka snímky (implicitne 1)
- *g* - exponent zobrazenia (implicitne 0,35)
- *h* - voľba medzi normálnym a zrkadlovým zobrazením (1,-1)
- *vysl* - výsledný obrázok
- *i* - typ vstupného súboru (0 pre FLOAT a 1 pre SHORT INTEGER)
- *j* - počet riadkov hlavičky (implicitne 0)

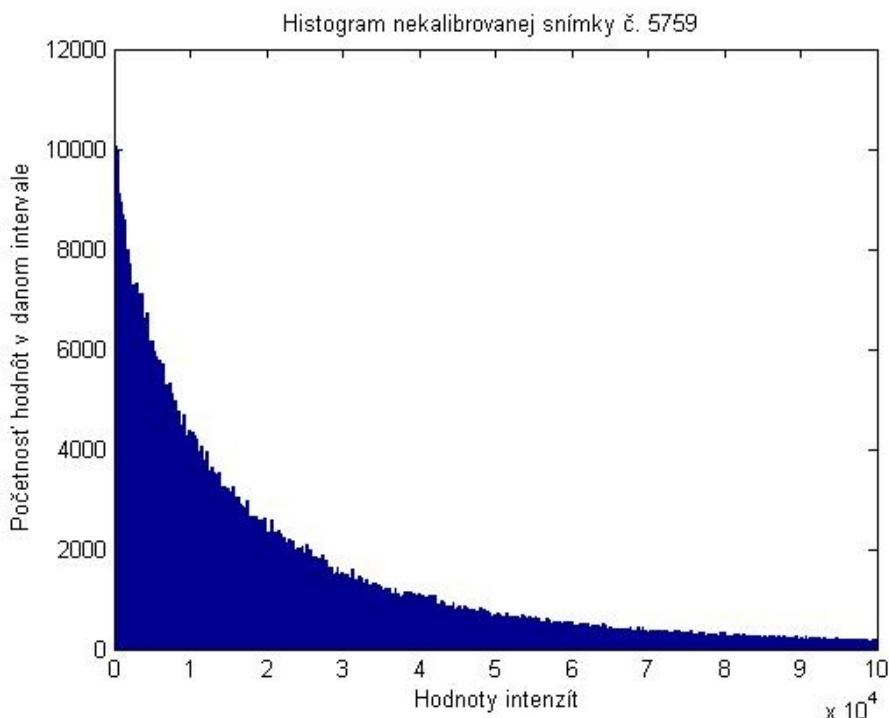
Ked'že radarové družice majú rozdielne rozlíšenie v smere range a smere súbežnom s letom družice, je vhodné za parameter *e* dosadiť číslo 5, aby mal výsledný obraz podobné rozlíšenie v oboch smeroch. Teda v konkrétnom prípade zadáme príkaz ako *./raspwr nazov.pwr 499 1 0 1 5 1 0.35 1 nazov.ras 0 0*. V prípade prevodu všetkých snímok je vhodné použiť nižšie uvedený skript.

```
#!/bin/sh
mkdir /home/user/vysledky
cp /home/user/priečinok_so_snímkami/*.bs /usr/local/cesta_do_gamma
for i in $(find . -name "*.bs"); do ./raspwr /home/user/priečinok_so_snímkami/$i \
```

```
499 1 0 1 5 1 0.35 1 /home/user/vysledky/\${i}\%.ras 0 0 ; done
rm *.bs
```

7.6.4 Vyhodovenie histogramov

Pre túto prácu boli vyhotovené histogramy snímok pomocou funkcie $hist(A,p)$, kde A je riadkový vektor vytvorený z príslušnej matice a p je počet intervalov. Keďže maximálna hodnota všetkých snímkov bola pevne určená jednou hodnotou a počet intervalov p je taktiež hodnota totožná pre všetky snímky, je isté, že šírka binu histogramu bude rovnaká pre opravené aj pre neopravené matice a tým pádom môžeme histogramy medzi sebou porovnať.

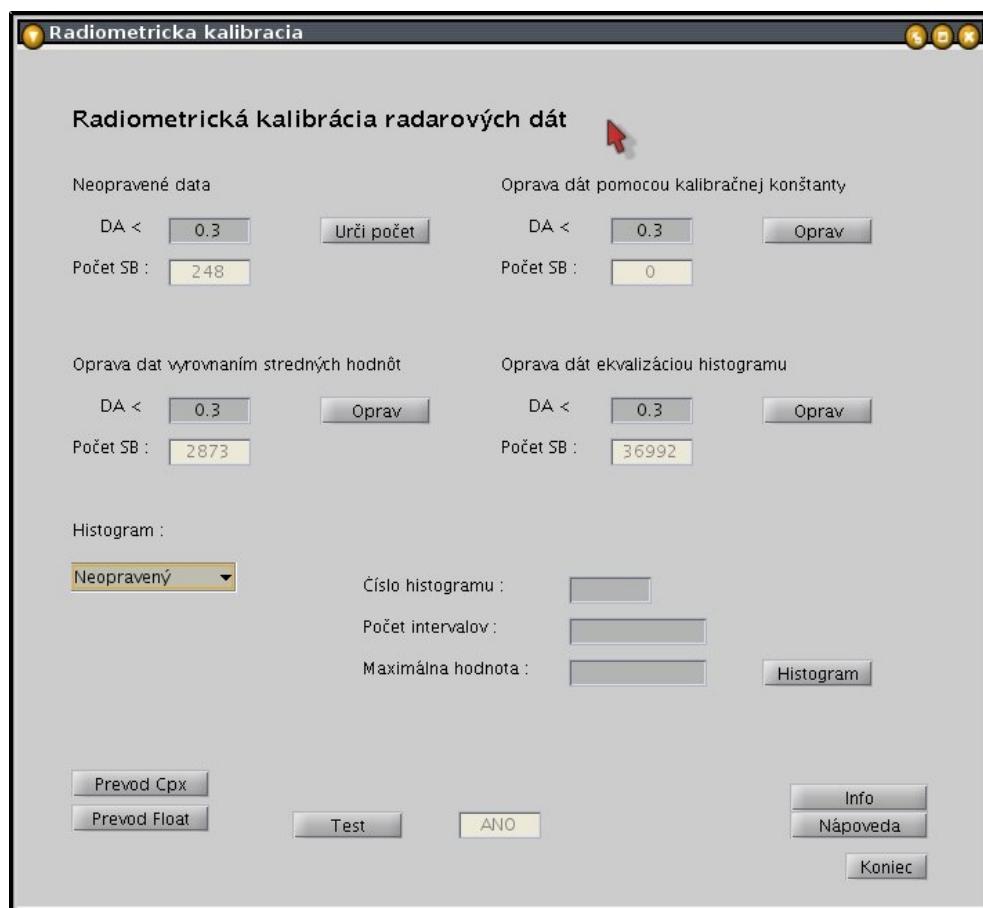


Obrázok 7.1: Ukážka histogramu neopravenej snímky

7.7 Tvorba užívateľského Handle Graphics

Rozhranie Handle Graphics je grafický systém implementovaný v programe MATLAB. Z jeho pomocou je možné efektívne pracovať s grafickými objektmi. Z užívateľského hľadiska prináša vyššiu efektívnosť a mnoho možností pri práci s grafikou. Použitie rozhrania naprogramovaného pre túto prácu je veľmi jednoduché. Grafika pracuje so všetkými vyhotovenými skriptami plne automaticky bez zložitých nastavení. Pred

spustením výpočtu je však veľmi dôležité, všetky súbory a skripty nakopírovať do jedného adresára. V prvom kroku je nutné pomocou tlačidla „Prevod float“ prevestiť všetky hodnoty na matice. Pred spustením opravy je nutné vyplniť hodnotu veľkosti disperzného koeficientu, ku ktorému budú hodnoty porovnávane. Po spustení všetkých opráv sa v políčkach zobrazia hodnoty s počtom bodov so stabilnou intenzitou. Po týchto krokoch už sú matice opravené a je možné zobraziť si ich príslušné histogramy. Tento spôsob opravy je sice užívateľsky príjemnejší, ale pre bližšie analýzy a prácu s maticami je vhodnejšie použiť príkazový riadok.



Obrázok 7.2: Ukážka GUI okna

7.8 Výpočet disperzného koeficientu

Koeficient disperzie predstavuje relatívnu mieru variability, ktorá je iba málo ovplyvnená extrémnymi hodnotami. Čím je hodnota disperzného koeficientu nižšia, tým má pozorovaný bod lepšiu odrazivosť. Body s dobrou odrazivosťou majú disperzný koeficient $DA_{ij} < 0.3$. Hodnotu disperzného koeficientu DA_{ij} udáva podiel variancii

a stredných hodnôt všetkých snímkov pre každý pixel zvlášť.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ij_k})}{n} \quad (7.7)$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_{ij_k} - \bar{x}_{ij})^2}{n-1}} \quad (7.8)$$

$$DA = \frac{\sigma_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \quad (7.9)$$

kde n je počet snímkov x_{ij_k} je hodnota pixlu v i-tom riadku a j-som stĺpcu k-tej snímky, \bar{x}_{ij} je priemerna hodnota jedného pixlu vypočítaná zo všetkých snímkov, σ_{ij} je rozptyl jedného pixlu vypočítaný zo všetkých snímkov a DA je matica disperzných koeficientov.

7.9 Postup kalibrácie radarového obrazu

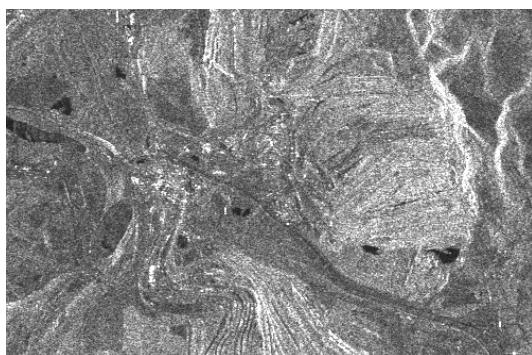
- Shell skripty a skripty programu MATLAB je nutné nakopírovať do priečinku s upravovanými fotkami
- Spustením skriptu `./byteswap` sa byteswapujú všetky snímky v zozname
- Pri kalibrácii pomocou kalibračného koeficientu je potrebné spustením skriptu `./konstanty` vytvoriť zoznam kalibračných konštánt upravovaných snímkov.
- Pomocou príkazového riadku sa spustí skript `./zoznam`, ktorý vyhotoví dva súbory so zoznamom snímkov s príponou `*.m` čitateľné programom MATLAB
- Obdobne, spustením skriptu `./vytvoznam` vyhotovíme zoznam s názvami snímkov na spätný prevod matíc na binárne súbory.
- Po spustení programu MATLAB je nutné v prvom rade spustiť prevod float a integer dát na matice pomocou funkcií „readfloat“ resp. „readintcpx“ a to tak, že sa názov funkcie zadá do príkazového riadku.
- Vlastnú kalibráciu je možné spustiť pomocou funkcií „strhod“ pre kalibráciu dát vyrovnaním stredných hodnôt a variancií „ekvall“ pre korekciu obrazu ekvalizáciou histogramu a „oprokonst“
- Po oprave sa v priečinku vytvoria opravené snímky s názvom „oprX.pwr“, kde X je číslo snímky

8 Hodnotenie výsledkov kalibrácie

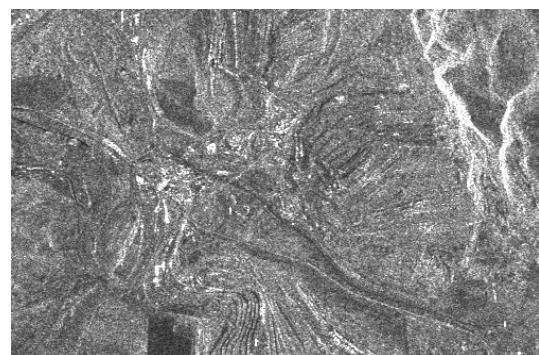
V tejto kapitole budú zhodnotené výsledky radiometrickej kalibrácie. Snímky je možné hodnotiť na základe obrazovej podobnosti, porovnaním ich kontrastov pomocou histogramov ich charakteristického tvaru extrémov a na základe numerického výpočtu disperzného koeficientu.

8.1 Vizuálna interpretácia

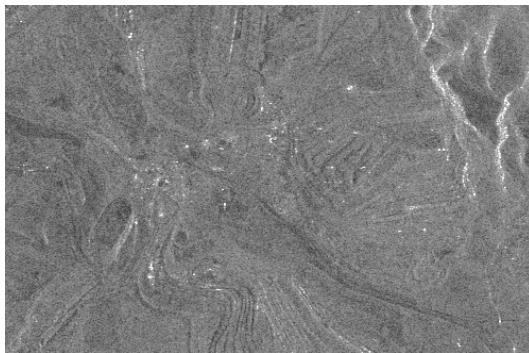
Vizuálne porovnanie snímok je porovnanie snímok na základe ich podobnosti v jase a kontraste. Do tejto práce boli ako príklad zvolené dve náhodne snímky a porovnané medzi sebou. Snímky z neopravených dát vykazovali výrazné kontrastné zmeny, ktoré vo výraznej miere nepriaznivo ovplyvňovali ďalšie využitie radarovej interferometrie. Kontrastné diferencie snímok vyhotovených z dát s rovnakou strednou hodnotou a varianciou sa v porovnaní so vstupnými dátami mierne zmenšili, ale aj napriek tomu majú tieto snímky značne odlišný kontrast, preto je z výsledku možné usúdiť, že z tohto hľadiska táto metóda kalibrácie úspešná nebola. Na druhú stranu kalibrácia metódou ekvalizácie histogramu kontrastné zmeny snímok výrazne potlačila. Menšie rozdiely nastali u plôch so zrkadlovým odrazom, ako sú hladiny vodných nádrží a pod.. Tieto výraznejšie zmeny môžu byť zapričinené rôznymi poveternostnými podmienkami pri snímkovaní, napríklad pôsobením vetra na vodnú hladinu v okamihu merania. Pri kalibrácii ekvalizáciou histogramu kontrast všetkých snímok závisí na kontraste master snímky. Z vizuálneho hľadiska táto kalibračná metóda vykazovala dobré výsledky a značné zlepšenie dát.



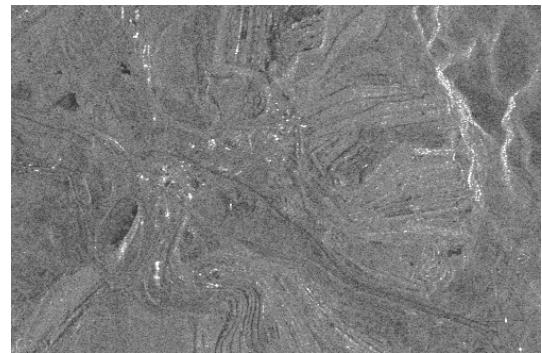
Obrázok 8.1: Neopravená snímka
č.43468



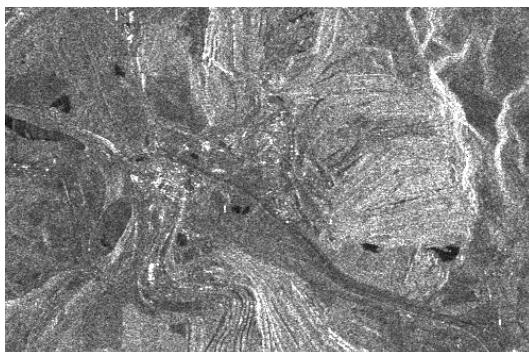
Obrázok 8.2: Neopravená snímka
č.40963



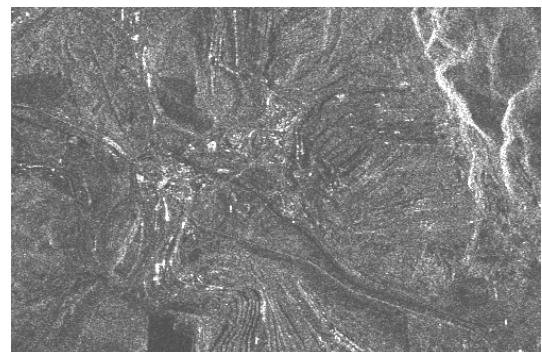
Obrázok 8.3: Snímka č.43468 po ekvalizácii



Obrázok 8.4: Snímka č.40963 po ekvalizácii



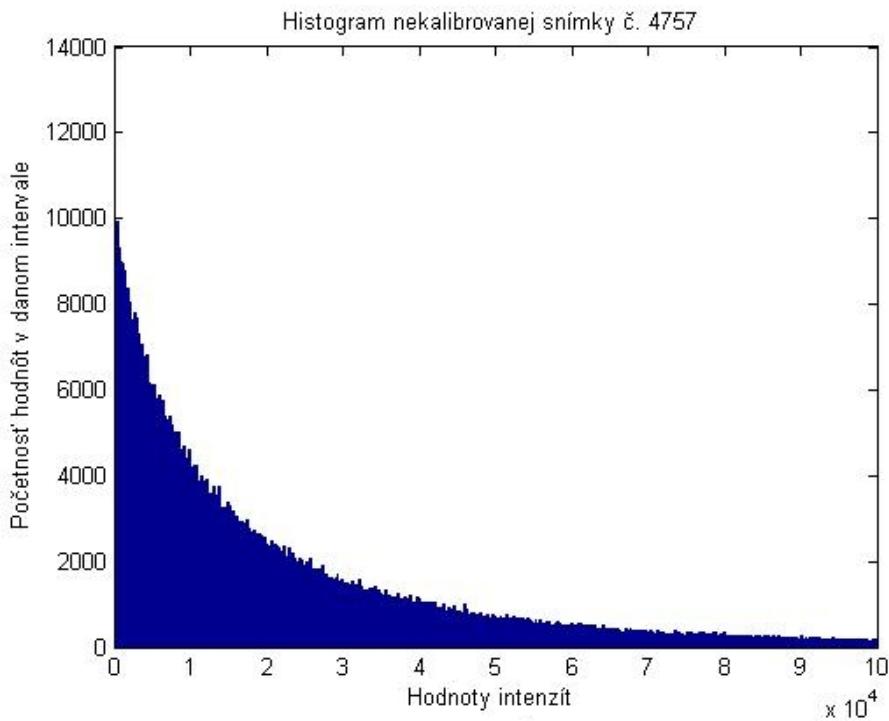
Obrázok 8.5: Snímka č.43468 po vyrovnaní stredných hodnôt



Obrázok 8.6: Snímka č.40963 po vyrovnaní stredných hodnôt

8.2 Porovnanie histogramov

Podľa tvaru histogramu je možné určiť vlastnosti snímok vyhotovených optickými skenermi a taktiež vyhotovených radarom. Histogram zobrazuje početnosť digitálnych hodnôt obrazu v daných intervaloch. Charakteristický tvar histogramu majú neopravené snímky podobný, avšak histogramy sa líšia počtom hodnôt v daných intervaloch. Aby boli teoreticky snímky podobné, mali by mať podobné aj histogramy, preto je možné uvažovať, že radiometrickou kalibráciou dostaneme histogramy s podobným zastúpením intenzít v daných intervaloch. Histogramy po kalibrácií vyrovnáním stredných hodnôt majú podobný tvar ako neopravené snímky, avšak ich tvar je podobnejší, preto je možné uvažovať, že aj počet bodov so stabilnou intenzitou bude vyšší ako u snímok neopravených. Ekvalizované histogramy úplne zmenili charakteristický tvar, pretože ekvalizáciou sa daná funkcia linearizuje. Táto linearizácia má za následok zmenu a vyrovanie kontrastov snímok. Na ukážku sú porovnané vždy dva histogramy, ktorýkoľvek histogram je možné vyhotoviť pomocou skriptov priložených na CD.



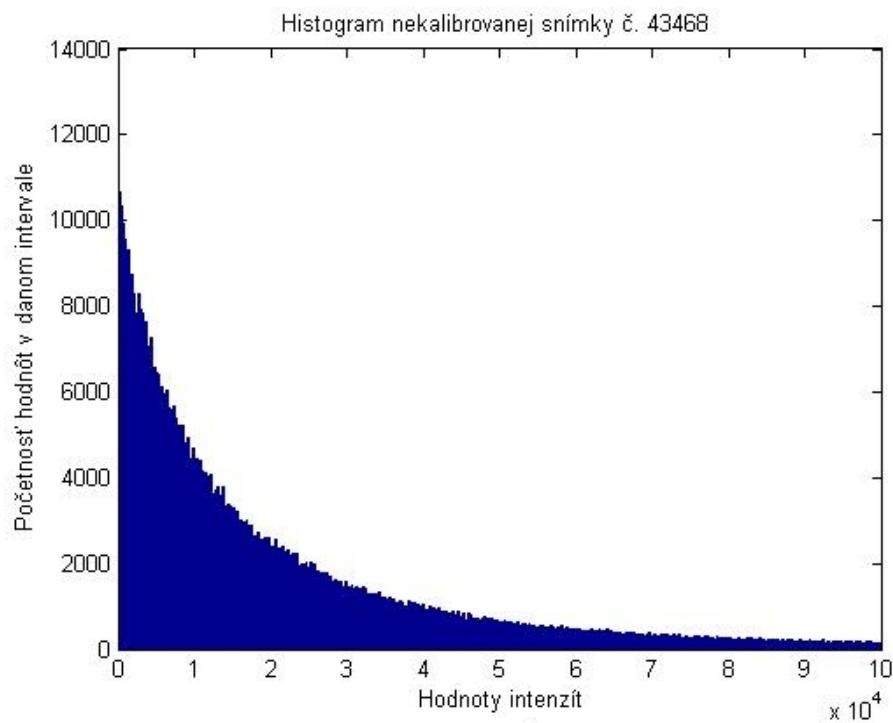
Obrázok 8.7: Histogram neopravenej snímky č.4757

8.3 Porovnanie na základe výpočtu disperzného koeficientu

Porovnanie na základe numerického výpočtu je asi najobjektívnejšia metóda zhodnotenia výsledkov kalibrácie. Cieľom práce bolo získať čo najviac bodov so stabilnou intenzitou, to znamená bodov s kútovým odrazom. V nižšie uvedenej tabuľke sú porovnané všetky metódy z hľadiska počtu týchto bodov. Na základe výpočtu disperzného koeficientu je možné usúdiť, že najvhodnejšia metóda na kalibráciu snímok je kalibrácia ekvalizáciou histogramu.

Hodnota disperzného koeficientu menšia ako	0.25	0.3	0.33
Neopravené dátá	86	248	457
Kalibrácie pomocou kalibračnej konštanty	0	0	0
Kalibrácia ekvalizáciou histogramu	16 762	82 586	166 081
Kalibrácia vyrovnáním stredných hodnôt	184	2 873	12 326

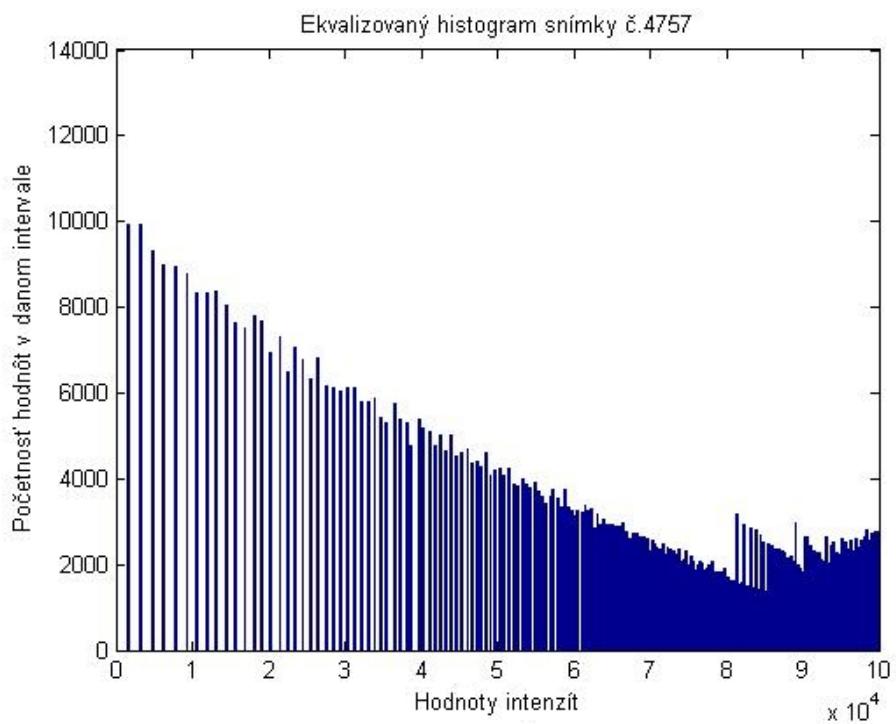
Tabuľka 8.1: Počet bodov so stabilnou intenzitou v závislosti na veľkosti disperzného koeficientu



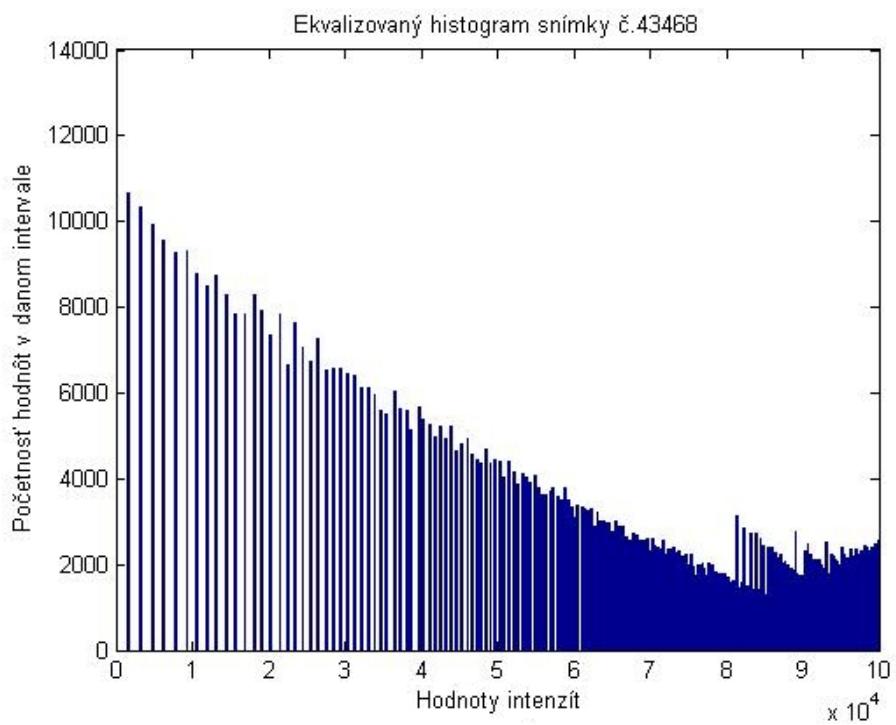
Obrázok 8.8: Histogram neopravenej snímky č.43468

8.4 Charakteristické hodnoty radarových snímkov

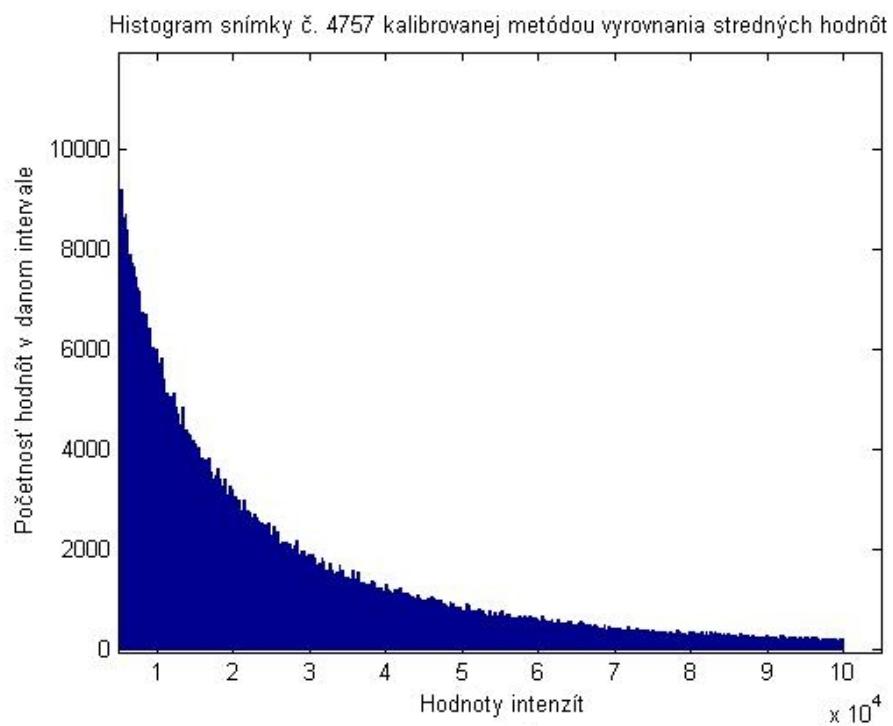
V uvedených tabuľkách sú pre prehľad uvedené charakteristické hodnoty obrazu nekalibrovaných snímkov a snímkov upravených rôznymi kalibračnými metódami. Charakteristickými hodnotami môžeme rozumieť stredné hodnoty a variancie digitálnych hodnôt snímkov.



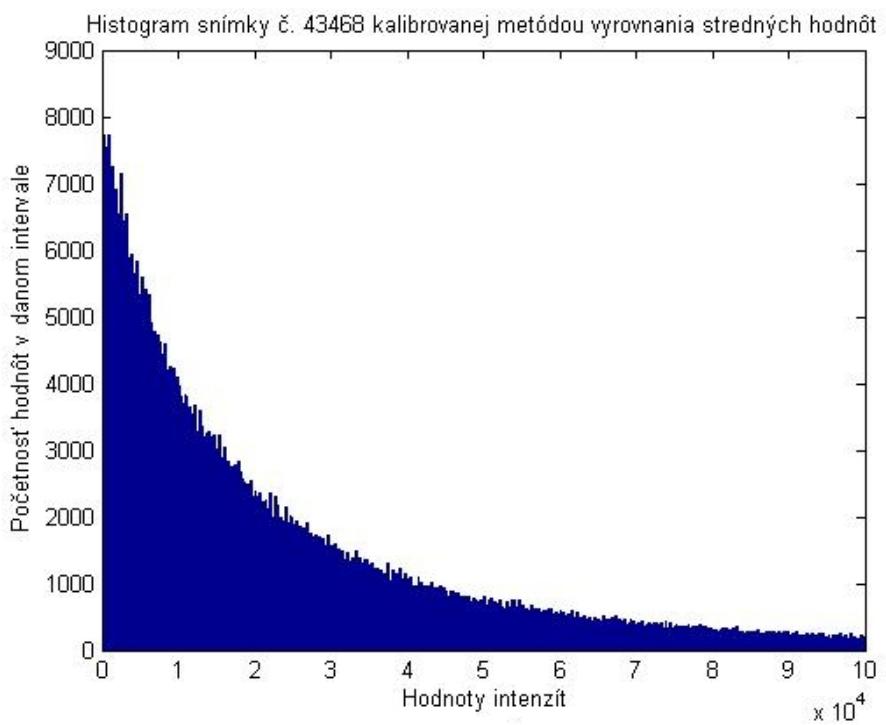
Obrázok 8.9: Histogram snímky č.4757 po ekvalizácii



Obrázok 8.10: Histogram snímky č.43468 po ekvalizácii



Obrázok 8.11: Histogram snímky č.4757 po vyrovnaní stredných hodnôt



Obrázok 8.12: Histogram snímky č.43468 po vyrovnaní stredných hodnôt

Číslo snímky	Kalibračná metóda					
	Neopravené dátá		Vyrovnanie str. hodnôt		Ekvalizácia histogramu	
	mean .10 ⁴	var .10 ⁴	mean .10 ⁴	var .10 ⁴	mean .10 ⁴	var .10 ⁴
01751	2.2787	8.6764	3.5178	9.9774	-	-
02252	1.9287	6.6167	3.5178	9.9774	5.0211	6.8337
06050	1.2300	7.7320	3.5178	9.9774	3.9330	8.0106
06551	1.1302	4.0950	3.5178	9.9774	3.7391	4.5969
07052	1.9362	6.2505	3.5178	9.9774	4.9715	6.4699
07763	2.0947	6.3588	3.5178	9.9774	5.2430	6.5410
10268	3.0661	7.4980	3.5834	9.9527	6.2923	7.3687
11561	1.1042	3.7028	3.5178	9.9774	3.6694	4.2613
11771	3.5108	9.9686	3.5178	9.9774	6.7408	9.7644
12272	1.7976	6.3654	3.5178	9.9774	4.8236	6.6072
12773	1.5749	5.6350	3.5178	9.9774	4.5097	5.9602
13775	2.7491	8.8999	3.5178	9.9774	5.9258	8.8824
14777	2.2405	6.3211	3.5180	9.9773	5.3949	6.4490
15278	2.5621	7.1701	3.5185	9.9771	5.7777	7.1937
15779	1.6617	6.5346	3.5178	9.9774	4.6304	6.7905
16280	2.0229	6.2568	3.5178	9.9774	5.1046	6.4391
17282	1.5620	5.1400	3.5178	9.9774	4.4975	5.4877
21290	1.5666	5.5676	3.5178	9.9774	4.4962	5.8907
21424	1.1478	4.6928	3.5178	9.9774	3.7638	5.1360
21791	7.7940	8.2279	3.5178	9.9774	6.0097	8.1871
23294	2.9842	7.7310	3.5431	9.9681	6.2228	7.6348
23428	1.1645	4.8968	3.5178	9.9774	3.7610	5.3141
23795	2.8963	8.4984	3.5178	9.9774	6.1049	8.4386
24296	3.3054	9.0671	3.5221	9.9758	6.5025	8.9026
24430	2.1011	9.2830	3.5178	9.9774	5.1899	9.4126
25933	1.9340	7.4022	3.5178	9.9774	4.9274	7.5807
26300	1.7328	5.6686	3.5178	9.9774	4.7673	5.9570
28304	2.2609	7.3588	3.5178	9.9774	5.4330	7.4735
29306	3.2436	9.6961	3.5178	9.9774	6.4674	9.5610
3755	2.8493	1.0095	3.5178	9.9774	6.1046	1.0064
40963	1.8525	6.6754	3.5178	9.9774	4.8891	6.8859
43468	2.9100	8.0809	3.5197	9.9767	6.1142	8.0122
4757	3.0490	9.9697	3.5178	9.9774	6.2824	9.8975
5759	3.4183	1.0325	3.5178	9.9774	6.6092	1.0150
9266	2.0252	5.4117	3.5282	9.9736	5.2278	5.6452
9767	2.5848	6.3972	3.5715	9.9573	5.8118	6.4313

Tabuľka 8.2: Tabuľka stredných hodnôt a variancií

Záver

V tejto práci boli vyhotovené funkcie na opravu radarového obrazu. Na prevod sa používajú funkcie spracované v programe MATLAB. Na niektoré súborové operácie slúžia shell skripty spustiteľné v príkazovom riadku na operačnom systéme GNU Linux. Všetky programy a skripty sú nahraté na priloženom CD a je možné ich bez akýchkoľvek úprav okamžite použiť. Shell skripty sa spúšťajú príkazom `./nazov` v terminále a programy vyhotovené v software MATLAB sú spustiteľné v príkazovom riadku tohto programu zadáním názvu funkcie. Ako vstupné súbory tejto práce slúžili snímky reprezentované komplexnými číslami, alebo priamo intenzitami(SLC a PWR). Medzi týmito dvoma druhmi reprezentácie toho istého obrazu bola zistená jednoduchá závislosť a to, že hodnota amplitúdy zo súboru SLC je priamoúmerná druhej mocnine hodnoty intenzity v súbore PWR. Toto zistenie znamená, že súbor s hodnotami intenzít nie je žiadnym spôsobom kalibrovaný. V tom prípade bolo možné pristúpiť ku konkrétnnej radiometrickej kalibrácií radarového obrazu.

Prvou metódou použitou na korekciu dát bola kalibrácia dát pomocou kalibračnej konštanty zverejňovanej Európskou vesmírnou agentúrou (ESA). Výsledkom tejto kalibrácie bolo zhoršenie pôvodných dát. Tento výsledok je možné zdôvodniť neaktuálnosťou kalibračného koeficientu v závislosti na použitom senzore, ročnom období a type pokryvu pozorovanej oblasti.

Vyrovnaním stredných hodnôt a variancií sa v obraze zvýšil počet bodov s disperzným koeficientom menším ako 0.3. Z početného hľadiska táto metóda zlepšila pôvodné dáta, avšak diferencie kontrastu ostali aj nadálej veľmi výrazné. Posunom stredných hodnôt na rovnakú hodnotu získali určité pixly zápornú hodnotu. Tento problém bol vyriešený nahradením každej zápornej hodnoty hodnotou rovnou nule. Tento fakt ovplyvnil výsledne histogramy a nulové hodnoty museli byť z výpočtu histogramov vynechané.

Najvhodnejšou metódou na radiometrickú korekciu radarových snímok je možné pokladať metódu ekvalizácie histogramov. Počet bodov s podozrením na kútorý odraz a hodnotou disperzného koeficientu menšou ako 0.3 sa zvýšil z 0.05% na cca 10%. Táto metóda tak tiež mierne potlačila zmeny v kontraste snímok. Z opravených hodnôt boli späť vyhotovené obrazové a binárne súbory na ďalšie spracovanie. Je dôležité podotknúť, že výsledok kalibrácie závisí na faktoroch a to napríklad voľba vzorového (master) snímku, voľba maximálnej kalibrovanej hodnoty a v neposlednom rade na kvalite vstupných dát.

Celkovú úspešnosť kalibrácie bude možné posúdiť až po komplexnom vyhodnotení radarovej interferometrie. Z hľadiska výpočtu disperzného koeficientu však môžeme usúdiť, že metóda vyrovnaním stredných hodnôt a metóda ekvalizácie histogramu zlepšila kvalitu radarových snímok.

Referencie

- [1] *Guide : RADARSAT Distance Learning Program.* 1st edition. Canadian space agency : Geomatics International Inc., 1996. s. 124.
- [2] HALOUNOVÁ, Lena, PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum země.* 1. vyd. Praha : Nakladatelstvo ČVUT, 2005. 192 s. ISBN 978-80-01-03124-7.
- [3] MELOUN, Milan, MILITKÝ, Jiří. *Statistická analýza experimentálních dat.* 1. vyd. Legerova 61, 120 00 Praha 2 : Nakladatelstvo Akademie věd České republiky, 2004. 953 s. ISBN 80-200-1254-0.
- [4] ZAPLATÍLEK , Karel, DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB : tvorba uživatelských aplikací.* 1. vyd. Věšinová 5, Praha 10 : Nakladatelstvo BEN, 2004. ISBN 80-7300-133-0.
- [5] KOUTECKÝ, Aleš. *Výběr bodových objektů pro jejich využití jako rvalé odrážeče.* , 2007. 90 s. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Lena Halounová, CSc.
Dostupný z WWW: <http://www.insar.cz/diplomky/index.html>
- [6] STEINER, Peter. *Odhad vlivu topografie na atmosférické spoždění radarových signálů metodou radarové interferometrie.* , 2008. 67 s. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Lena Halounová, CSc.
Dostupný z WWW: <http://www.insar.cz/diplomky/index.html>
- [7] ČAPEK, Richard. Dálkový průzkum Země. 1988. s. 244.
- [8] GISAT s.r.o. . <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/ers> [online]. 2008
Dostupný z WWW: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/ers>.
- [9] European Space Agency. http://www.earth.esa.int/ESC2/2_esc.html [online]. 2000-2009
Dostupný z WWW: http://www.earth.esa.int/ESC2/2_esc.html
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization [online]. 2001-2009 [cit. 2008-02-27].
Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization

- [11] HLAVÁČ , Václav. *Předspracování v prostoru obrazů*. 1. vyd., 2008. Učebný text vo formáte pdf. s. 43.
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation [online]. 2001-2009 [cit. 2009-04-30].
Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization
- [13] European Space Agency. http://www.esa.int/esaMI/Operations/SEMM1Z8L6VE_1.html#subhead1 [online]. 2000-2009
Dostupný z WWW: http://www.esa.int/esaMI/Operations/SEMM1Z8L6VE_1.html#subhead1
- [14] <http://enterprise.lr.tudelft.nl/doris/software/download.html> [online]. 1999-2009
Dostupný z WWW: <http://enterprise.lr.tudelft.nl/doris/software/download.html>

Zoznam príloh

A Zdrojové kódy v programe MATLAB	53
A.1 Prevod float súborov na matice	53
A.2 Prevod complexných súborov na matice	53
A.3 Načítanie kalibračných konštánt	54
A.4 Testovanie závislosti medzi PWR a SLC súbormi	55
A.5 Oprava snímok pomocou kalibračného koeficientu	55
A.6 Oprava snímok vyrovnaním stredných hodnôt	56
A.7 Oprava snímok ekvalizáciou histogramu	58
A.8 Zdrojový kód Handle Graphics	60

A Zdrojové kódy v programe MATLAB

A.1 Prevod float súborov na matice

```
%-----%
% Funkcia na prevod snimok z binarneho formatu do float formatu %
%-----%
% Funkcia bez vstupných parametrov

function pwr = readfloat % Definícia funkcie

clc
clear

fpwr = fopen('zoznam_pwr.m'); % Otvorí zoznam vygenerovaný skriptom
gpwr = fopen('zoznam_pwr.m');

ch = 0;
while ~feof(fpwr) % Indikuje koniec zoznamu
    nam = fscanf(fpwr, '%s', 1);
    if ~isempty(nam)
        ch = ch+1; % Zist'uje počet snímok
    end;
end;

fclose(fpwr);

for i = 1:1:ch
    name{i} = fscanf(gpwr, '%s', 1); % Načítanie hodnoty zo zoznamu
    pwr{i} = freadbk(name{i}, 1640, 'float32'); % Prevádzza formát float na maticu
end

global pwr; % Definícia globalnej premennej

pwr;
```

A.2 Prevod complexných súborov na matice

```
%-----%
% Funkcia na prevod snimok z binarneho formatu do komplexneho formatu %
%-----%
% Funkcia bez vstupných parametrov

function slc = readintcpx

fslc = fopen('zoznam_slc.m'); % Rovnaký postup ale pre amplitudové hodnoty
gslc = fopen('zoznam_slc.m');

ch=0;
while ~feof(fslc)
    nam = fscanf(fslc, '%s', 1);
    if ~isempty(nam)
```

```

        ch = ch+1;
    end;
end;

fclose(fslc);

for i=1:1:ch
    name{i} = fscanf(gslc,'%s',1);
    slc{i} = freadbk(name{i},1640,'cpfloat16');
end

global slc;                                % Definícia globalnej premennej

slc;

```

A.3 Načítanie kalibračných konštánt

```

%-----%
% funkcia pre nacitanie kalibracnych konstant %
%-----%

% Funkcia bez vstupných parametrov

function konst=loadkonst

clc
clear

fkonst=fopen('kon_mat.m');
gkonst=fopen('kon_mat.m');

ch=0;
while ~feof(fkonst)
    nam=fscanf(fkonst,'%s',1);
    if ~isempty(nam)
        ch=ch+1;
    end;
end;

fclose(fkonst);

for i=1:1:ch
konst{i}=fscanf(gkonst,'%s',1);
end

konst;

```

A.4 Testovanie závislosti medzi PWR a SLC súbormi

```

clc
clear

%-----%
%      Zistenie závislosti medzi PWR a SLC      %
%-----%

% Parameter k udáva počet bodov splnenej závislosti

[slc,pwr] = konverze

s = size(pwr);          % zistime dimenziu poli
s = s(1,2);

si = size(pwr{1})

k=0;

for i=1:s
    ampl_slc{i} = abs(slcf{i});
    slc2{i} = ampl_slc{i}.^2;
    vysl{i} = slc2{i}-pwr{i};
    j{i} = vysl{i} ;
end

% overenie ci pwr je slc^2 posledny stlpec digitalnych hodnot nesplnuje
% podmienku asi preto ze uz je to cast ramu alebo tak podobne preto bol z
% overenia vynechaný podmienka ze pwr=slc^2 je splnena na 99.9% par
% chybnych hodnot možu byt sposobene chybou detektora k by malo byt
% 29460960 aby podmienka bola splnena na 100%

for i=1:1:s;
    for m=1:1:si(1,1);
        for n=1:1:(si(1,2)-1);
            if (j{i}(m,n)<0.000001);
                k=k+1;
            end
        end
    end
end
k

```

A.5 Oprava snímok pomocou kalibračného koeficientu

```

%-----%
%      Funkcia opravy snímok o kalibračnú konštantu      %
%-----%

% Funkcia bez vstupných parametrov

```

```
% Výstup      da - Matica disperzných koeficientov
%           poc - Počet bodov s DA menším ako veľkosť podmienky
%           oprpwr - Opravené matice

function [oprpwr,da,poc] = oprokonst    % Definícia funkcie

global pwr                                % Definícia globálnej premennej

s = size(pwr)

kstr = loadkonst;                         % Volá funkciu načítanie konštanty

for i = 1:s(1,2)

    ka{i} = str2num(kstr{i});            % Prevod textu na čísla
    oprpwr{i}=(10^(ka{i}/20))*pwr{i};   % Oprava amplitúdy o konštantu v dB

end

oprpwr;

for i=1:20

    vpwr{i}=pwr{i}(:,)
    voprpwr{i}=oprpwr{i}(:,)

end

[da,poc]=diskoef(oprpwr,0.75);          % Výpočet disperzného koeficientu
```

A.6 Oprava snímok vyrovnaním stredných hodnôt

```
%-----%
%   Funkcia opravy snímok o strednú hodnotu a varianciu %
%-----%

% Funkcia bez vstupných parametrov

% Výstup      da - Matica disperzných koeficientov
%           poc - Počet bodov s DA menším ako veľkosť podmienky
%           oprvpwr - Opravené matice

%function [oprvpwr,da,poc] = strhod    % Definícia funkcie

global pwr                                % Definícia globalnej premennej

s = size(pwr);                            % Počet snímok

for i = 1:s(1,2)
```

```

pwr{i}=pwr{i}(:,1:499);

end

for i = 1:s(1,2)

    stred{i} = mean(pwr{i}(:));           % Výpočet strednej hodnoty
    stre(i) = stred{i}
end

maxs = find(stre == max(stre))          % Vyhľadanie snímky s najväčšou strednou hodnotou

vym1{1}=pwr{maxs};                     % Výmena snímkov
pwr{maxs}=pwr{1};
pwr{1}=vym1{1};

vect_master = pwr{1}(:);                % Snímok s najväčšou strednou hodnotou sa nastaví ako master
var_master = std(vect_master);
str_master = mean(vect_master);

for i = 1:s(1,2)

    stred1{i} = mean(pwr{i}(:));           % Výpočet strednej hodnoty

end

for i = 2:(s(1,2))                    % Výpočet konstanty pre vyrovnanie stredných hodnôt
    oprspwr{i} = pwr{i}-stred1{i};       % Výpočet opravených dát o str hodnotu
    kontrola{i} = mean(oprspwr{i}(:));    % Kontrola výpočtu
end

for i = 2:(s(1,2))
    variance{i} = std(oprspwr{i}(:));    % Výpočet variancií opravených dát
    vvariance(i)=var_master/variance{i};
end

for i = 2:(s(1,2))
    oprvpwr{i}=vvariance(i)*oprspwr{i}+str_master;      % Data opravené o strednú hodnotu
end

for i = 2:(s(1,2))
    oprvpwr{i}(find(oprvpwr{i}<0))=0;                 % Záporným hodnotam sú priradené 0
end

for i = 2:(s(1,2))

    kontrolas{i} = mean(oprvpwr{i}(:));        % Kontroly dat
    kontrolav{i} = std(oprvpwr{i}(:));
end

for i = 1:s(1,2)
    vpwr{i} = pwr{i}(:);
end

```

```
[da,poc]=diskoef(oprvpwr,0.25); % Výpočet disperzného koeficientu

% Spätný prevod matic na formát float

fopr = fopen('zoznamopr.m'); % Otvorí zoznam vygenerovaný skriptom
gopr = fopen('zoznamopr.m');

ch = 0;
while ~feof(fopr) % Indikuje koniec zoznamu
    nam = fscanf(fopr,'%s',1);
    if ~isempty(nam)
        ch = ch+1; % Zist'uje počet snímok
    end;
end;

fclose(fopr);

for i = 1:1:ch % Načítanie hodnoty zo zoznamu
    name{i} = fscanf(gopr,'%s',1);
    fwritebk(oprvpwr{i},name{i}); % Prevádzza manicu na binárny formát
end
```

A.7 Oprava snímok ekvalizáciou histogramu

```
%-----%
%     Funkcia ekvalizácie histogramu %
%-----%

% Vstup      ni - Snímka ktorá sa má ekvalizovať

% Výstup  pwr_s - Ekvalizovaná snímka

function pwr_s=ekvalizace(ni) % Definícia funkcie

global pwr; % Definícia globalnej premennej

pwr_m = pwr{1}; % Definícia master snímku

pwr_s = pwr{ni}; % Ten snímok budeme kalibrovať

pwr_m = pwr_m(:,1:499); % Vylučíme posledný nulový stípec
pwr_s = pwr_s(:,1:499);

vpwr_m = pwr_m(:); % Vektor z master snímku
vpwr_s = pwr_s(:); % Vyhotovenie vektoru z matice intenzit
```

```

k = 500; % Definicia poctu intervalov

mx = 100000; % Definujeme maximálnu kalibrovanú hodnotu

vect_m = vpwr_m(find(vpwr_m < mx)); % Vektor hodnot menších ako maximálna hodnota
vect_s = vpwr_s(find(vpwr_s < mx)); % Vektor hodnot menších ako maximálna hodnota

%figure(1)
%hist(vect_m,k); % Histogram master snímku

[cetnost_m,xout] = hist(vect_m,k);

%figure(2)
%hist(vect_s,k); % Histogram slave snímku

[cetnost_s] = hist(vect_s,k);

for i=1:(k-1)

    interval(i) = (xout(i)+xout(i+1))/2; % Definicia intervalov histogramov

end

disfce = cumsum(cetnost_m); % Zhotovenie kumulatívnej četnosti distribučnej funkcie

mn_df = min(disfce); % Minimum distribučnej fcie
ln_vm = length(vect_m); % Veľkosť vektoru

%figure(3)
%bar(disfce); % Zobrazenie distribučnej funkcie

cdf=round(((disfce-mn_df)./((ln_vm-mn_df)*mx)); % Výpočet nových digitálnych hodnôt

A(find(vect_s <= interval(1))) = cdf(1); % Matica hodnôt spadajúcich do prvého intervalu
A(find(vect_s > interval(k-1))) = cdf(k); % Matica hodnôt spadajúcich do posledného intervalu

for i=1:(k-2)

    A(find(vect_s > interval(i) &...
        vect_s <= interval(i+1))) = cdf(i+1); % Rozdelenie nových hodnôt slave snímku

end

A=A(:,1:k);

pwr_s(find(pwr_s<mx))=A; % Zaradenie nových hodnôt do pôvodnej maticy

%-----%
% Funkcia ekvalizácie histogramov všetkých snímok %
%-----%
% Funkcia bez vstupných parametrov

```

```
% Výstup      da - Matica disperzných koeficientov
%           poc - Počet bodov s DA menším ako veľkosť podmienky
%           ekvpwr - Ekvalizované maticy

%function [ekvpwr,da,poc] = ekvall    % Definícia funkcie

global pwr                                % Definícia globalnej premennej

s = size(pwr);                             % Počet snímok

for i = 1:s(1,2)

    pwr{i}=pwr{i}(:,1:499);

end

for i=2:1:36

    ekvpwr{i}=ekvalizace(i);

end

ekvpwr;

for i = 2:(s(1,2))

    kontrolas{i} = mean(ekvpwr{i}(:));    % Stredné hodnoty DH snímok
    kontrolav{i} = std(ekvpwr{i}(:));     % Variancie DH snímok

end

[da,poc]=diskoef(ekvpwr,0.33);          % Výpočet disperzného koeficientu
```

A.8 Zdrojový kód Handle Graphics

```
%-----
% Funkcia grafického objektu %
%-----%
function objekt(inpar)

if nargin==0

okno      = figure('Name','Radiometricka kalibracia','MenuBar','none','NumberTitle','off',...
    'Position',[560 530 700 620])
gokno    = figure('Name','Vykreslenie histogramu','NumberTitle','off',...
    'Position',[960 130 600 520],'Tag','grafokno','Visible','off')

figure(okno)

tlackon = uicontrol('Style','pushbutton','String','Koniec','Position',[600 20 60 20],...
```

```

'CallBack','objekt konec')

ctext = uicontrol('Style','Text','String','Radiometrická kalibrácia radarových dát',...
    'Position',[40 540 550 40],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left','FontSize',[14],'FontWeight','bold')

ctext1 = uicontrol('Style','Text','String','Oprava dát pomocou kalibračnej konštanty',...
    'Position',[350 510 250 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext2 = uicontrol('Style','Text','String','Oprava dat vyrovnaním stredných hodnôt',...
    'Position',[40 380 250 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext3 = uicontrol('Style','Text','String','Oprava dát ekvalizáciou histogramu',...
    'Position',[350 380 250 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext7 = uicontrol('Style','Text','String','Neopravené data',...
    'Position',[40 510 100 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext4 = uicontrol('Style','Text','String','DA <',...
    'Position',[370 480 50 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext5 = uicontrol('Style','Text','String','DA <',...
    'Position',[60 350 50 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext6 = uicontrol('Style','Text','String','DA <',...
    'Position',[370 350 50 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext9 = uicontrol('Style','Text','String','DA <',...
    'Position',[60 480 50 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext11 = uicontrol('Style','Text','String','Počet SB :',...
    'Position',[40 450 60 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext12 = uicontrol('Style','Text','String','Počet SB :',...
    'Position',[40 320 60 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext13 = uicontrol('Style','Text','String','Počet SB :',...
    'Position',[350 450 60 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')
ctext14 = uicontrol('Style','Text','String','Počet SB :',...
    'Position',[350 320 60 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignmen','left')

tlac1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Oprav','Position',[540 480 80 20],...
    'CallBack','objekt konstanta')
tlac2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Oprav','Position',[220 350 80 20],...
    'CallBack','objekt stredna')
tlac3 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Oprav','Position',[540 350 80 20],...
    'CallBack','objekt ekvalizacia1')
tlac5 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Urči počet','Position',[220 480 80 20],...
    'CallBack','objekt neopravene1')

cedit1 = uicontrol('Style','Edit','Position',[430 480 60 20],'Tag','edit3') % DA
cedit2 = uicontrol('Style','Edit','Position',[110 350 60 20],'Tag','edit5')
cedit3 = uicontrol('Style','Edit','Position',[430 350 60 20],'Tag','edit7')
cedit4 = uicontrol('Style','Edit','Position',[110 480 60 20],'Tag','edit1')

cedit5 = uicontrol('Style','Edit','Position',[430 450 60 20],'Tag','edit4','Enable','off') % Počet SB
cedit6 = uicontrol('Style','Edit','Position',[110 450 60 20],'Tag','edit2','Enable','off')

```

```

cedit7 = uicontrol('Style','Edit','Position',[430 320 60 20],'Tag','edit8','Enable','off')
cedit8 = uicontrol('Style','Edit','Position',[110 320 60 20],'Tag','edit6','Enable','off')

cedit9 = uicontrol('Style','Edit','Position',[320 50 60 20],'Tag','edit9','Enable','off') % Test

ctext14 = uicontrol('Style','Text','String','Histogram :',...
    'Position',[40 260 80 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignment','left')
ctext15 = uicontrol('Style','Text','String','Číslo histogramu :',...
    'Position',[250 220 160 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignment','left')
ctext16 = uicontrol('Style','Text','String','Počet intervalov :',...
    'Position',[250 190 160 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignment','left')
ctext17 = uicontrol('Style','Text','String','Maximálna hodnota :',...
    'Position',[250 160 160 20],'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8],...
    'HorizontalAlignment','left')

popup1 = uicontrol('Style','Popup','String','Neopravený|Ekvalizácia|Stredné hodnoty|Konšanta',...
    'Tag','popup1','Position',[40 220 120 30],'CallBack','objekt grafokno')

cedit10 = uicontrol('Style','Edit','Position',[400 220 60 20],'Tag','edit10') % Histogram
cedit11 = uicontrol('Style','Edit','Position',[400 190 100 20],'Tag','edit11')
cedit15 = uicontrol('Style','Edit','Position',[400 160 100 20],'Tag','edit15')

tlac6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Histogram','Position',[540 160 80 20],...
    'CallBack','objekt zobraz')

floatbut = uicontrol('Style','pushbutton','String','Prevod Float','Position',[40 55 100 20],...
    'CallBack','objekt floatbut1')
cpxbut = uicontrol('Style','pushbutton','String','Prevod Cpx','Position',[40 80 100 20],...
    'CallBack','objekt cpxbut1')
tlac4 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Test','Position',[200 50 80 20],...
    'CallBack','objekt test')

tlhelp = uicontrol('Style','pushbutton','String','Nápoveda','Position',[560 50 100 20],...
    'CallBack','objekt help1')

tlinfo = uicontrol('Style','pushbutton','String','Info','Position',[560 70 100 20],...
    'CallBack','objekt info1')

%-----%
%          Príkazová časť          %
%-----%
else
    switch(inpar)
        case('zobraz')

            typhist=get(findobj('Tag','popup1'),'Value')

            switch typhist

```

```

    case(1)

v1 = str2num(get(findobj('Tag','edit10'),'String'));
v2 = str2num(get(findobj('Tag','edit11'),'String'));
v3 = str2num(get(findobj('Tag','edit15'),'String'));

gokno = findobj('Tag','grafokno')
set(gokno,'Visible','on')
figure(gokno)
hist2(v1,v2,v3)

    case(2)

v1 = str2num(get(findobj('Tag','edit10'),'String'));
v2 = str2num(get(findobj('Tag','edit11'),'String'));
v3 = str2num(get(findobj('Tag','edit15'),'String'));

gokno = findobj('Tag','grafokno')
set(gokno,'Visible','on')
figure(gokno)
hist1(v1,v2,v3)

    case(3)

v1 = str2num(get(findobj('Tag','edit10'),'String'));
v2 = str2num(get(findobj('Tag','edit11'),'String'));
v3 = str2num(get(findobj('Tag','edit15'),'String'));

gokno = findobj('Tag','grafokno')
set(gokno,'Visible','on')
figure(gokno)
hist3(v1,v2,v3)

    case(4)

v1 = str2num(get(findobj('Tag','edit10'),'String'));
v2 = str2num(get(findobj('Tag','edit11'),'String'));
v3 = str2num(get(findobj('Tag','edit15'),'String'));

gokno = findobj('Tag','grafokno')
set(gokno,'Visible','on')
figure(gokno)
hist4(v1,v2,v3)

    end

case('floatbut1')

readfloat

case('cpxbut1')

readintcpx

case('neopravene1')

h = str2num(get(findobj('Tag','edit1'),'String'));

```

```

[da,s] = neopravene(h);

ss = num2str(s);

set(findobj('Tag','edit2'),'String',ss);

case('konstanta')

h2 = str2num(get(findobj('Tag','edit3'),'String'));

[oprwpwr,da,s2] = oprokonst(h2);

ss2 = num2str(s2);

set(findobj('Tag','edit4'),'String',ss2);

case('stredna')

h1 = str2num(get(findobj('Tag','edit5'),'String'));

[oprwpwr,da,s1] = strhod(h1);

ss1 = num2str(s1);

set(findobj('Tag','edit6'),'String',ss1);

case('ekvalizacia1')

h3 = str2num(get(findobj('Tag','edit7'),'String'));

[oprwpwr,da,s3] = ekvall(h3);

ss3 = num2str(s3)

set(findobj('Tag','edit8'),'String',ss3);

case('test')

[p1] = nadruhu

ss4 = p1

set(findobj('Tag','edit9'),'String',ss4);

case('help1')

help

case('info1')

info

case('konec')
    close all
end
end

```