

Země z nadhledu (5. část): Klasifikace, aplikace DPZ

V předposledním dílu seriálu se dozvíme, kde a k čemu je možné dálkový průzkum Země prakticky využít. Aplikací je velké množství a pro všechny je nutné data určitým způsobem připravit, zpracovat. V našem seriálu jsme si již představili některé základní způsoby předzpracování, vizualizace a úpravy dat. Tentokrát bude řeč o klasifikaci. Její zvládnutí umožňuje získat z družicových multispektrálních dat velké množství informací, proto na teoretickou část navážeme v příštím dílu i praktickou ukázkou – návodem, jak provést neřízenou klasifikaci multispektrálního obrazu v LEOWorks.

Definice klasifikace

Klasifikace je obecně proces, při kterém jednotlivé objekty zařazujeme do kategorií (tříd) podle určitého příznaku a na základě určitých rozhodovacích pravidel (klasifikátoru/algoritmu). V dálkovém průzkumu obvykle chceme jednotlivé pixely přiřadit/roztrždit do kategorií (tzv. informačních tříd), jako jsou lesy, louky, orná půda, zástavba, vodní toky a další, které se reálně vyskytují na povrchu Země a tvoří tzv. krajinný pokryv (land cover) území zachyceného na snímku (mapa krajinného pokryvu viz obr. 1).

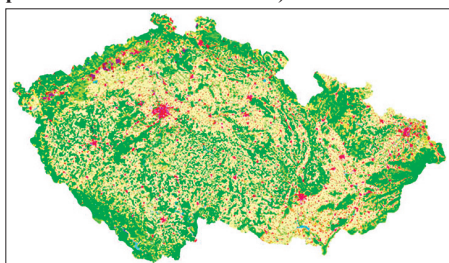
Příznakem, tedy veličinou, kterou můžeme pro jednotlivé pixely měřit a poté je na základě naměřených hodnot třídit, je v našem případě hodnota odraženého/emitovaného záření v jednotlivých pásmech multispektrálního snímku (tzv. spektrální příznaky). Důležitou roli hraje tedy spektrální chování jednotlivých objektů, o kterém byla řeč v předchozích dílech seriálu.

Jak uvádí Dobrovolný (1998), klasifikace obrazu je založena na použití rozhodovacích pravidel – tzv. *klasifikátorů*, podle nichž lze prvky obrazu zařadit do určité třídy. Podle Koláře (1990) tyto klasifikátory mohou být obecně založeny na nejružnějších vlastnostech objektů a jeví v obraze, tedy ne pouze na jejich spektrálním chování. Podmínkou však je, že jevy či objekty v obraze se v hodnotách porovnávaných vlastností vzájemně dostatečně odlišují. V našem případě, kdy využíváme spektrální příznaky, se předpokládá, že pixely patřící do stejné třídy budou mít v analyzovaných spektrálních pásmech podobné spektrální příznaky/vlastnosti, které se zároveň budou do značné míry lišit od spektrálních příznaků jiných tříd.

Řízená a neřízená klasifikace

Klasifikace může být tzv. *řízená*, nebo *neřízená*. Řízená klasifikace počítá od za-

Obr. 1: Mapa krajinného pokryvu Česka zpracovaná na základě snímků Landsat a SPOT v rámci projektu CORINE (<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>)



Zdroj: <http://etc-lusi.eionet.europa.eu/CLC2000/countries/cz/full>

čátku s tím, že ji někdo bude usměrňovat – řídit. Vyžaduje v podstatě učitele (operátora), který danému algoritmu předem „řekne“, které pixely v obraze patří do jaké *informační třídy*. Prakticky proces začíná tím, že operátor ve snímku vybere a ohraničí tzv. trénovací množiny, tj. skupiny pixelů, které patří do konkrétních informačních tříd (voda, les, zástavba atd.). Klasifikátor potom vyhledává pixely, které mají podobné příznaky jako pixely jednotlivých trénovacích množin, a přiřazuje je do konkrétních tříd. Výstupem je vrstva (obrázek) s legendou, která obsahuje stejné informační třídy, jaké byly na počátku klasifikace natrénovány. Některé pixely, které nemají spektrální příznaky dostatečně podobné žádné trénovací množině, nemusí být klasifikovány. Výsledky klasifikace při použití různých klasifikátorů mohou být rozdílné. Po ukončení klasifikace vždy následuje hodnocení její přesnosti buď vizuálně, nebo většinou s pomocí určitých statistických veličin, které využívají algoritmy pro hodnocení klasifikace. Pokud nejsme s přesností klasifikace spokojeni, můžeme upravit trénovací množiny, pozměnit parametry klasifikačního algoritmu nebo využít jiný klasifikátor. Řízená klasifikace vyžaduje dobrou znalost území, kontrolní data z terénu a jistě zkušenosti operátora.

Neřízená klasifikace, kterou se budeme zabývat v našem cvičení v příštím dílu seriálu, nevyžaduje prakticky žádnou znalost klasifikovaného území a výstupem klasifikátoru nejsou třídy informační, ale spektrální. Těm potom musí informační obsah přiřadit ten, kdo výsledky klasifikace interpretuje. Algoritmy neřízené klasifikace většinou vyžadují pouze zadání počtu tříd, které chceme klasifikovat, a počtu iterací, tzn. počtu opakování zvoleného algoritmu, která mají proběhnout proto, abychom dostali co možná nejlepší výsledek (více o těchto algoritmech viz např. Dobrovolný 1998).

Aplikace DPZ

Smysl dálkového průzkumu Země spočívá jistě především v jeho praktických aplikacích. Těch je velké množství a se zlepšujícími se technickými možnostmi se zlepšuje i kvalita získaných dat (například spektrální nebo prostorové rozlišení) a množství aplikací tak roste.

Z jednotlivých oblastí spektra elektro-

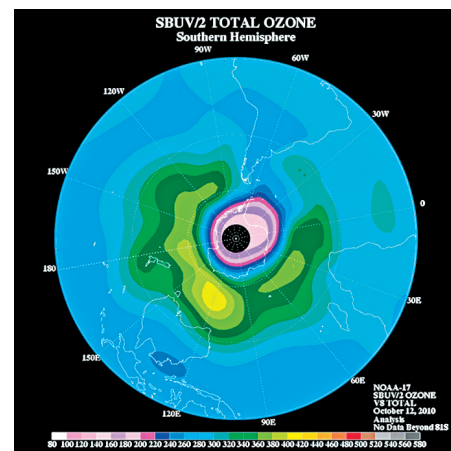
magnetického záření, které jsme si vyjmenovali již v prvním dílu seriálu o DPZ, můžeme získat rozdílné informace, resp. využít toho, jak se jednotlivé povrchy či jevy v různých oblastech spektra projevují/zobrazují. Proto si krátce charakterizujeme každou oblast spektra a poté si ukážeme, pro jaké aplikace je využitelná.

Ultrafialové záření (UV – ultraviolet) 0,1–0,4 mikrometru

Jak uvádí Dobrovolný (1998), většinou je tato část spektra výrazně pohlcována atmosférou a k zemskému povrchu proniká pouze jeho malá část. To je na jedné straně výhodou pro živé organismy, protože je pro ně krátkovlnné záření škodlivé, na druhé straně je to omezení pro využití této části spektra v DPZ. V DPZ byly s těmito vlnovými délkami testovány možnosti aktivních metod s tzv. UV laserem. UV část spektra je zajímavá pro geologické aplikace, mnoho minerálů vydává charakteristické záření v těchto vlnových délkách, a lze je tedy snadněji identifikovat. Toto záření také do jisté míry prochází vodním sloupcem (Dobrovolný 1998).

Intenzita pohlcování UV záření ozonem (O₃) je využívána pro monitorování množství ozonové vrstvy. K tomuto účelu se využívá například družice NOAA-N (National Oceanic and Atmospheric Administration), která je jednou z vesmírných misí NASA. NOAA na polární oběžné dráze sbírá in-

Obr. 2: Mapa zachycující množství ozonu (Dobsonovy jednotky) naměřené 12. října 2010 v oblasti jižního pólu zařízením Solar Backscattering UltraViolet (SBUV/2) umístěným na palubě NOAA. Odstíny růžové barvy je zachycena tzv. ozonová díra (koncentrace ozonu pod 220 Dobsonových jednotek).



Zdroj: <http://www.ozonelayer.noaa.gov/data/artic.htm>

SVĚT KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKY

formace o zemské atmosféře a životním prostředí, které je možno využít pro výzkum klimatu a zlepšení předpovědi počasí na celé zeměkouli (http://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/main/index.html). Výstup z měření mocnosti ozonové vrstvy zachycuje obr. 2.

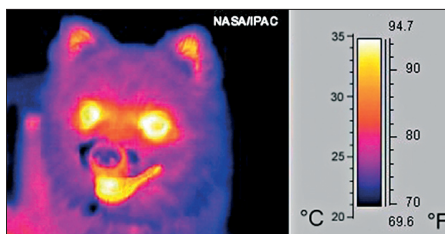
Viditelné záření (VIS – visible) 0,4–0,7 mikrometru

Viditelné záření lze rozlišit na jednotlivé spektrální barvy (fialovou, modrou, azurovou, zelenou, žlutou, oranžovou a červenou). V DPZ schematicky pracujeme se světlem modrým (0,4–0,5 μm), zeleným (0,5–0,6 μm) a červeným (0,6–0,7 μm). Výhodou je, že viditelné záření zabírá jedno z největších atmosférických oken. V čisté atmosféře je záření ovlivňováno velmi málo, je však značně rozptýlováno a pohlcováno různými aerosoly, takže neprochází oblačností a mlhou. Na rozdíl od ostatních vlnových délek je toto záření schopno alespoň do určité míry procházet vodním sloupem – především v modré části spektra (až do hloubek cca 20 m), což umožňuje studovat biologické a fyzikální vlastnosti vodních ploch a toků (Dobrovolný 1998). Viditelné záření je z historického pohledu nejpoužívanější oblastí spektra (letecká fotografie) v DPZ. Pokud se ale týká mnoha různých aplikací (např. sledování vegetace, geologické studie), neposkytují data nasnímaná v této části spektra tolik informací jako data z jiných oblastí spektra (např. blízké a střední infračervené nebo tepelné záření). Přesto většina systémů snímá v modré, zelené a červené oblasti spektra. Kombinace těchto pásem je důležitá i proto, abychom data mohli vizualizovat v přirozených barvách.

Blízké infračervené záření (NIR – near infrared) 0,7–1,3 mikrometru

V pokračování atmosférického okna z viditelné části spektra je možno snímát blízké infračervené záření (viz obr. 3), a to jak konvenčními fotografickými metoda-

Obr. 3: Infračervený snímek psa v tzv. falešných barvách spolu s teplotní škálou



Zdroj: http://cs.wikipedia.org/wiki/Infračervené_záření

mi, tak elektronicky. Toto záření je málo rozptýlováno a pohlcováno atmosférou, snímky jsou ostré a s dobrým kontrastem. Informace zachycené v datech z tohoto intervalu spektra je možné využít pro vegetační studie (zemědělství, lesnictví, ochrana životního prostředí) – viz např. obr. 5. Voda se v těchto vlnových délkách chová téměř jako absolutně černé těleso (Dobrovolný 1998).

Střední infračervené záření (MIR – middle infrared) 1,3–5 mikrometrů

Jak uvádí Dobrovolný (1998), oblast středního infračerveného záření zahrnuje dvě atmosférická okna se středy přibližně 1,5 a 2,2 mikrometru. Obě jsou důležitá především pro vegetační a geologické studie. První okno například umožňuje dobré rozlišení druhů vegetace, hodí se k rozpoznávání sněhu a ledu, k odlišení oblačnosti a ke studiu zdravotního stavu vegetace. Druhé okno je oblastí, kde má charakteristický absorpční pás mnoho minerálů.

Viditelné, blízké a střední infračervené záření můžeme souhrnně označit jako *optickou (pasivní) část spektra*. Snímání v těchto částech spektra je závislé na počasí a na denní době (nelze snímát v noci). Při použití digitálních metod snímání můžeme dosáhnout vysokého prostorového rozlišení – až 0,5 m (např. družice GeoEye-1 nebo

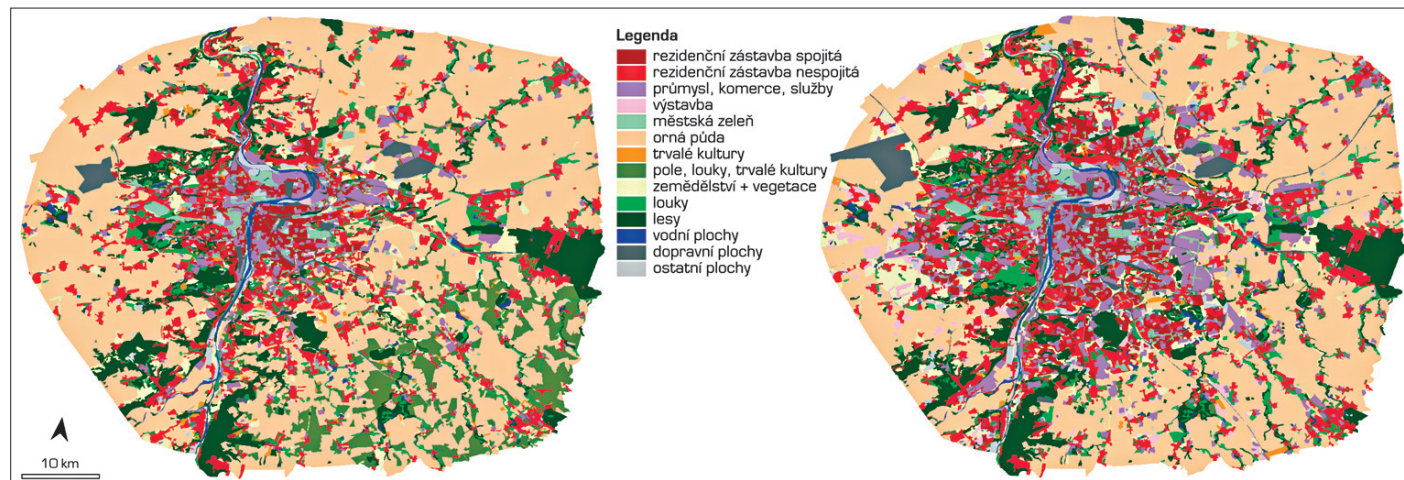
WorldView-1 a 2). Protože dnes již máme dobré znalosti o spektrálním chování jednotlivých zemských povrchů a objektů (teorie spektrálního chování), můžeme pro rozpoznání přítomnosti/druhů objektů a povrchů, ale dokonce i k posouzení jejich stavu/kondice (obsah různých látek, stáří, vlhkost apod.) využít automatických metod (klasifikaci). V infračervené oblasti spektra tyto znalosti a metody umožňují rozpoznávat druhy povrchů, jevy a procesy, které jsou jinak lidským okem nepostřehitelné.

Data pořízená v optické části spektra jsou využitelná pro širokou škálu aplikací – od produkce a aktualizace mapových děl různých měřítek na základě klasifikace krajinného pokryvu Země, přes studium kondice, druhů či stáří vegetace pro účely lesnictví a zemědělství, uplatnění v geologii a geomorfologii (monitorování těžební činnosti, geologických pochodů), po vodní hospodářství (monitorování povodní, čistoty vodních těles). Mnoho z těchto poznatků může být využito pro ochranu krajiny a životního prostředí. Jako příklad aplikací si představíme projekty zaměřené na mapování změn krajinného pokryvu evropských měst MURBANDY a metodu mapování vegetačního pokryvu Země s využitím tzv. vegetačních indexů.

Projekt MURBANDY (Monitoring URBAN Dynamic)

Unikátní soubor dat pořízených na základě družicových a leteckých podkladů z optické části spektra s velmi vysokým prostorovým rozlišením v rámci mezinárodního projektu MURBANDY/MOLAND (<http://moland.jrc.ec.europa.eu/>) umožnil sledovat rozvoj mnoha evropských měst a jejich zázemí ve velkém územním detailu pro několik časových období druhé poloviny 20. století. Obrázek 4 zachycuje výstupy zpracování dat pro Prahu. Z porovnání map z let 1953 a 1998 je zřejmé, že rozpínající se velkoměsto pohltilo velké plochy orné půdy, luk i trvalých kultur.

Obr. 4: Praha a zázemí – využití krajiny v letech 1953 (vlevo) a 1998 (vpravo)



Zdroj: Autorka na základě dat MURBANDY

Obr. 5: Na datech zvýrazněných pomocí NDVI je akcentována vegetační složka a vynikne tak změna – úbytek vegetace tropického deštného lesa, k němuž došlo mezi lety 1973 (obrázek vlevo) a 2003 (obrázek vpravo).



Zdroj: Autorka na základě dat ESA (European Space Agency)

Vegetační indexy

Pro zvýraznění některých informací v družicových datech byly vyvinuty speciální algoritmy. Mezi ně patří i výpočet spektrálních (vegetačních) indexů, které jsou založeny na poměrně jednoduchých aritmetických operacích s několika pásmy multispektrálního obrazu. Koncept spektrálních indexů vychází z typického spektrálního chování vegetační složky krajiny. Zdravá nepoškozená vegetace odráží 40 až 50 % dopadajícího záření v blízké

infračervené části spektra (0,7–1,1 μm). V důsledku pohlcování záření chlorofylem je ve viditelné oblasti (0,4–0,7 μm) odrazivost vegetační složky krajiny pouze 10 až 20 %. Indexy potom dávají do vztahu hodnoty odrazivosti v těchto dvou částech spektra (Dobrovolný 1998). V literatuře se uvádí množství algoritmů. V našem případě (viz obr. 5) byl pro zvýraznění vegetace a jejího úbytku v čase v datech z družice Landsat MSS využit tzv. normalizovaný diferenční vegetační index NDVI (Nor-

malized Difference Vegetation Index). Obrázky zachycují část povodí řeky Paraná na hranici Brazílie a Paraguaye poblíž vodopádů Iguaçu, kde byla vybudována největší hydroelektrárna na světě – Itaipú. Jde o obrovský, nesmírně nákladný a ekologicky problematický společný projekt Brazílie a Paraguaye.

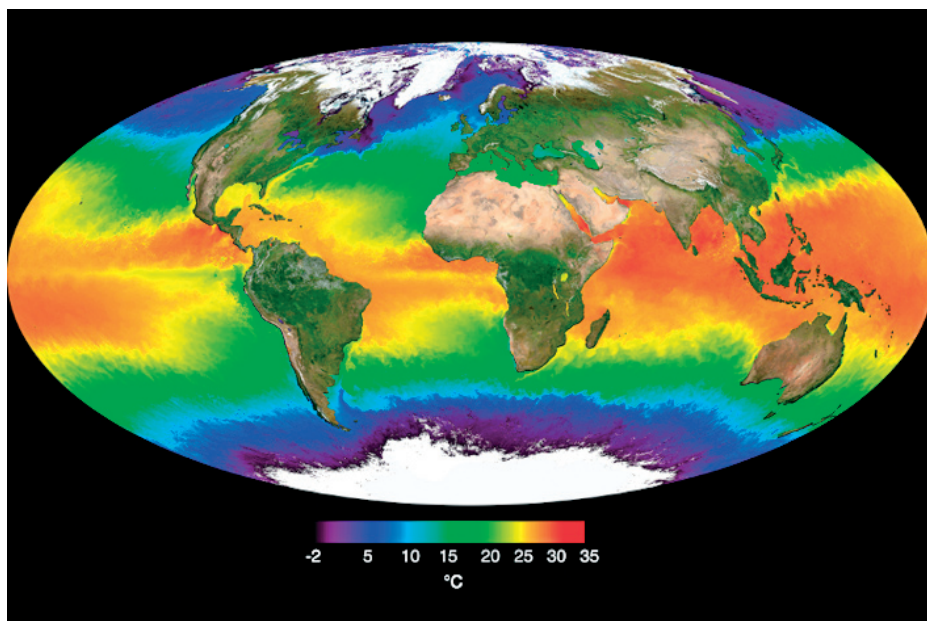
Tepelné infračervené záření (TIR – thermal infrared) 8–12 mikrometrů

V této oblasti se využívá emitovaná (objekty vyzářená) energie (množství odraženého slunečního záření je zde už velmi malé). Těchto vlnových délek potom lze využít ke zjišťování radiační teploty i během denních hodin. Vlnové délky v tomto intervalu přímo odpovídají teplotě objektu. K přesným kvantitativním měřením je nutná dobrá znalost tzv. emisivitu objektů a procesů, které ovlivňují záření v atmosféře. V případě přesné kalibrace umožňují snímky získávat poznatky o tepelné bilanci objektů (Dobrovolný 1998). Využívají se například ke zjišťování povrchové teploty oceánů (SST – sea surface temperature) – viz obr. 6, k mapování tepelného znečištění vodních ploch a toků, k lokalizaci požárů (obráz. 7), sopečné činnosti apod.

Mikrovlnné záření (MW – macrowave) 1 mm – 1 m

Mikrovlnné záření se dělí do několika pásem a je využíváno i při pasivním snímání, ale především na aktivních systémech – radarech. Toto dlouhovlnné záření může pronikat i pod povrch. Ze všech uvedených oblastí záření je mikrovlnné nejméně ovlivňováno počasím, jeho šíření je výrazně ze-

Obr. 6: Povrchová teplota oceánů (25. června 2010) – data z družice MODIS



Zdroj: <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/The-Ocean-in-Action/Sci-Media/Images/Sea-surface-temperature>

Obr. 7: Požáry v Řecku – 1997 a 1998, data družice RESURS MSU-SK, termální pásmo s prostorovým rozlišením 600 m



Zdroj: SAI Annual Report, JRC, 1998

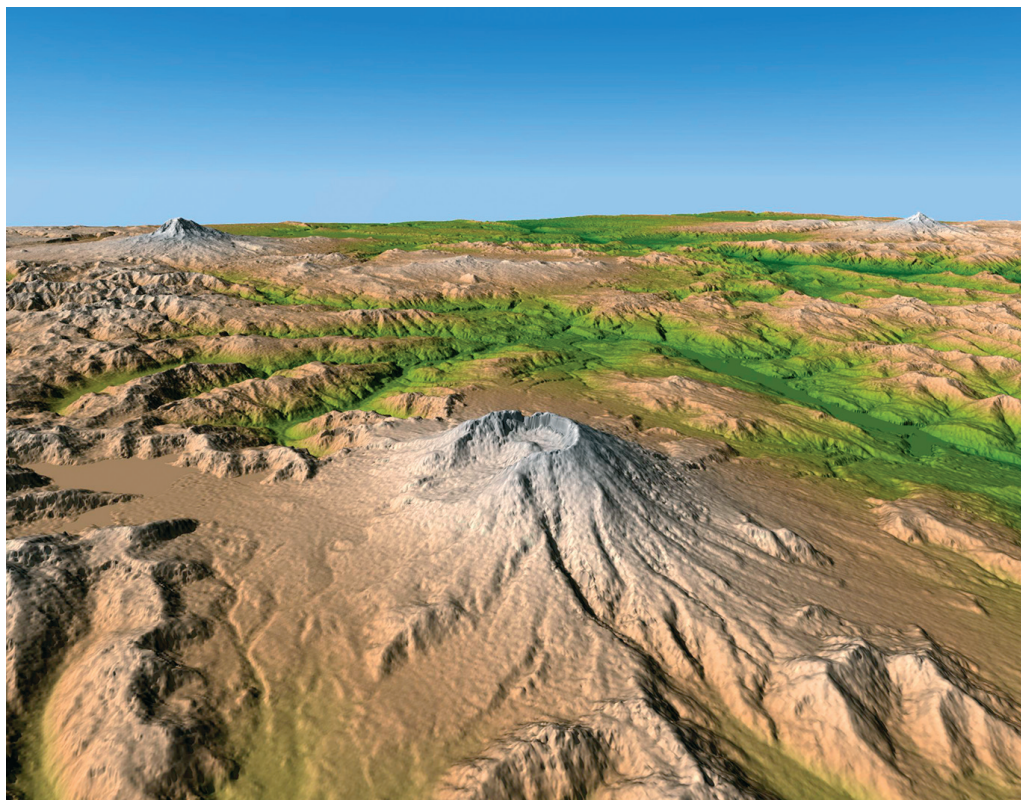
Rozsáhlý seznam konkrétních projektů, které využívají dálkového průzkumu Země k aplikacím např. v zemědělství, životním prostředí, lesnictví, geologii a pedologii, krizovém managementu a dalších, včetně odkazů na tyto projekty, lze nalézt například na stránkách firem Gisat (<http://gisat.cz/content/cz/aplikace>), ITT Visual Information Solutions – producenta software ENVI (<http://www.ittvis.com/network/usecase/index.asp>), Evropské kosmické agentury ESA (<http://www.esa.int/esa-mm/mmg.pl?collection=Living+Planet&type=I>) nebo Indické kosmické agentury ISRO (<http://www.isro.org/scripts/remotesensingapplications.aspx>).

slabováno pouze v případě vydatného deště. Těto skutečnosti se dá naopak využít především v meteorologických aplikacích ke zjišťování oblastí či intenzity srážek (Dobrovolský 2008).

Intenzita emitovaného mikrovlnného záření je velmi nízká, k zachycení signálu je potřeba měřit na poměrně velké ploše a to je příčinou malého prostorového rozlišení dat získaných pasivními metodami v mikrovlnné části spektra. Naproti tomu aktivní systémy, o nichž jsme se více zmiňovali v předchozím díle seriálu (radar, laserový skener), zaznamenávají v poslední době značný rozvoj a poskytují stále kvalitnější data, využitelná například při studiu reliéfu, plovoucího ledu, v geomorfologii, lesnictví i zemědělství a mnoha dalších aplikacích (viz např. Lillesand, Kiefer 1994, Campbell 1996). Obrázek 8 zachycuje aplikaci postavenou na radarovém snímání – digitální model terénu s vysokým prostorovým rozlišením a výškovou přesností, tzv. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

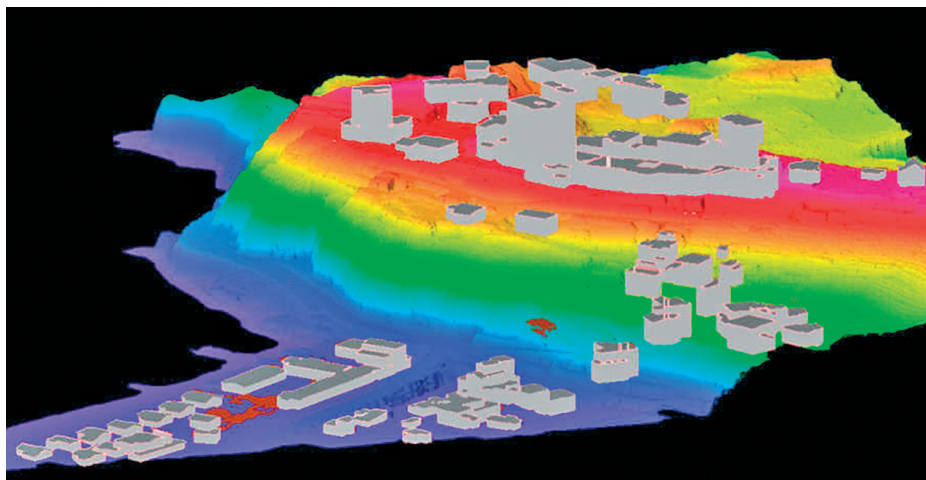
Na obrázku 9 je potom ukázka výstupu zpracování dat laserového skenování. Primárním výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů. Pomocí automatických, poloautomatických a manuálních postupů je v dalším zpracování prováděna klasifikace těchto bodů. V některých případech je možné využít také informaci o intenzitě odrazu, případně o reálné barvě každého z odrazů (v případě současného pořízení digitálních snímků objektu

Obr. 8: SRTM – hora Svaté Heleny, Washington, USA



Zdroj: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm#Gallery>

Obr. 9: Digitální model terénu jako výstup laserového skenování



Zdroj: <http://www.surveylab.info/AirborneLaserScanning.htm>

je možné mračno bodů obarvit s využitím těchto fotografií). Konečným výstupem zpracování dat z laserového skenování může být například velmi detailní model terénu nebo povrchu, případně generali-

zovaný 3D model (<http://www.geodis.cz/sluzby/laserscanning>).

Lucie Kupková, PřF UK v Praze
lucie.kupkova@gmail.com

Earth from the View Above: Remote Sensing Applications. This installment in the remote sensing article series defines supervised and unsupervised classification and certain characteristics of particular electromagnetic spectra intervals (ultraviolet, visible, near infrared, middle infrared, thermal and microwave). Some main applications of remote sensing data, acquired from these wavelength intervals, are described.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- CAMPBELL, J. B. (1996): Introduction to Remote Sensing. Taylor and Francis, London, 622 s.
 DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Vydavatelství Masarykovy univerzity, Brno, 210 s.

- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (1994): Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 750 s.
http://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/main/index.html
<http://www.geodis.cz/sluzby/laserscanning>
<http://moland.jrc.ec.europa.eu/>