

DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ



Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny

Publikace byla financována z projektu CZ.1.07.2.2.00/07.0053 „Inovace geograficky orientovaných studijních oborů s cílem zvýšit míru uplatnění absolventů na trhu práce“ (řešitel T. Oršulák).

Autoři tímto děkují za podporu.

Recenzenti: Ing. Radek Fiala, Ing. Karel Jedlička, Ph.D.

Vydání: první

Počet stran: 18

Předtisková příprava a tisk: Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem

© Tomáš Oršulák, Jan Pacina

Ústí nad Labem 2010

ISBN 80-XX-XXX-XX



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Úvod

Pro Dálkový průzkum Země (DPZ) existuje mnoho definic. My si na úvod několik z nich uvedeme:

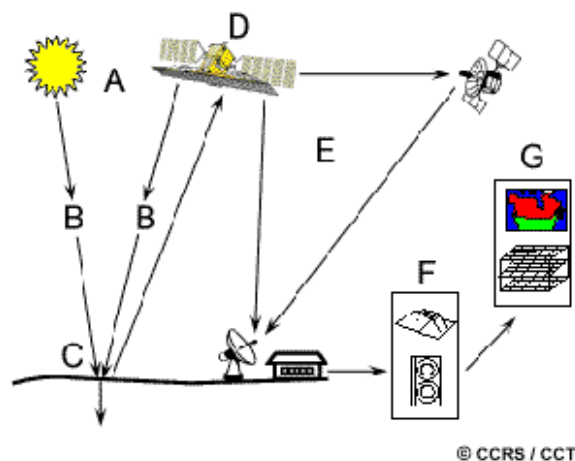
Dálkový průzkum Země je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu. (Lillesand, Kiefer)

Dálkový průzkum je shromažďování informací o přírodních zdrojích s využitím snímků pořízených senzory umístěnými na palubách letadel nebo družic. (Bob Ryerson)

Dálkový průzkum je skupina technik, zabývající se pořizováním snímků a jiných forem dat, pořízených měřením na dálku, zpracováním a analýzou těchto dat. (Resors)

Tato kapitola byla vypracována na základě materiálů dostupných na [[2]].

DPZ je v principu založen na interakci mezi dopadajícím zářením a objektem zájmu. To je ukázáno na obrázek 1, kde je obsaženo sedm částí popisující princip DPZ. Musíme však brát v úvahu, že DPZ zahrnuje i snímání energie, kterou objekty vyzařují.



Obrázek 1 Princip fungování DPZ

Pramen: [[2]]

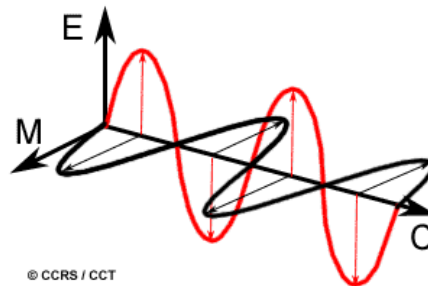
1. **Zdroj elektromagnetického záření (A)** – první požadavek pro DPZ je zdroj energie, který ozařuje předmět zájmu.
2. **Záření a atmosféra (B)** – při šíření energie od zdroje k objektu zájmu přichází do kontaktu s atmosférou, kterou prochází. K interakci s atmosférou pak dochází ještě jednou, když se odražená energie šíří od objektu zájmu k senzoru.
3. **Interakce s objektem zájmu (C)** – při ozáření objektu zájmu dochází k interakci s objektem v závislosti na vlastnostech objektu a typu záření.
4. **Zaznamenání energie senzorem (D)** – když je energie od objektu odražena (popřípadě objektem vyzářena) je zapotřebí senzor (vzdálený, který není v přímém kontaktu s objektem), aby zaznamenal elektromagnetické záření.

5. *Přenos, příjem a zpracování (E)* – informace o energii zaznamenané senzorem musí být přenesena (většinou elektronicky) do stanice, kde následně dojde ke zpracování.
6. *Vyhodnocení a analýza (F)* – zpracovaný obraz je vyhodnocen – vizuálně nebo digitálně k získání informací o objektu, který byl ozářen.
7. *Aplikace (G)* – finální části DPZ je dosaženo, pokud jsme schopni využít informaci získanou ze snímků, abychom objektu lépe porozuměli, získali nové informace, nebo ho využili k řešení dalších úloh.

Těchto sedm částí popisuje princip DPZ od začátku do úplného konce. V rámci tohoto učebního textu se s jednotlivými částmi seznámíme podrobněji.

Elektromagnetické záření

Hlavní požadavek pro DPZ je *zdroj energie*, kterým *ozáříme* objekt zájmu (pokud snímaná energie není objektem přímo vyzařována). Tato energie je ve formě elektromagnetického záření.



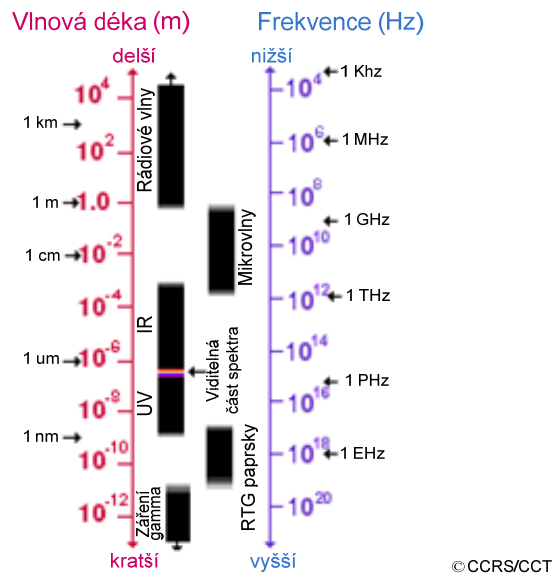
Obrázek 2 Elektromagnetické záření
Pramen: [[2]]

Elektromagnetické záření se skládá z *elektrického pole (E)*, které má proměnlivou amplitudu (maximální výchylku) ve směru kolmém na směr záření a z *magnetického pole (M)* orientované kolmo k elektrickému poli i směru šíření záření. Obě pole se šíří rychlostí světla (c). Elektromagnetické záření má dva důležité parametry, které jsou důležité pro porozumění principu DPZ:

- *vlnová délka* – značená λ se měří v metrech, nebo jednotkách z metrů odvozených,
- *frekvence* (ν) – se měří v Hertzech (Hz),
- jejich vzájemný vztah: $c = \lambda \cdot \nu \rightarrow$ kratší vlnová délka = vyšší frekvence, delší vlnová délka = nižší frekvence.

Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum má rozsah od krátkých vlnových délek, kde hodnoty λ začínají od $\lambda = 10^{-16}m$ (gamma a x-záření) až k dlouhým vlnovým délkám, které nejsou shora nijak omezeny - viz obrázek 4 (např. mikrovlny a rádiové vysílání). Pouze určitá částí spektra se využívá k DPZ. Jedná se o UV záření, viditelnou část spektra, infračervené záření a mikrovlny. Jejich charakteristiky jsou ukázány na obrázek 3.



Obrázek 3 Vlnová pásma využívaná v DPZ

Pramen: [[2]]

UV záření (400 – 100nm):

- Nejkratší vlnová délka využívaná v DPZ.
- Záření se nachází v části spektra vedle fialové barvy viditelné části spektra – odtud pochází název tohoto záření (Ultra Violet – Ultra fialové) – viz obrázek 4.
- Některé materiály na Zemi – skály, minerály – vyzařují viditelné světlo, když jsou ozářeny UV zářením.
- Je výrazně pohlcováno atmosférou.
- Použití: vyhledávání ložisek zlata, monitorování ropných skvrn, geologické aplikace.

Viditelné spektrum (0.4 – 0.7μm):

- Můžeme zaznamenat pomocí očí (naše senzory).
- Velmi malé v porovnání s celou šíří spektra.
- Jediná část spektra, kterou můžeme asociovat s barvami
- Modrá, zelená a červená jsou primární barvy viditelné části spektra. Žádná primární barva nemůže být vytvořena ze dvou ostatních.
- Zdrojem je pouze Slunce = zaznamenávání pouze v denních hodinách
- Nejvyužívanější především z historického hlediska – v mnoha aplikacích není jeho použití nejvýhodnější.

Infračervené záření (Infra Red):

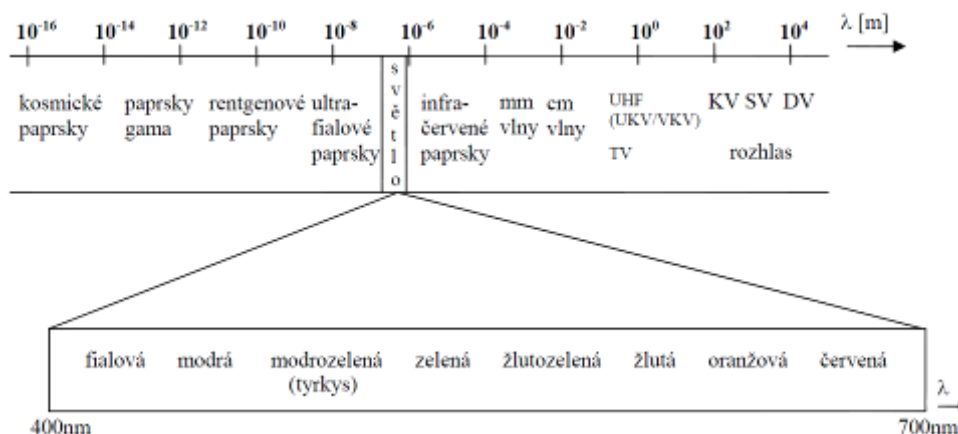
IR záření můžeme rozdělit do dvou kategorií v závislosti na charakteru záření:

- odražené IR (0.7 – 3μm) – využívá se podobně jako viditelná část spektra,
 - Blízké infračervené záření

- Lze zaznamenat jak konvenčními fotografickými metodami, tak i elektronicky.
- Méně pohlcováno atmosférou.
- Voda se v tomto pásmu chová jako černé těleso.
- Využití – studium topografie a vegetace, lesnictví, zemědělství.
- o Střední infračervené záření
 - Využití k rozlišení druhů vegetace, rozpoznávání ledu a sněhu, odlišení oblačností a studium zdravotního stavu vegetace.
 - Mnoho minerálů má v této oblasti charakteristický absorpční pás.
- termální (emitované) IR (3 – 100μm) – přímo vyzařované Zemí formou tepelného záření.
 - o Využití k zjišťování povrchové teploty oceánů, tepelné znečištění řek a jezer a krajiny a k lokalizaci lesních požárů.

Mikrovlny (1mm – 1m):

- Nejdelší vlny využívané v DPZ, které využívají především aktivní systémy – radary.
- Využití: studium reliéfu, plovoucích ledů, geologie, lesnictví, zemědělství.
- Pomocí mikrovlnných aktivních systémů lze získat i neobrazová data – informace o výškových poměrech, o řadě meteorologických prvků, atd.



Obrázek 4 Detail viditelné části spektra

Pramen: [[3]]

Interakce s atmosférou

Předtím, než záření použité pro DPZ dosáhne povrchu Země, musí projít atmosférou. Částice a plyny v atmosféře mohou procházející záření ovlivnit. Tyto jevy jsou způsobeny mechanismy *rozptylu* a *pohlcování*.

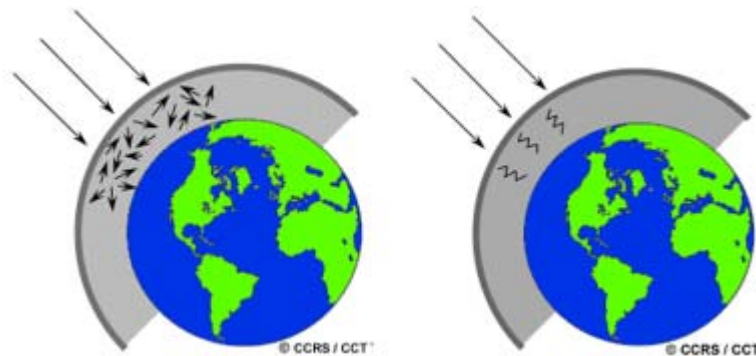
Rozptyl se objevuje, když částice nebo větší molekuly plynu přítomné v atmosféře ovlivňují elektromagnetické záření a odkloní ho od původní cesty. Vliv rozptylu záleží

na vlnové délce záření, množství plynů a vzdálenosti, kterou záření prochází letí skrz atmosféru. Existují tři typy rozptylu:

- Rayleighův (molekulární) rozptyl – pokud jsou částice v atmosféře menší než λ . Způsobuje modrou barvu oblohy, barevné západy a východy slunce.
- Aerosolový rozptyl – způsobují částice obdobné velikosti jako λ (prach, pyl, kouř a vodní pára).
- Neselektivní rozptyl – způsobují velké částice (vodní kapky, velké kusy prachu). Výsledkem je bílá barva oblaků a mlhy.

Pohlcování je druhým hlavním mechanismem ovlivňujícím elektromagnetické záření procházející atmosférou. Na rozdíl od rozptylu je zde energie záření pohlcována molekulami. Nejvýznamnější absorbenty jsou:

- ozón – absorbuje UV záření,
- oxid uhličitý – způsobuje tzv. *skleníkový efekt*, protože silně absorbuje záření v infračerveném spektru.



Obrázek 5 Rozptyl a pohlcování elektromagnetického vlnění

Pramen: [[2]]

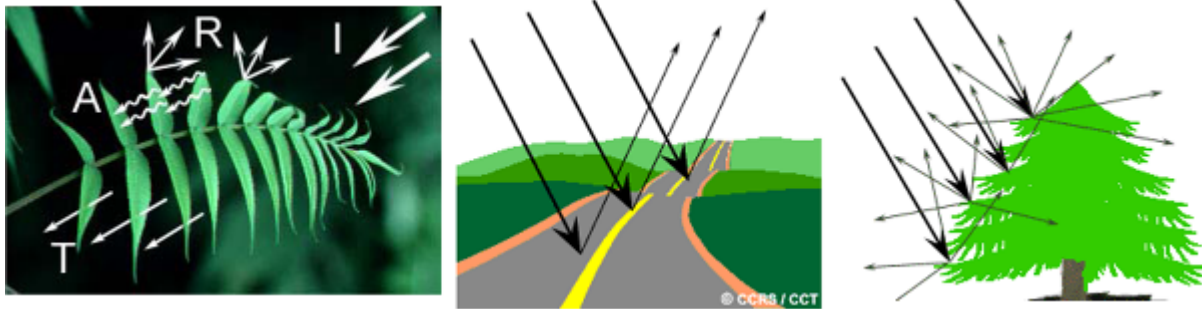
Interakce mezi zářením a objekty

Záření, které není pohlcené nebo rozptýlené v atmosféře, dosáhne zemského povrchu, kde dochází k interakci s objekty. Existují tři typy interakce při dopadu záření (I) – viz Obrázek 6:

- *absorpce* – absorption (**A**),
- *průchod* - transmission (**T**),
- *odraz* - reflection (**R**).

Celkové dopadající záření bude reagovat s objektem těmito třemi typy interakce. Poměr jednotlivých typů bude záležet na vlnové délce záření, materiálu a stavu objektu.

K absorpci (**A**) dochází, když je záření pohlceno objektem, zatímco k přenosu (**T**), když záření objektem projde. Za odraz (**R**) považujeme, když je záření odraženo od objektu a je přeměřováno. V DPZ nás zajímá měření záření, které je od objektů odraženo. Rozlišujeme dva typy odrazu, které reprezentují dva extrémy odrazu záření od objektu: *zrcadlový odraz* a *difuzní odraz*.



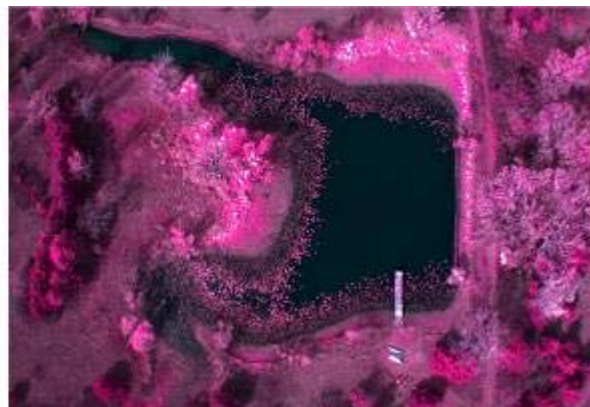
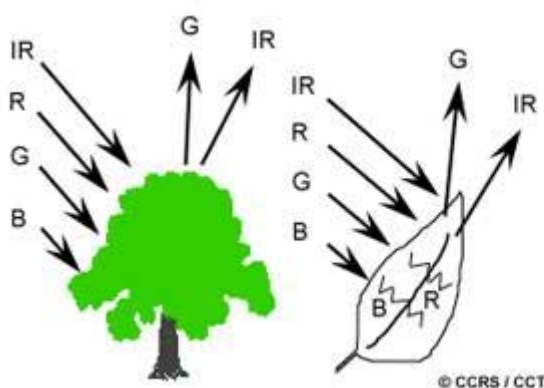
Obrázek 6 Interakce s objekty a typy odrazu - zrcadlový a difuzní

Pramen: [[2]]

Na hladkém povrchu dochází k zrcadlovému odrazu, , kdy je většina energie odražena od povrchu v jednom směru. K *difuznímu* odrazu dochází u objektů s hrubým povrchem a energie je zde odražena do všech směrů. Většina zemského povrchu leží v rozmezí mezi „perfektně zrcadlovým“ a „perfektně difuzním“ odrazem. Jestli vybrané objekty odráží *zrcadlově* nebo *difúzně* záleží na hrubosti povrchu objektu v porovnání s vlnovou délkou použitého záření. Pokud je vlnová délka o mnoho menší, než jsou změny povrchu nebo částice, ze kterých je povrch složen – bude převažovat zrcadlový odraz. Např. jemný písek bude mít vlastnosti hladkého povrchu při použití dlouhovlnných mikrovln a naopak hrubého povrchu při použití viditelného záření.

Nyní se podíváme na několik příkladů, jak se jeví objekty na zemském povrchu ozářené viditelným a infračerveným zářením:

- *Listy* – chlorofyl obsažený v listech silně absorbuje záření ve vlnových délkách červené a modré barvy, ale odráží vlnovou délku barvy zelené. Listy vypadají „zelenější“ v létě, když je obsah chlorofylu maximální. Na podzim začíná chlorofyl v listech ubývat, čímž klesne absorpce modré a zelené barvy a tím dochází ke zvýšení odrazu vlnových délek červené barvy. To způsobuje zbarvení listů do červené a žluté barvy (žlutá je kombinací červené a zelené). Vnitřní struktura zdravých listů funguje jako kvalitní difúzní odrazový materiál pro blízké infračervené záření. Měření blízkého IR záření je jedním ze způsobů zjišťování zdravotního stavu vegetace.

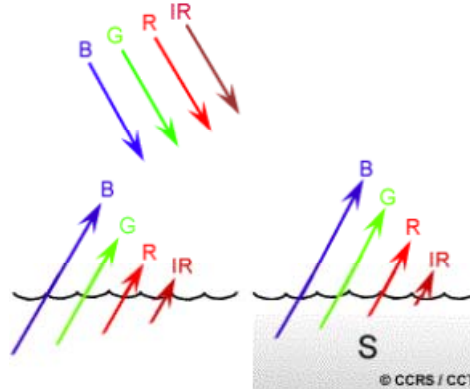


Obrázek 7 Odrazivost listů a IR snímek vegetace a vod

Pramen: [[2]], [[1]]

- *Voda* – viditelné záření s delší vlnovou délkou a blízké IR je vodou absorbováno více, než viditelné krátkovlnné záření. Proto voda typicky vypadá

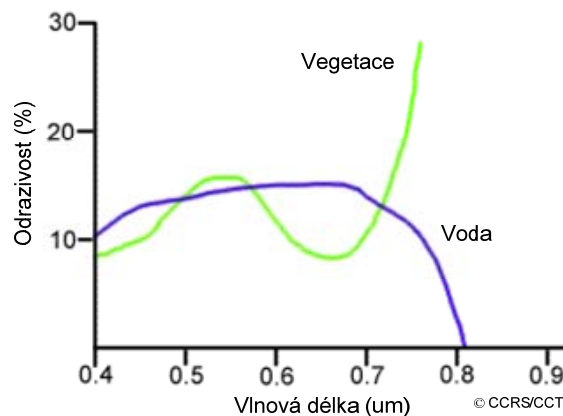
modrá, nebo modrozelená díky silnější odrazivosti těchto kratších vlnových délek a tmavá při zobrazení v blízkém IR pásmu. Přítomnost částic v horních vrstvách vody zlepšuje odrazivost, proto je voda na snímcích vidět jasněji. Pokud jsou ve vodě obsaženy sinice, tak voda vypadá zelená. To je způsobeno přítomností chlorofylu v sinicích.



Obrázek 8 Odrazivost vody

Pramen: [[2]]

Na těchto příkladech můžeme vidět, že v závislosti na typu sledovaného objektu a použité vlnové délky můžeme sledovat jeho rozdílné pohlcování, přenos a odraz. Měřením odražené (nebo vyzářené) energie objektů v různých vlnových délkách můžeme vytvořit tzv. *spectral response* (spektrální odezvu) pro zkoumaný objekt. Vzájemným porovnáním různých typů odezvy od rozdílných objektů můžeme mezi těmito objekty rozlišovat, i když při použití pouze jedné vlnové délky bychom rozdíl mezi nimi nebyli schopni identifikovat. Např. voda a vegetace mají podobnou odezvu ve viditelné části spektra, ale jsou většinou dobře rozlišitelné v IR pásmu.



Obrázek 9 Spektrální odezva vody a vegetace

Pramen: [[2]]

Satelity a senzory

V předchozím textu jsme se několikrát zmínili o Slunci jako zdroji energie (záření). Slunce poskytuje velmi vhodný zdroj energie pro DPZ - energie je buď *odražena* (pro viditelné části spektra), nebo absorbována a pak znovu *vyzářena* (termální IR). Metody DPZ, které využívají přirozeně dostupnou energii, se nazývají *pasivní*. Tyto metody mohou být použity, pouze pokud je povrch ozářen Sluncem. Energie, která je

přirozeně vyzařována (jako např. termální IR) může být zaznamenávána ve dne i v noci, dokud je zdroj záření silný natolik, aby mohl být zaznamenán.

Aktivní senzory si zajišťují vlastní zdroj záření. Senzory vysílají záření k objektu zájmu a odražená energie je opět zaznamenána senzorem. Výhodou aktivních senzorů je možnost pracovat nezávisle na denní době. Mohou používat vlnové délky, které nejsou v dostatečné míře dostupné ze Slunce (jako např. mikrovlny).

Senzory mohou být umístěny na Zemi, ve vzduchu, nebo na oběžné dráze Země. Pozemní senzory (umístěné na výsuvném rameni) se používají ke sběru detailních informací, které nemohou být zaznamenány ze vzduchu. Nosiče snímačů ve vzduchu mohou být letadla a družice. Obecně můžeme klasifikovat systémy pořizování dat dle následujících kritérií:

Obecné dělení

- druh nosiče: model letadla, letadlo, balón, družice, pozemní systémy,
- část spektra: panchromatické, IR, termální IR, radarové, multispektrální, hyperspektrální,
- osa záběru: svislá, šikmá, boční,
- zorné pole: širokouhlé, normální, s dlouhým ohniskem

Oběžné dráhy družic DPZ

Rovníková oběžná dráha (geostacionární):

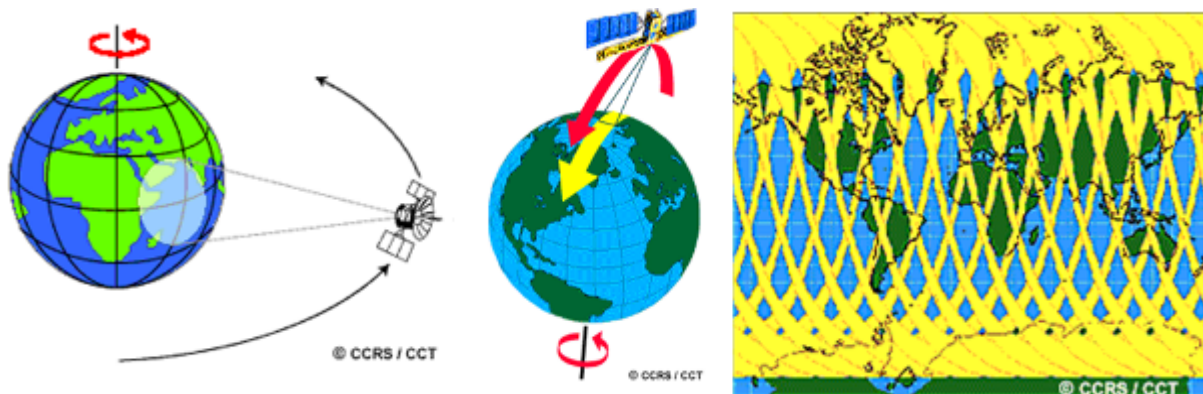
- výška družice je cca 36 tis. km,
- úhlová rychlost je rovna rychlosti rotace Země = družice se otáčí zároveň se Zemí (snímá stále stejné místo),
- prostorové rozlišení snímku je malé ale s vysokou frekvencí,
- vhodné pro sledování atmosférických jevů

Šikmá oběžná dráha

- dráha družice svírá s rovinou rovníku úhel 30-65° a výška letu je několik set km,
- vyšší zeměpisné šířky nelze snímat, proto sepro systémy primárně určené pro pořizování obrazových dat

Subpolární oběžné dráhy

- dráha družice svírá s rovinou rovníku úhel 80 – 100° a výška letu je 700 – 1000 km,
- doba oběhu závisí na výšce letu – přibližně 2 hodiny,
- dráha je volena tak, aby orientace dráhy vůči slunci byla neměnná.



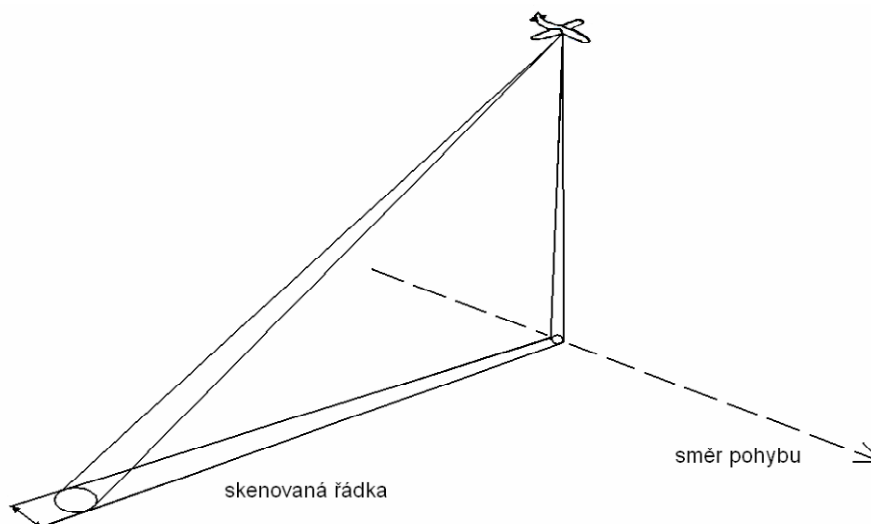
Obrázek 10 Poloha geostacionární družice, pohyb subpolární družice a oblast, kterou snímají díky rotaci Země

Pramen: [[2]]

Rozlišení dat

Detail rozpoznatelný na snímku je závislý na *prostorovém rozlišení* senzoru a odpovídá velikosti nejmenšího objektu, který je možný zaznamenat. Prostorové rozlišení senzorů záleží zejména na IFOV (Instantaneous Field of View) – okamžitý úhel záběru.

IFOV je kužel viditelnosti senzoru a určuje plochu zemského povrchu, která je vidět z dané výšky v určitém časovém intervalu. Plocha viditelné oblasti je závislá na vzdálenosti od senzoru k aktuálně snímané části zemského povrchu. S vyšší vzdáleností roste i velikost snímané oblasti a tím klesá prostorové rozlišení - viz obrázek 11. Plocha zaznamenaná senzorem určuje *rozlišení* snímku a definuje maximální prostorové rozlišení senzoru. Pro zaznamenání homogenního objektu je potřeba, aby jeho velikost byla stejná, nebo vyšší než maximální rozlišení senzoru.



Obrázek 11 Vliv IFOV na snímek

Pramen: [[3]]

Spektrální rozlišení senzoru definuje počet spektrálních pásem, jejich šířku a střední hodnotu vlnové délky pásma.

Radiometrické rozlišení určuje počet rozlišitelných úrovní signálu v jednom pásu (1, 4, 8, 10, 12, 16 bitová data).

Časové rozlišení definuje interval mezi jednotlivými snímky stejného území. Geostacionární družice snímají cca každých 30 minut, zatímco satelity obíhající po oběžné dráze jednou za několik dní. Dobu je možno zkrátit natočením senzoru. Snímání stejných oblastí slouží ke studiu dynamických jevů.

Systémy pořizování dat

Na oběžnou dráhu již bylo vypuštěno velké množství satelitů se specifickou funkcí, různým spektrálním a prostorovým rozlišením, sbírající nejrůznější typy dat. Podrobný popis neznámějších systémů pro pořizování dat najdeme např. v [[2]], zde si uvedeme pouze jejich názvy:

- Landsat,
- SPOT,
- IKONOS,
- QuickBird,
- IRS,
- meteorologické družice (Meteosat, NOAA).

Zpracování a analýza snímků

Detekci elektromagnetické energie můžeme provádět buď fotograficky, nebo elektronicky (digitálně). Fotografický proces k záznamu změny energie využívá chemické reakce na povrchu světlocitlivého filmu. Elektronický záznam využívá senzory, které zaznamenávají elektromagnetické záření jako matice hodnot v digitální formě.

Při použití digitálního záznamu je snímek tvořen *pixely*, které reprezentují jas snímané oblasti numerickou hodnotou. Analogovou fotografii můžeme skenováním převést do digitální formy.

Snímací senzory zaznamenávají jednotlivá pásma (band), kterým se také říká *kanály* (channel). Jednotlivá pásma můžeme kombinovat a získat tak zobrazení v nepravých barvách (např. R – red, G – green, B – blue = barvy tak, jak je vnímá lidské oko).



Obrázek 12 Vlevo jednopásmový snímek - vpravo snímek vzniklý kombinací pásem R, G, B
Pramen: [[2]]

Abychom mohli využít informace, které nám přináší DPZ, musíme být schopni získat smysluplné informace ze získaných snímků, což zahrnuje identifikaci a měření různých předmětů na snímku za účelem získání potřebných informací. Jednotlivé objekty zájmu v DPZ jsou libovolné oblasti na snímku, které mohou být body, linie, nebo oblasti. To zahrnuje např., mosty, silnice, velké vodní plochy, zalesněné porosty, nebo třeba i autobus na parkovišti. Pro objekty dále platí že musí být určitelné, tzn. musí být v kontrastu s ostatními prvky na snímku.

Velká část interpretace a identifikace objektů v DPZ na analogových a digitálních snímcích je prováděna vizuálně na základě pohledu na snímek (fotografii), nezávisle na typu použitého senzoru.. Na digitálních datech můžeme provádět *digitální zpracování obrazu a analýzy* – např. automatické rozpoznávání objektů (většinou je nutná asistence operátora)

Analogový přístup	Digitální přístup
využíván hlavně v počátcích DPZ minimální požadavky na výbavu subjektivní	nutný speciální a drahý SW analýza více spektrálních pásem najednou více objektivní, více konzistentní výsledky – nutná verifikace výsledků (může být složitá)

Tabulka 1 Porovnání analogového a digitálního přístupu

Při vyhodnocování snímků se hodnotí následující prvky vizuální interpretace:

- *odstín* (tone) = relativní jas objektu na snímku. Je to hlavní element pro rozlišování mezi objekty na snímku. Rozdíly v odstínu umožňují identifikaci tvaru, textury a struktury zkoumaného objektu,
- *tvar* (shape) = odpovídá obecné formě, struktuře nebo obrysu individuálních objektů. Může být výrazným vodítkem pro interpretaci – ostré a pravidelné hrany jsou typické pro obydlené, nebo zemědělské oblasti, přírodní útvary (lesy) jsou nepravidelného tvaru,
- *struktura* (pattern) = prostorové rozložení viditelných objektů,
- *textura* (texture) = rozložení a frekvence variace odstínů v určitých oblastech snímku.
- *stín* (shadow) = pomáhá při interpretaci profilu a relativní výšky cíle, což usnadňuje identifikaci. Snižuje ovšem možnost interpretace cílů v oblastech zakrytých stínem.
- *asociace* (association) = bere v úvahu ostatní rozpoznatelné objekty v sousedství zkoumaného objektu.

Při zpracování *digitálních* družicových snímků postupujeme ve čtyřech hlavních krocích: předzpracování snímku, zvýraznění snímku, obrazové transformaci a klasifikaci snímku a analýze.

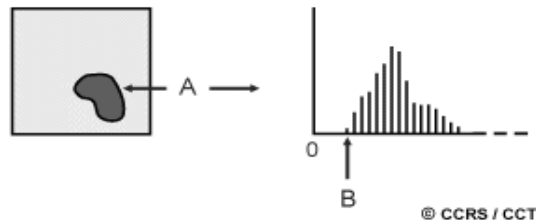
Předzpracování obrazu (Preprocessing)

Operace předzpracování obrazu jsou zodpovědné za opravu specifických radiometrických a geometrických distorzí dat:

- radiometrické korekce – opravy pro nepravidelnosti senzoru, konverze dat tak, aby přesně reprezentovala odražené nebo emitované záření měřené senzorem,
- geometrické korekce – opravy zkreslení dat vznikající při snímkování, transformace souřadnic.

Radiometrické korekce jsou závislé na typu senzoru a podmínkách při snímání. Užitečné bývá konvertovat/kalibrovat data na známou hodnotu záření. Díky tomu můžeme lépe porovnávat různé zdroje dat. V jedné z předchozích kapitol jsme hovořili o *rozptylu záření* při průchodu atmosférou – ten omezuje a zeslabuje část energie, která ozařuje zemský povrch. Na odstranění vlivu rozptylu můžeme aplikovat metody atmosférické korekce (modelování podmínek v atmosféře v průběhu sběru dat), nebo pouze výpočetní korekci přímo v datech.

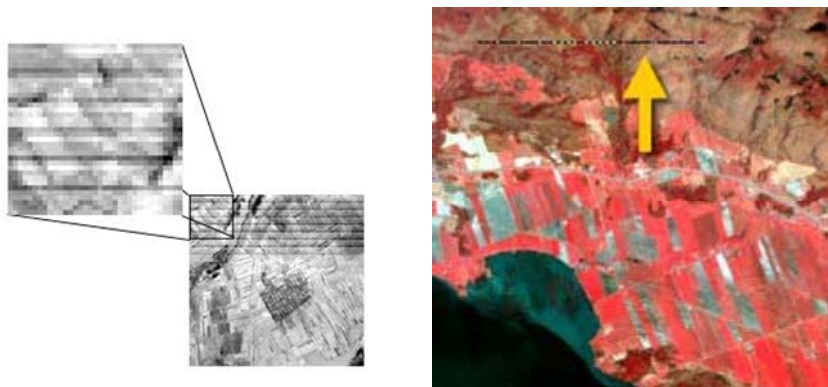
Příkladem takové korekce může být metoda *průzkumu hodnot zaznamenaného jasu* – v oblasti stínu, popř. velmi tmavého objektu (jako např. jezero – A) určit minimální hodnotu jasu (B) – viz obrázek 13. Korekce je poté aplikována odečtením minimální zjištěné hodnoty jasu (B) (pro každé pásmo) od všech pixelů daného pásma. Rozptyl je závislý na vlnové délce, proto se budou minimální hodnoty jasu pro každé pásmo lišit. Při této korekci vycházíme z předpokladu, že v případě čisté atmosféry tyto objekty (např. stín) mají velmi malé hodnoty jasu (skoro nulové). Pokud tedy zjistíme hodnoty vyšší než 0, je toto výsledek atmosférického rozptylu.



Obrázek 13 Radiometrická korekce

Pramen: [[2]]

Další chyby v obraze mohou vznikat kvůli nepravidelnostem nebo chybám způsobených senzory. Běžnou chybou je *striping* (proužkování) a *dropped lines* (zapomenuté linie). Tyto chyby musí být odstraněny ještě před započítím klasifikace snímku, jinak by docházelo k nepřesnostem při vyhodnocování. *Striping* byl častý u dřívějších Landsat MSS s ohledem k různorodosti a směru (drift) v odrazu šesti senzorů, které měl MSS.



Obrázek 14 Striping a dropped lines

Pramen: [[2]]

Mezi geometrické korekce patří georeferencování získaných snímků do potřebného souřadnicového systému. Pro georeferencování se používá identických bodů – tzv. *ground control points* (GCP), u nichž jsou známé souřadnice v požadovaném souřadnicovém systému. Těmto GCP pak přiřazujeme odpovídající body ze zpracovávaného snímku. Popis georeferencování však přesahuje rámec tohoto učebního textu – toto téma je však důkladně rozebráno ve většině GIS publikací.

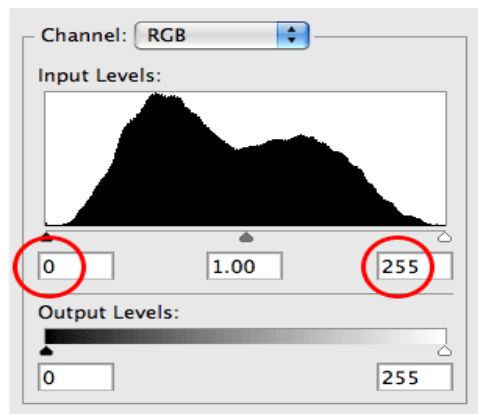
Zvýraznění snímku (Image Enhancement)

Zvýraznění obrazu se používá pro jednodušší vizuální interpretaci a porozumění snímku, protože i po provedení operací preprocessingu nemusí být obraz ideální pro vizuální interpretaci. Velká výhoda digitálního DPZ je možnost manipulovat s hodnotami jednotlivých pixelů snímku. S ohledem k velmi široké *spectral response* různých objektů (lesy, pouště, ledovce, atd.) žádná radiometrická korekce neupraví

rozsah jasů v daném snímku pro optimální zobrazení pro všechny sledované cíle. Pro každý snímek je tedy nutné provést individuální úpravu rozsahu a rozložení jasů.

V surovém (RAW) zpracování snímku jsou použitelná data uložena pouze v omezeném rozsahu využitelných číselných hodnot (256 úrovní). –Základem k operacím zvýraznění snímku je porozumění *histogramu obrazu* .:

- *histogram* je funkcí jasů. Vyjadřuje četnost bodů s daným jasnem , ze kterých se skládá obraz [3],
- hodnoty jasů (např. 0 - 255) jsou zobrazeny podél osy X,
- četnost výskytu každé hodnoty je pak zobrazena v ose Y.



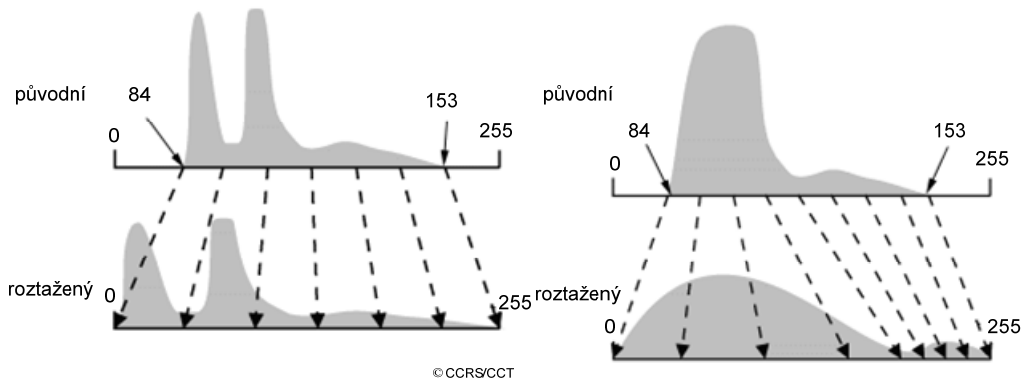
Obrázek 15 Histogram obrazu

Pramen: autor

Změnou rozsahu hodnot jasů obrazu, které jsou reprezentovány histogramem, můžeme aplikovat různé vylepšení. Existuje mnoho různých metod vylepšení kontrastu a detailu dat (tzv. ekvalizace histogramu).

Linear contrast stretch je nejjednodušší metoda vylepšení kontrastu snímku. Identifikujeme nejnižší a nejvyšší hodnotu jasů a provedeme transformaci, která roztáhne tento rozsah hodnot jasů přes celý interval. V našem případě je minimální hodnota histogramu zpracovávaného obrazu 84 a maximální 153. Těchto 70 hodnot pokrývá méně než čtvrtinu z celkového rozsahu 256 hodnot. Transformace *linear stretch* rovnoměrně roztáhne původní rozsah tak, aby pokrýval plný rozsah hodnot od 0 do 255. Tato transformace histogramu pomáhá ke zlepšení vizuální interpretace snímku. Rovnoměrné roztažení histogramu není vždy nejlepším řešením – obzvláště, když vstupní rozsah není rovnoměrně rozložen.

V takovém případě můžeme použít např. metodu *histogram-equalized stretch* (egalizace histogramu). Tato transformace hodnot jasů přiřadí širší interval hodnot častěji zastoupenému jasů, čímž jsou zvýrazněny oblasti, které mají na snímku větší výskyt. Tuto operaci zvýraznění obrazu můžeme také aplikovat na určitou část histogramu, která nás zajímá. Např. máme snímek ústí řeky, na jehož histogramu voda zaujímá hodnoty od 40 do 76. Pokud bychom chtěli zvýšit detaily ve vodě (např. abychom určili množství rozpuštěných sedimentů), tak roztáhneme část intervalu histogramu, reprezentující vodu (40 až 76) na celý rozsah histogramu od 0 až 255. Všem hodnotám menším než 40 bude přiřazena hodnota 0 a větším než 76 hodnota 255 čímž se ztratí informace v těchto oblastech. Dojde však ke zvýraznění informace v rámci vodního toku.



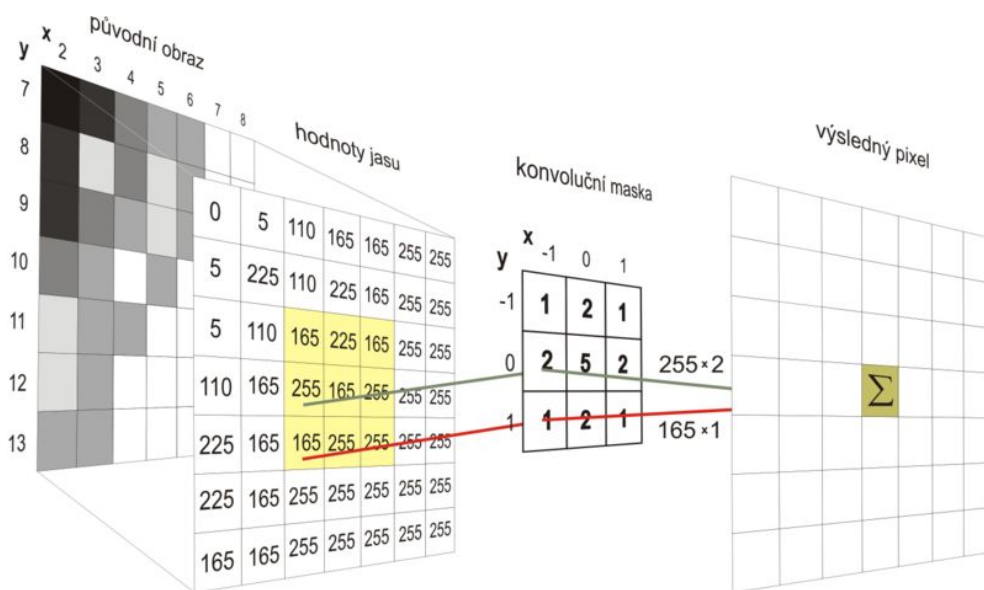
Obrázek 16 Princip linear kontrast stretch a histogram-equalized stretch
 Pramen: [[2]]

Další množina funkcí, které se zaměřují na vylepšení vzhledu obrazu, se nazývá *prostorová filtrace* (spatial filtering). Jejich vlastností je zvýraznění, nebo potlačení specifických prvků obrazu, v závislosti na jejich *prostorové frekvenci* (spatial frequency). Prostorová frekvence souvisí s konceptem textury obrazu – odpovídá frekvenci variací odstínů, které se objevují v obraze:

- *hrubě texturované* oblasti obrazu, kde dochází k náhlé změně odstínu na malém území, mají vysokou prostorovou frekvenci,
- *hladce texturované* oblasti s lehkou změnou odstínů mají nízkou prostorovou frekvenci.

K prostorové filtraci se využívá principu konvoluce s použitím konvoluční masky o různých velikostech (např. 3x3, 5x5, atd.) – viz obrázek 17.

- *low-pass filter* se používá ke zvýraznění větších, homogenních oblastí, které mají stejný odstín. Redukuje detaily a opticky vyhladí snímek. Používají se funkce jako např. průměr
- *high-pass filter* se používá k doostření detailů snímku.



Obrázek 17 Princip konvoluce

Transformace obrazu (Image Transformations)

Transformace obrazu zahrnují manipulace s jednotlivými snímky, popřípadě s vícespektrálními snímky identické oblasti, pořízené s časovým rozestupem. Pomocí transformací obrazu pak vytváříme ze dvou a více snímků nové snímky, které vyjadřují požadované prvky nebo vlastnosti lépe než snímky původní.

Při základních transformacích obrazu aplikujeme na snímky jednoduché aritmetické operace a principy, které známe např. ze zpracování rastrových dat pomocí operací mapové algebry v prostředí GIS.

Často se používá *odečítání snímků* k identifikaci změn, ke kterým došlo v intervalu mezi pořízením jednotlivých snímků. U georeferencovaných snímků odečítáme hodnoty jasu navzájem si odpovídajících buněk (lokální funkce mapové algebry). Tento typ obrazové transformace můžeme použít např. pro mapování změn v zástavbě, nebo v oblastech kde dochází k odlesňování krajiny.

Jednou z nejběžnějších transformací aplikovaných na snímky je tzv. *spectral rationing* (ratio = poměr). Tuto transformaci si ukážeme v následujícím příkladu:

Zdravá vegetace odráží silně v blízkém IR pásmu a absorbuje ve viditelném RED pásmu. Ostatní typy povrchu (hlína, voda, sníh) odráží přibližně stejně v blízkém IR i RED pásmu. Při použití snímků z Landsat – pásmo 7 (blízké IR) a pásmo 5 (RED) – vydělíme pásmo 7 pásmem 5 = výsledek nám dá hodnoty vyšší než 1 pro vegetaci a hodnoty kolem 1 pro hlínu a vodu. Tím získáme zvýraznění vegetace od ostatních prvků a také můžeme lépe vyhodnotit oblasti s poškozenou vegetací – ratio bude nižší než u zdravé vegetace.

Další výhodou je, že se díváme na poměry hodnot jasu a ne přímo na hodnoty, tím docílíme redukce nerovnoměrného osvětlení scény.

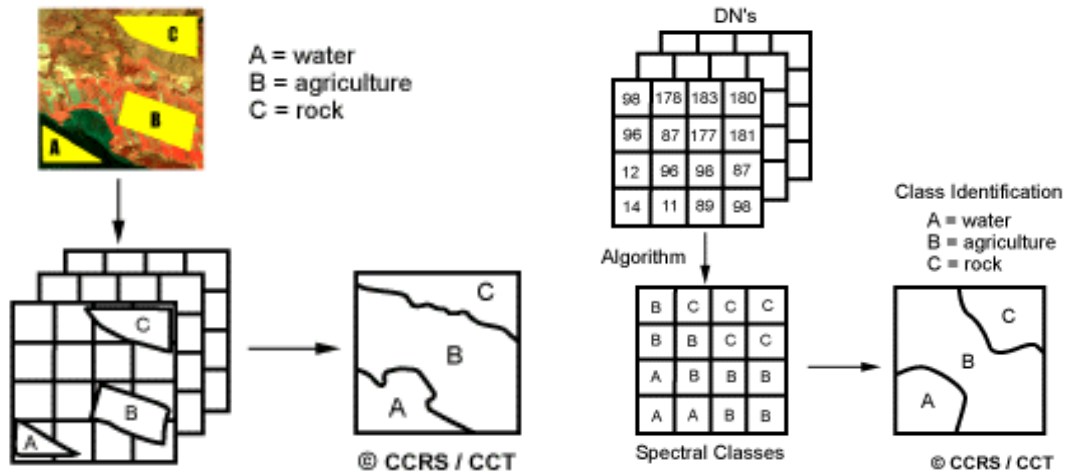
Byly navrženy i složitější poměry (ratio) mezi různými senzory a jejich spektrálními pásmy, které sloučí k monitorování stavu vegetace. Velmi rozšířená obrazová transformace tohoto typu je *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), která se používá pro sledování vegetace v kontinentálním a celosvětovém měřítku s použitím Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) senzor na sérii satelitů NOAA.

Klasifikace snímků

Operátor klasifikující objekty snímku používá prvky vizuální interpretace představené v úvodu této kapitoly, aby identifikoval homogenní skupiny pixelů reprezentující typy půdního krytu. *Digitální klasifikace snímků* využívá spektrální informaci reprezentovanou hodnotami v jednom nebo více spektrálních snímcích. Cílem této klasifikace je každý pixel snímku zařadit do určité tematické třídy (např. voda, jehličnatý les, kukuřice, ...). Běžné klasifikační procedury mohou být rozděleny do dvou hlavních tříd, dle metody klasifikace:

1. *Řízená klasifikace* – operátor definuje ve snímku homogenní reprezentativní vzorky rozdílných typů půdního krytu. Tyto vzorky se nazývají *trénovací množina*. Výběr vhodných trénovacích oblastí záleží na operátorově zkušenosti a znalosti daného území. Numerické hodnoty ze všech pásem se použijí k „trénování“ algoritmu pro rozpoznávání jednotlivých tříd. Následně algoritmus přiřadí každému pixelu snímku příslušnost do jedné z definovaných tříd.

2. *Neřízená klasifikace* – v principu funguje opačně než *řízená klasifikace*. Operátor stanoví, na kolik tříd se má snímek rozklasifikovat. Na data je aplikován *clustering algorithm* (shluková analýza). Pixely s podobnou charakteristikou jsou seskupeny do shluků a následně rozklasifikovány do předem definovaného počtu tříd.



Obrázek 18 Princip řízené a neřízené klasifikace

Pramen: [[2]]

Zpracované a vyhodnocené snímky se dále analyzují pomocí nástrojů GIS. Ve výsledku totiž získáme rastrová data, na která můžeme aplikovat funkce mapové algebry, převádět prvky do vektorové reprezentace, popřípadě data vizualizovat pomocí digitálních modelů terénu.

Zdroje

- [1] Academic Web Courses Faculty, Emporia State University [online]. [cit 2010-05-30]. Dostupné z: <http://academic.emporia.edu/>
- [2] Natural Resources Canada, Remote Sensing Tutorials [online]. [cit 2010-05-30]. Dostupné z: http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/index_e.php#tutor
- [3] ŽELEZNÝ, M.: Dálkový průzkum Země. [online]. [cit 2010-05-30]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>
- [4] WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. Konvoluce [online]. [2010-05-30]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Konvoluce>