

DRUŽICOVÁ DATA A GEOGRAFICKÉ DATABÁZE

mjr. Ing. Vladimír Kovařík, MSc.

Katedra vojenských informací o území

Vojenská akademie v Brně, Česká republika

1. ÚVOD

Geografické databáze jsou nedílnou součástí geografické podpory vojsk a nenahraditelným zdrojem informací potřebných v rozhodovacích procesech velitelů a štábů. Kromě včasnosti dodání informací je velmi důležitým aspektem zejména aktuálnost a úplnost těchto informací. Bez pravidelné aktualizace obsahu by tyto databáze rychle ztratily svoji hodnotu. Tradičními metodami lze dnes jen těžko udržovat aktuální stav informací v databázích. V poslední době se ukazuje, že k nevhodnějším a nejefektivnějším metodám patří využití družicových dat jako zdroje informací o skutečném stavu objektů a jevů na zemském povrchu. V porovnání s ostatními metodami vyniká tato zejména schopností poměrně rychle získat výsledky z území velkého rozsahu a s vysokým stupněm automatizace některých operací. Využívání družicových dat je rovněž nezávislé na dostupnosti zpracovávaného území, a to nejen z hlediska vojenského nebo politického, ale i z hlediska vegetace, podnebí nebo přírodních podmínek. Možnými postupy extrakce prvků z družicových dat jsou pak například vizuální interpretace, fotogrammetrické vyhodnocení nebo klasifikace.

2. DRUŽICOVÉ SYSTÉMY

Jedním z nejvíce využívaných zdrojů obrazových dat jsou v současnosti komerční družicové systémy, jejichž počet se neustále zvyšuje a s tím i nabídka nejrůznějších typů dat, dnes především primárně digitálních. V posledních letech se geometrické rozlišení dat poskytovaných komerčními družicemi začalo posouvat do oblasti, která byla v minulosti doménou družic špionážních. A tak zatímco před deseti lety bylo možné získat data pouze s rozlišením 10 m, v současnosti na oběžné dráze pracují tři systémy, poskytující data s rozlišením pohybujícím se kolem jednoho metru.

Družicové systémy lze rozdělit na optické, které pořizují data ve viditelné a infračervené části elektromagnetického spektra, a na systémy radarové, které pořizují data v mikrovlnné části spektra.

2.1. Optické systémy

LANDSAT

První z řady družic amerického programu LANDSAT byla vypuštěna již v roce 1972 a měla za úkol ověřit možnosti získávání a využívání multispektrálních dat z oběžné dráhy. Byla to vůbec první družice navržená výhradně pro získávání dat o povrchu Země. Kvalita získaných dat předčila všechna očekávání a tak bylo až do současnosti vypuštěno dalších šest družic tohoto systému, který poskytuje cenná data v historicky nejdelším intervalu. První tři družice LANDSAT se pohybovaly na oběžné dráze ve výšce 917 km, pozdější byly vypouštěny na dráhy nižší, přibližně 705 km. Nejnovější družice tohoto systému, LANDSAT 7, poskytuje multispektrální data v sedmi pásmech s rozlišením 30 m (rozlišení termálního pásma je 60 m) a panchromatická data s rozlišením 15 m. Velikost jedné družicové scény je 185×185 km.

Data je možné získat v několika úrovních zpracování, které jsou označovány 0R (*Reformatted*), 1R (*Radiometrically Corrected*) a 1G (*System Corrected*). Data úrovně 0R neobsahují žádné korekce, data úrovně 1R jsou upravena pomocí radiometrických korekcí, data úrovně 1G navíc pomocí geometrických korekcí. Nejedná se však o ortorektifikovaná data, tedy není odstraněn vliv převýšení terénu.

S ohledem na prostorové rozlišení jsou panchromatická data LANDSAT vhodná pro práci v měřítku 1:100 000, multispektrální data pak pro měřítko 1:200 000.

Americká NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), která v současné době systém LANDSAT provozuje, v budoucnu nepočítá s vypouštěním dalších družic, jak je to obvyklé u ostatních systémů. Program pokračuje experimentem New Millennium, jehož cílem je testování nových technologií a vývoj lehčích, výkonnějších a především levnějších přístrojů. V rámci tohoto experimentu byla v listopadu 2000 vypuštěna družice EO-1 (*Earth Observing*), která poskytuje srovnatelná data jako Landsat 7, ale její hmotnost je téměř čtvrtinová. Byla vypuštěna na shodnou oběžnou dráhu a obíhá v tandemu s LANDSAT 7 s asi minutovým zpožděním. Kromě jiných přístrojů nese na palubě také přístroj Hyperion, který je prvním hyperspektrálním skenerem vypuštěným na oběžnou dráhu.

SPOT

Historie francouzského programu SPOT začala v roce 1986 a do dnešní doby bylo vypuštěno celkem pět družic. Družice SPOT byly historicky první, které použily princip snímání metodou podélného skenování. Pohybují se na oběžných drahách ve výšce 822 km a stejně jako družice LANDSAT pořizují data multispektrální a panchromatická. Družice SPOT 4 pořizuje multispektrální data ve třech pásmech s rozlišením 20 m a panchromatická data s rozlišením 10 m. Velikost jedné scény je 60×60 km. V květnu 2002 byla vypuštěna dlouho očekávaná družice SPOT 5, která přinesla zlepšení rozlišení multispektrálních dat na 10 m a panchromatických dat na 5 m a 2,5 m.

Data je možné získat v několika různých úrovních zpracování, které jsou označovány 1A, 1AP, 1B, 2A, 2B a ORTHO. Jednotlivé úrovně se liší stupněm radiometrických a geometrických korekcí, které byly na hrubá data aplikovány. V nejnižší úrovni zpracování (*Level 1A*) jsou použity pouze radiometrické korekce ke kompenzaci rozdílů v citlivosti jednotlivých CCD detektorů senzoru. Data této úrovně jsou určena zkušeným uživatelům, kteří vyžadují co nejméně upravená data a jsou schopni si veškeré další předzpracování a zvýraznění provést sami. V nejvyšší úrovni (*Level ORTHO*) jsou data ortorektifikována s využitím digitálního modelu terénu a vlíčovacích bodů a jsou převedena do kartografického zobrazení. Data této úrovně již nevyžadují žádné dodatečné zpracování a je možné je přímo využít pro začlenění do GIS nebo extrakci prostorových prvků.

S ohledem na prostorové rozlišení jsou nejnovější panchromatická data SPOT vhodná pro práci v měřítku 1:25 000, multispektrální data pak pro měřítko 1:50 000.

V budoucnu je ve spolupráci Francie a Itálie plánováno vypuštění systému PLEIADES, což bude konstelace čtyř radarových a dvou optických družic spadajících do kategorie tzv. „submetrových“ systémů, tedy systémů pořizujících data s rozlišením lepším než jeden metr.

IRS

Indický družicový systém IRS byl odstartován první družicí v roce 1988 a až donedávna byl jediným komerčním systémem poskytujícím data s tak vysokým rozlišením. Družice se pohybují ve výšce 817 km a v nejvyšším rozlišení pořizují data z prostoru 70×70 km. Poskytují multispektrální data ve čtyřech pásmech s rozlišením 23 m a panchromatická data s rozlišením 5,8 m.

Vzhledem k prostorovému rozlišení jsou panchromatická data IRS vhodná pro práci v měřítku 1:25 000, multispektrální data pak v měřítku 1:100 000.

V nejbližší době je plánováno vypuštění řady dalších družic pod označením IRS P5 (Cartosat-1), IRS P6 (Resourcesat-1) a IRS Cartosat-2, které budou poskytovat panchromatická data s rozlišením 2,5 m a později i 1 m.

IKONOS

Pouhých pět měsíců po havárii svého předchůdce byla v září 1999 společností Space Imaging vypuštěna družice IKONOS 2. Její zvláštností je to, že je to historicky první komerční družice, která poskytuje data s velmi vysokou přesností. Multispektrální data ve čtyřech pásmech mají rozlišení 4 m a panchromatická dokonce 1 m. Tato výjimečnost je dána jednak revoluční technologií při výrobě dalekohledu a senzorů společností Eastman Kodak a také nižší oběžnou dráhou, která je přibližně 680 km. Data jsou distribuována po scénách o velikosti 11×11 km.

Data jsou dostupná v několika úrovních zpracování. Úroveň GEO označuje data, která byla rektifikována do souřadnicového systému, polohová přesnost dat je závislá na výškové členitosti zobrazeného území. Data úrovně REFERENCE jsou již ortorektifikována a jejich polohová přesnost je 25 m. Další úrovně - MAP, PRO a PRECISION - označují rovněž ortorektifikovaná data, liší se však svojí polohovou přesností, která je 12 m, 10 m a 4 m.

S ohledem na prostorové rozlišení jsou panchromatická i multispektrální data IKONOS vhodná pro práci v měřítku 1:25 000.

O přípravě vypuštění dalších družic tohoto systému zatím nejsou žádné informace. Vzhledem k tomu, že v prosinci 2000 společnost Space Imaging získala licenci na pořizování panchromatických dat s rozlišením 0,5 m a multispektrálních dat s rozlišením 2 m, se dá očekávat, že k vypuštění nové družice v dohledné době dojde.

EROS

Izraelský družicový systém EROS společnosti ImageSat International je dalším komerčním systémem, jehož data spadají do oblasti velmi vysokého rozlišení. Z celé konstelace osmi družic, které by se měly dostat na oběžnou dráhu do roku 2004, byla vypuštěna zatím první z nich, EROS A1. Z celé plejády současných komerčních družic je se svými 240 kg tou nejlehčí. Z relativně nízké dráhy, jejíž výška je 480 km, družice pořizuje panchromatická data s rozlišením 1,8 m a velikost jedné scény je přibližně

12×12 km. Systém poskytuje data na komerční bázi, izraelské ministerstvo obrany však zakoupilo výlučná práva na veškerá obrazová data do vzdálenosti 2000 km od hranic státu Izrael.

S ohledem na prostorové rozlišení jsou data EROS vhodná pro práci v měřítku 1:25 000. Další družice tohoto systému budou postupně vypouštěny na oběžnou dráhu o výšce 600 km a budou pořizovat jak panchromatická, tak multispektrální data s rozlišením 0,8 m.

QuickBird

V minulosti se americká společnost EarthWatch neúspěšně pokoušela o vypuštění družic EarlyBird (1997) a QuickBird-1 (2000), které měly patřit k prvním komerčním systémům poskytujícím obrazová data s velmi vysokým rozlišením. Družice QuickBird-2, vypuštěná v říjnu 2001, je prvním úspěchem této společnosti, která se mezitím přejmenovala na Digital Globe. QuickBird-2 z oběžné dráhy ve výšce 450 km pořizuje panchromatická data s rozlišením 0,6 m (v nadiru) a multispektrální data s rozlišením 2,5 m. Data jsou vhodná pro práci v měřítku 1:25 000 a větším.

V budoucnu se počítá s vypuštěním družic nové generace. Celá konstelace označovaná M5 bude tvořena čtyřmi družicemi a bude pořizovat multispektrální data s rozlišením 5 m z území o šířce 185 km. První z družic by měla začít pracovat začátkem roku 2006, poslední pak v druhé polovině roku 2007.

Produkty ruských družic

Ruské družice RESURS-F jsou dnes vypouštěné podle požadavků a finančních možností zákazníků. Záznam obrazu se provádí na film, skenování a distribuci dat zabezpečují západoevropské a americké soukromé společnosti. Data RESURS-F1 z kamery KFA-1000 mají rozlišení 5 až 8 m, RESURS-F2 z kamery MK-4 rozlišení 8 až 12 m, RESURS-F3 z kamery KFA-3000 rozlišení 2 až 5 m. Lze využívat i snímky z archívu bývalého SSSR.

Družice KOSMOS provozované skupinou SPIN-2 poskytují dva druhy dat. První jsou fotografie pořízené kamerou TK-350, s rozlišením 10 m, druhé pořízené kamerou KVR-1000 s rozlišením 2 až 3 m. Lze sestavovat dvojice pro stereoskopické vyhodnocení a zvětšovat data až do měřítka 1:10 000.

2.2. Radarové systémy

RADARSAT

První družicí kanadského programu RADARSAT International je družice RADARSAT 1, která byla vypuštěna v roce 1995. Pořizuje radarová data v sedmi různých módech, které se liší šířkou záběru i rozlišením. V závislosti na nastavení systému se šířka záběru mění od 45 do 500 km a data mohou být pořizována v rozlišení od 8 do 100 m. Data pořízená v módu Fine jsou vhodná pro práci v měřítku 1:50 000.

Mód	Úhel pohledu	Rozlišení	Šířka záběru
Fine	37 - 47	8	45
Standard	20 - 49	30	100
Wide	20 - 45	30	150
ScanSAR Narrow	20 - 49	50	300
ScanSAR Wide	20 - 49	100	500
Extended (H)	52 - 58	18 - 27	75
Extended (L)	10 - 22	30	170
	[°]	[m]	[km]

Tabulka 1.

Módy snímání družice RADARSAT 1.

Na rok 2003 je připravováno vypuštění družice RADARSAT 2, která bude pořizovat radarová data již ve dvanácti módech, ale především přinese zlepšení rozlišení dat až na 3 m.

ERS

Provozovatelem systému ERS je Evropská kosmická agentura ESA a první družice ERS-1 byla uvedena na oběžnou dráhu v roce 1991. Pohybuje se ve výšce 785 km a pořizuje radarová data s rozlišením až 12,5 m z pásu území širokého 100 km. V roce 1995 byla vypuštěna družice ERS-2, která po určitou dobu pracovala v tandemu s ERS-1 a pořizovala interferometrická data. Od března 2000 je v činnosti pouze družice ERS-2. Vzhledem k prostorovému rozlišení jsou data ERS vhodná pro práci v měřítku 1:200 000.

Pokračováním programu je družice ENVISAT, vypuštěná v březnu 2002. Pohybuje se ve výšce 785 km a nese celý soubor vědeckých přístrojů. Z nich například ASAR

(*Advanced Synthetic Aperture Radar*) je shodný s radarem na ERS-1 a ERS-2 nebo RA-2 (*Radar Altimeter*) je vylepšenou verzí radarového altimetru z ERS-2.

3. METODY EXTRAKCE PRVKŮ

Extrakce prvků pro naplňování nebo aktualizaci geografických databází je často časově nejnáročnějším a nejnákladnějším krokem celé technologie. Proto je nutné brát ohled na charakter extrahovaných prvků, požadovanou přesnost, měřítko finálního produktu, dostupnou techniku a personál, časový termín a další faktory, které mají přímý vliv na volbu konkrétní techniky nebo metody extrakce.

3.1. Vizuální interpretace

V minulosti se prováděla výhradně manuální interpretace analogových snímků označovaná také jako fotointerpretace. Používané postupy neměly téměř žádné nároky na speciální vybavení. Byl to poměrně subjektivní proces, který byl vzhledem k možnostem vyhodnocovatele omezen na jeden snímek. S nástupem využívání elektronického získávání obrazových dat byly vyvinuty digitální metody zpracování obrazu, objevily se automatizované postupy, které umožnily provádět objektivnější analýzy, zpracovávat data pořízená ve více spektrálních pásmech a pokrývajících velké části zemského povrchu.

Cílem vizuální interpretace je najít a rozpoznat objekty na snímcích nebo obrazových datech a extrahovat je pro účely dalšího zpracování. Zjišťování těchto objektů se provádí prostřednictvím porovnávání rozdílů mezi různými objekty nebo mezi objekty a jejich pozadím, porovnáváním jejich odstínu, velikosti, tvaru, vzoru, textury, stínu a vzájemných vztahů a souvislostí.

V procesu fotointerpretace lze z obrazových dat vyhodnotit vodní toky a vodní plochy, silnice, železnice, obrys a základní strukturu sídel, hranice lesních celků apod.. Z energetických vedení lze vyhodnotit většinou pouze průběh velmi vysokého napětí, a to v datech s vysokým prostorovým rozlišením a v případech, že jsou v terénu rozeznatelné stožáry. Tato vedení lze rozeznat i v případech, kdy jsou vedena průsekem lesního porostu. Průběh ostatních produktovodů je možné zjistit rovněž v případě průběhu lesním průsekem anebo u nově vybudovaných tras podle čerstvě zasypaných výkopů. Hranice nelze v datech vyhodnotit kromě případů, kdy je jejich průběh znatelný díky lesním průsekům nebo evidentnímu rozhraní mezi zemědělskými kulturami.

Pomocí digitálních postupů lze při interpretaci docílit přesnosti jednoho pixelu. Výsledná polohová přesnost extrahovaných prvků pak závisí na prostorovém rozlišení obrazových dat a na jejich polohové přesnosti. Významným faktorem je samozřejmě rovněž zkušenost a pečlivost samotného vyhodnocovatele.

3.2. Fotogrammetrické vyhodnocení

Jednosnímková metoda je jednodušší metoda vyhodnocování obsahu obrazových dat. Je založena na postupném vyhodnocování daného území s využitím jednotlivých snímků. Aby bylo možné ze snímku vyhodnocovat prvky již přímo v určitém souřadnicovém systému, je nezbytné, aby snímek byl nejprve ortorektifikován. Pomocí ortorektifikace je možné snímek nejen transformovat do daného souřadnicového systému, ale také odstranit polohové chyby způsobené vlivem geometrie snímání a měnící se výšky terénu. Vzhledem k tomu, že na samostatném snímku lze měřit jen rovinné souřadnice, je použití této metody omezeno na určování polohy objektu pouze v rovinných souřadnicích.

Dvousnímková nebo také stereoskopická metoda je založena na vytváření a postupném prostorovém vyhodnocování snímkových stereodvojic (modelů) a vedle rovinných souřadnic daného souřadnicového systému lze určovat i třetí rozměr, to znamená, že je možné vyhodnocovat výškopis, vytvářet digitální modely terénu apod.

3.3. Klasifikace

Klasifikace multispektrálních dat je často posledním krokem při zpracování družicových dat. Její výsledky mohou sloužit jako konečný produkt nebo mohou být použity jako podklad pro tvorbu dalších dat. Cílem klasifikace je na základě dat pořízených v několika spektrálních pásmech najít takzvané informační třídy. Jednotlivé pixely pak již nenesou informaci spektrální, tedy například hodnotu jasu, ale svojí barvou označují příslušnost k určité kategorii, která může označovat druh využití půdy, typ plodiny nebo zdravotní stav porostu. Existují dva základní typy klasifikace - řízená a neřízená.

Při řízené klasifikaci jsou nejprve stanoveny vlastnosti jednotlivých informačních tříd, které se mají v obraze vyhledat, a to ve formě tzv. trénovacích ploch. Pro každou třídu jsou vygenerovány statistické charakteristiky spektrálních příznaků. S nimi jsou postupně porovnávány všechny pixely obrazu a v závislosti na zvoleném klasifikátoru zařazovány do jednotlivých informačních tříd.

Při neřízené klasifikaci jsou nejprve všechny pixely rozříděny do předem stanoveného počtu tříd. K tomu se většinou využívá metoda shlukové analýzy. Následně se provádí identifikace vytvořených tříd. Výsledky klasifikace slouží k získání tematických informací o daném území nebo mohou být použity jako podklad pro aktualizaci map a prostorových databází.

Kromě uvedených základních typů klasifikace se používá také klasifikace hybridní, subpixelová, expertní a objektově orientovaná.

Hybridní klasifikace kombinuje jednotlivé etapy řízené a neřízené klasifikace, protože oba tyto typy mají své výhody i nevýhody. Pomocí subpixelové klasifikace lze klasifikovat objekty menší než je prostorová rozlišovací schopnost dat, identifikovat specifické materiály v rámci jednoho pixelu nebo detekovat materiály podílející se na hodnotě pixelu pouhými 20%. Expertní klasifikace využívá přístupu založeného na pravidlech, která jsou vytvořena experty na určitou oblast nebo obor a později přenositelná na další data. Tento typ klasifikace slouží kromě vlastní klasifikace také pro provádění postklasifikačních úprav dat nebo pokročilé prostorové modelování. Objektově orientovaná klasifikace je pak založena na myšlence, že důležité sémantické informace nezbytné pro interpretaci obrazu nejsou uloženy v jednotlivých pixelech, ale v objektech tohoto obrazu a jejich vzájemných vztazích. Tento typ klasifikace pracuje se segmentací, fuzzy logikou apod.

Pomocí klasifikace lze v multispektrálních datech z prvků požadovaných pro aktualizaci geografických databází nalézt, zvýraznit a extrahovat spektrálně homogenní plochy, tedy například široké vodní toky, vodní plochy, lesní celky, louky, pole apod. Přesnost extrahovaných prvků záleží na prostorovém rozlišení a polohové přesnosti obrazových dat a také na schopnostech vyhodnocovatele. V případě klasifikace je kromě přesnosti důležitým faktorem rovněž správnost určení informačních tříd. Ta je závislá rovněž na kvalitách vyhodnocovatele, ale také na možnostech použitého programu a jeho nástrojích a na spektrálním rozlišení použitých obrazových dat.

4. ZÁVĚR

Při posuzování perspektiv rozvoje využívání družicových dat lze v současnosti vysledovat některé základní trendy ve vývoji systémů pořizujících data, trendy ve vývoji samotných dat a trendy ve vývoji aplikací nebo zpracovatelských systémů, které používají pořízená data k vytváření speciálních produktů nebo data upravují pro další zpracování.

V oblasti systémů pořizujících data se projevuje trend k používání menších, lehčích a zejména mnohem lacinějších nosičů sensorů. V oblasti družicových nosičů se začínají používat stále menší družice, které jsou na rozdíl od minulosti většinou jednoúčelové, tedy nejsou určeny k plnění několika různých úkolů. Především jsou však vypouštěny na nižší oběžné dráhy, což má za následek kratší životnost, ale na druhé straně větší geometrické rozlišení dat. Jsou rovněž voleny i různé konstelace družic, umožňující kontinuální monitorování určitých částí zemského povrchu a tedy i pořizování tzv. multitemporálních dat. Kromě družicových nosičů se do budoucna počítá s větším využíváním bezpilotních prostředků, jejichž vývoj v současné době probíhá.

Vývojem prochází i pořizování dat z leteckých nosičů. Rozvíjejí se způsoby snímání dříve používané výhradně z oběžné dráhy, používají se systémy pracující s větší přesností, spolehlivostí a se stále větším stupněm automatizace. Pro letecké snímání se k zajištění informací o přesné poloze komory nebo jiného senzoru v okamžiku pořízení dat stále častěji používají údaje z přijímačů GPS a inerciálního navigačního systému. Data zobrazující zemský povrch budou v budoucnu stále častěji pořizována primárně již jako digitální.

V oblasti dat pořizovaných z družicových nosičů je současným trendem posun geometrického rozlišení do submetrové oblasti u panchromatických dat a metrové oblasti u multispektrálních dat. Příkladem mohou být družice IKONOS, EROS nebo QuickBird. Začíná se více prosazovat pořizování hyperspektrálních dat, a to i z družicových nosičů. U leteckých nosičů je trendem stále se rozšiřující využívání různých druhů dat, tedy kromě optických i laserových a radarových.

V oblasti aplikací pro práci s družicovými daty se projevuje trend vývoje stále dokonalejších a výkonnějších programů, které jsou schopny zabezpečit zpracování dat od nejzákladnějších úprav a zvýraznění, přes georeferencování až po provádění komplexních analýz a tvorbu grafických výstupů. Mnohé aplikace jsou schopné provádět automatickou extrakci určitých prvků nebo tuto extrakci uživateli alespoň v maximální míře usnadnit. V budoucnu se stupeň automatizace uvedených činností bude jistě dále zvyšovat.

Autor:

mjr. Ing. Vladimír Kovařík, MSc.

Katedra vojenských informací o území

Vojenská akademie v Brně, Česká republika

vladimir.kovarik@vabo.cz