

14. DIAĽKOVÝ PRIESKUM ZEME

14.1 Vznik diaľkového prieskumu Zeme

Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) je pôvodne vojenská disciplína na vykonávanie špionáže najvyspelejšími technickými prostriedkami. Civilné využitie DPZ je v rade vedeckých i technických odborov, ktoré súvisia s prírodou. DPZ sa vyvinul z vojenskej disciplíny – prieskumu.



Obr. 14.1. Montáž prieskumných leteckých snímok

Moderné základy technického spôsobu zberu informácií môžeme nájsť v prieskume vedenom vojenskými balónmi nad bojiskami minulého storočia. Tento technický vynález umožnil nasadením balónov a vzducholodí získať prehľad o situácii a tak prinášať správy z frontu. Prvá balónová vojenská jednotka vznikla vo Francúzsku v roku 1794. Prvé snímky mesta Paríž z výšky vykonal v roku 1858 Felix Tournachon, nazvaný Nadar z pripútaného balóna (obr. 14.2).



Obr. 14.2. Fotografovanie z balóna

Ďalším významným zlomom v dejinách prieskumu bol vynález lietadla. V roku 1910 vykonal prvý vojenský letecký prieskum Francúz Marconnet. Lietadlá mohli sledovať pohyb vojsk už pred tým, než boli nasadené do bojov. Ihneď boli dostupné aktuálne obrazové informácie o situácii na bojisku, ale tiež aj o nových vojenských technických prostriedkoch. Prieskum bol vlastne prvým dôvodom nasadenia letectva v I. svetovej vojne. Z nápadu vyfotografovať bojisko sa zrodil diaľkový prieskum. Podľa vtedajšej terminológie, sa tento spôsob zberu informácií nazýval leteckým prieskumom.

Po prvej svetovej vojne nastúpilo obdobie využívania leteckých snímok. Boli skonštruované výkonné fotogrametrické vyhodnocovacie prístroje a boli vyvinuté technológie vyhodnocovania leteckých snímok za účelom vyhotovenia máp. Išlo o nástup využitia leteckých snímok v kartografii.

Významný pokrok v DPZ bol dosiahnutý opäť v ťažkej historickej etape, počas II. svetovej vojny. Zvýšenie účinnosti prieskumu bolo docielené v snímkaní na fotomateriály citlivé na infračervené žiarenie, ktoré odhalilo celý rad objektov zamaskovaných tak dokonale, že vo viditeľnom svetle neboli z lietadiel pozorovateľné. Prezradili ich totiž odlišné tepelné vlastnosti objektov umelo zasadených do prírodného prostredia. Boli urobené tiež prvé kroky k využitiu radarov na získanie snímok.

Pravidelné využívanie radarového snímkovania bolo dosiahnuté až krátko po vojne. Významnou zmenou bolo vypustenie umelých družíc a ich prieskumné nasadenie. Projekty prvých družíc boli vytvorené už na konci II. svetovej vojny, o ich realizácii sa však definitívne rozhodlo v roku 1955, keď vtedy prebiehajúce preteky v zbrojení neviedli k dosiahnutiu vojenskej prevahy USA.

K systematickému vyhotovovaniu kvalitných snímok na obežnej dráhe bolo potrebné uvažovať s ich transportom na Zem. Experimentovalo sa s technikou na prepravu dát na Zem. Výsledkom experimentov bol vývoj zariadení na záznam obrazu na princípe fotografických kamier a na fyzikálnych základoch pomocou rádiometrov. Snímky a ostatné údaje sú pri použití rádiometrov od začiatku v digitálnej forme, čo dovoľuje veľmi pohodlne prenášať, analyzovať a archivovať dáta. Pre lepšiu kvalitu obrazu však doteraz nachádzajú uplatnenie i klasické meračské kamery so špeciálnymi fotografickými materiálmi.

Zhotovovanie snímok a ďalších dát pomocou špeciálnych prístrojov z palúb lietadiel a družíc, ich spracovanie a využitie sa postupne začalo súhrne nazývať „diaľkové snímanie“, podľa anglického prekladu „remote sensing“. U nás sa pre tento druh činností používa názov „diaľkový prieskum Zeme“.

V roku 1960 bola vypustená prvá americká meteorologická družica, v roku 1972 družica Zeme ERS 1, ktorá mala zistiť stav globálnych zásob prírodného bohatstva a zaznamenať zásahy ľudskej činnosti na životné prostredie. Civilní užívatelia sa k nasadeniu DPZ do praxe dostali okolo roku 1980. V tej dobe bolo na obežnú dráhu vypustených niekoľko družíc, vybavených prístrojmi konštruovanými na vedecké využitie. Do tejto skupiny patrí napr. americký Landsat 5 (štart 1984), francúzsky SPOT 1 (1986) a ďalšie. Väčšina vypustených satelitov slúži dodnes.

Nový, veľmi silný zdroj informácií, ktorý poskytuje DPZ dnes intenzívne využívajú napr. ekológovia, poľnohospodárski inžinieri, oceánografi, geológovia, kartografi a ďalší odborníci, ktorí sa zaoberajú výskumom našej planéty, výnosmi poľnohospodárskych plodín, vyhľadávaním nerastov a pod. Okrem toho stále existuje tiež vojenské využitie DPZ, ktoré nemusí byť nutne vojnového charakteru a nemusí prinášať len ďalšie výdavky na zbrojenie. Dáta DPZ sa využívajú tiež v geografických informačných systémoch.

14.2 Diaľkový prieskum Zeme

DPZ je metóda získavania informácií o určitom záujmovom priestore jeho pozorovaním bez priameho kontaktu s pozorovaným predmetom alebo javom. Pozorovanie a meranie sa môže uskutočniť z veľkej výšky, ako aj z terestrického stanoviska. Vychádza z poznatku, že žiarenie po kontakte s akýmkoľvek objektom odráža do priestoru informácie o ňom. Smer žiarenia, ktoré

prichádza k pozorovateľovi dáva informácie o polohe, farba o vlastnostiach sledovaného objektu. Tieto vlastnosti môžeme tiež kvantifikovať, analyzovať a využívať.

V DPZ sa na získavanie dát využívajú snímacie aparatúry inštalované v lietadlách a umelých družiciach Zeme. Podľa umiestnenia snímacej aparatúry na nosiči, sa DPZ delí na letecký a kozmický. Niektoré typy aparatúr na lietadlách a na družiciach sú dokonca zhodné. Obe oblasti majú spoločné to, že vyžadované dáta sa získajú snímaním zemského povrchu z veľkých výšok. Výška letu určuje rozsah snímaného územia, geometrické a rádiometrické vlastnosti a časovú dostupnosť požadovaných dát. Pre rozlišovaciu schopnosť to dnes už neplatí, pretože novšie satelity sú vybavené zariadeniami s porovnateľnou rozlišovacou schopnosťou akú majú zariadenia na leteckých nosičoch.

Rozdiely sú v princípe snímania dát. Získavanie informácií sa deje vždy s pomocou elektromagnetického žiarenia, ktoré sa v odbornej terminológii volá radiácia. Z tohoto dôvodu sa prístroje určené k jej meraniu nazývajú rádiometre.

Vlastnosti zemského povrchu sa navonok prejavujú viacerými spôsobmi – elektrickou vodivosťou, obsahom vody, absorpciou žiarenia určitých vlnových dĺžok a pod. V bežných prípadoch sa vlastnosti objektov určujú pomocou priameho kontaktu s nimi. Rádiometre merajú intenzitu emitovaného alebo odrazeného žiarenia, prevádzajú ju na elektrický signál a ten sa potom zaznamenáva v podobe digitálnych dát. Z vhodne organizovaných dát je možné rekonštruovať obraz zemského povrchu, ktorý vypovedá o javoch, ktoré rádiometer zaznamenal. Na prenos dát na Zem slúži prenosová aparatúra umiestnená priamo na satelite, sieť prijímacích staníc rozmiestnená pokiaľ možno rovnomerne na zemskom povrchu. Pri prelete nad týmito stanicami sú dáta posielané na Zem. Po ich prijíme pozemná obsluha zaistí prevod dát do vhodného formátu pre užívateľa. Úlohou vyhotoviteľa dát je ich distribúcia k užívateľom prostredníctvom komerčných organizácií.

Užívatelia dostávajú dáta DPZ spravidla vo forme digitálnych snímok. Nutným predpokladom k ich úplnému využitiu je programové vybavenie. S jeho pomocou užívateľ vizualizuje a analyzuje obsah snímok pre svoje potreby. Výsledkom konečného spracovania býva napríklad aktuálna mapa stavu porastov, číselné informácie o predpovedi úrody jednotlivých plodín, fotomapy väčších územných celkov, detekcia zmien topografie terénu pre potreby ekológie a mapovania, obrazová vrstva geografických informačných systémov, urbanistická štúdia krajiny a sídiel a mnoho ďalších aplikácií.

14.3 Nosiče aparatúr

Úlohou nosiča aparatúry je dopraviť prístrojové vybavenie na miesto, z ktorého je potrebné snímať zemský povrch. Súčasťou letu je navigácia nosiča a presné nasmerovanie aparatúry na cieľový priestor. Závažný problém predstavuje navigácia v beztiažovom stave.

Pre zber dát DPZ sa využívajú lietadlá alebo umelé družice Zeme so špeciálnymi aparatúrami na palube. Každý z týchto dopravných prostriedkov vyžaduje špecifické zabezpečenie a vybavenie. Z tohoto pohľadu je významný rozdiel medzi leteckým a kozmickým DPZ a preto je nutné venovať sa oddelene leteckým nosičom a umelým družiciam.

14.3.1 Letecké nosiče

Okrem lietadiel sa niekedy k realizácii menších úloh DPZ využívajú tiež vrtuľníky, balóny a prípadne aj špeciálne plošiny. K záznamu obrazu potom spravidla slúži kvalitný fotoaparát so zvláštnou emulziou citlivou na určitú oblasť žiarenia.

K leteckému DPZ sa využívajú predovšetkým ľahšie, ale stabilné lietadlá s dobrou stúpavosťou. Spravidla sú to menšie dvojmotorové dopravné lietadlá, ktoré majú stabilný let (AN30). Dôvodom, prečo je u leteckých nosičov vyžadovaná vysoká stabilita letu, je požiadavka dodržania geometrických podmienok snímokovania v určitých pomerne prísnych toleranciách. Náhodné pohyby lietadla spôsobené vetrom a ďalšími vplyvmi vnášajú do snímania dát nežiadúce a obtiažne postrehnuteľné

chyby. Aparatúry sú podľa potreby vybavené gyroskopickou stabilizáciou a ďalšími prostriedkami k výpočtovej alebo priamej eliminácii geometrických chýb z pohybu nosiča. Lietadlá nasadené do DPZ musia okrem dostatočnej stability spĺňať i ďalšie veľmi prísne technické požiadavky, ako je minimálna a maximálna rýchlosť, dostup a dolet ako i vybavenie pretlakovou kabínou pre snímkovanie vo výškach nad 3000 m, kde je toto vybavenie povinné.

Pre snímkovanie sa vyžaduje nižšia rýchlosť, umožňujúca synchronizovať pohyb lietadla s prácou prístrojov. Výška letu ovplyvňuje tzv. geometrickú rozlišovaciu schopnosť snímok a ich mierku. Lietadlá musia byť upravené pre inštaláciu snímacích aparatúr. Väčšinou sa prístroje umiestňujú v podlahe nosiča. Na snímkovanie sa využívajú tiež špeciálne radary. Na ich inštaláciu sa často volí miesto v prednej alebo zadnej časti trupu, pod špeciálnym plastovým krytom. Podľa typu sú letecké nosiče schopné plniť letové úlohy 2 až 6 hodín.

14.3.2 Organizácia snímkového letu

Pre každý snímkovací let sa vyhotovuje letový plán (kap. 9.2.5).

Navedenie nosiča do jednotlivých priestorov snímkovania sa vykonáva bežnými navigačnými postupmi. K ním sa popri klasickej navigácii podľa mapy riadi tiež navádzanie pomocou prostriedkov GPS. Navigačné systémy založené na technológii GPS umožňujú radarové snímkovanie za zníženej viditeľnosti, v hustej oblačnosti a aj v noci.

Po skončení letu sa spracovávajú filmy z kamier a záznamy s dátami skenera alebo radara. Filmy sa čo najskôr vyvolávajú a kontroluje sa ich kvalita. Potom sa vyrábajú tzv. odvođeniny (kópie) získaných snímok, aby originály boli bezpečne archivované.

Záznamy s dátami elektronických aparatúr sa spracovávajú na počítačovom pracovisku. Tu zo zaznamenaného signálu vzniká kvalitný obraz, odfiltrovaný od prípadných vonkajších vplyvov (šum aparatúry, náklony a vibrácie lietadla a pod.).

14.3.3 Umelé družice Zeme

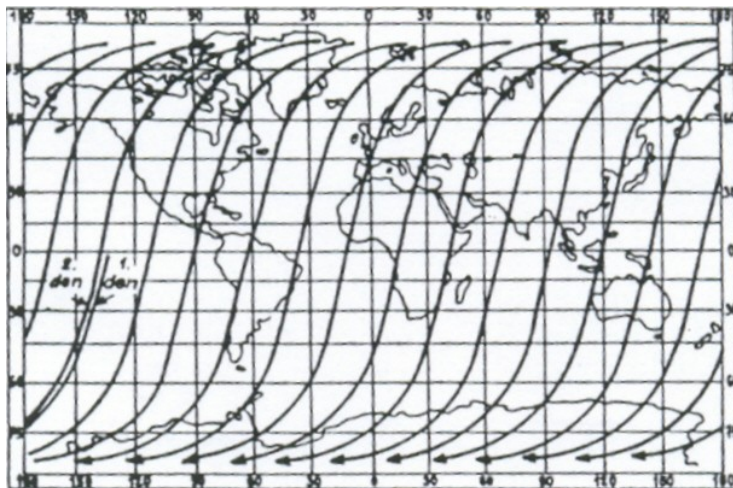
Vyslanie prvého umelého satelitu na obežnú dráhu okolo Zeme znamenalo v krátkej dobe revolúciu v oblasti zberu dát pre DPZ. S ohľadom na nutnosť dostať na Zem dáta v podobe rádiového signálu boli vyvinuté elektronické družicové systémy pre zber dát. Sú to radarové systémy pre oblasť rádiových vln a skenery pre optickú oblasť elektromagnetického spektra. Obe skupiny prístrojov sa súhrnne nazývajú rádiometre. Klasické meračské kamery s fotomateriálmi sa v kozmickom DPZ požívajú menej. Rusko vysiela na obežnú dráhu satelity série KOSMOS s klasickými fotografickými kamerami. Ich činnosť trvá zhruba 3 týždne a potom sa vracajú na zem s exponovaným materiálom. Dôvodom využívania fotomateriálu je jeho vysoká geometrická rozlišovacia schopnosť, dovoľujúca zachytenie veľmi jemných detailov zemského povrchu. Naproti tomu rádiometre ponúkajú vysokú spektrálnu citlivosť a digitálnu formu obrazu. Geometrické rozlíšenie rádiometrov sa veľmi blíži k hranici dosiahnuteľnej klasickými fotomateriálmi.

V podmienkach dlhotrvajúceho kozmického letu je dôležitá navigácia. Znamená to zvoliť pre daný účel najvhodnejšiu obežnú dráhu a vybaviť satelit systémom veľmi presnej priestorovej orientácie. Oba faktory sú pre družice orientované na DPZ mimoriadne dôležité.

Základnou požiadavkou na dáta DPZ je ich spoľahlivá porovnateľnosť so zisteným etalónom. Vzájomná porovnateľnosť dát napr. umožňuje sledovať časový vývoj určitého javu, vývoj objektu na zemskom povrchu. Pri voľbe dráhy satelitu sa berú do úvahy tri základné požiadavky:

- rádiometrická porovnateľnosť dát, vyžadujúca snímkovanie za štandardného osvetlenia,
- geometrická kvalita umožňujúca presnú lokalizáciu objektu,
- opakovateľnosť meraní v určitom dostatočne krátkom cykle.

Základnou požiadavkou je, aby bola splnená podmienka geometrickej a rádiometrickej porovnateľnosti získaných snímok. Preto je potrebné voliť dráhu družice tak, aby sa čo najmenej menili geometrické a svetelné podmienky pri snímaní obrazu zemského povrchu. K dodržaniu geometrickej stability obrazu najlepšie slúži dráha, na ktorej sa pokiaľ možno nemení vzdialenosť družice od zemského povrchu, teda dráha svojím tvarom blízka kružnici. Takáto dráha sa nazýva „cirkulárna“. Je snahou zaistiť pozorovanie pokiaľ možno akéhokoľvek miesta na zemskom povrchu. Zaisťuje sa to navedením družice na tzv. „polárnu dráhu“. Táto dráha pretína rovník zhruba pod pravým uhlom a prechádza obidvoma zemskými pólmi.



Obr. 14.3. Dráhy letu družice

Aby bola zaistená opakovateľnosť meraní, je potrebné obbeh satelitov synchronizovať s rotáciou Zeme. Do zorného poľa aparatury sa vojde len úzky pás zemského povrchu a pri ďalšom oblete sa satelit pohybuje už nad inými miestami, pretože predtým prelietnutý povrch sa vplyvom zemskej rotácie posunie o stovky kilometrov smerom na východ. Voľbou vhodnej výšky sa však dá ovplyvniť obežná dráha družice tak, aby sa v určitom cykle v zornom poli rádiometra objavil celý zemský povrch. Tento cyklus sa nazýva „opakovateľnosť merania“ (obr. 14.3). Je potrebné zaistiť, aby pri každom prelete satelitu nad dennou stranou našej planéty boli dodržané čo najpresnejšie podmienky osvetlenia.

Dôležitou požiadavkou pri výbere dráhy je tiež výber vhodného uhla dráhy satelitu voči smeru k Slnku tak, aby uhol a intenzita osvetlenia zemského povrchu vyhovovali možnostiam snímacej aparatury. Najvhodnejšie pre spracovanie dát je, aby boli maximálne obmedzené tieň objektoov na zemskom povrchu, lebo pôsobia rušivo pri analýze dát. Preto sa dráha s ohľadom na nebeskú mechaniku vždy volí tak, aby na svojej dennej polovici dráhy prechádzala čo najbližšie spojnicou Zem – Slnko. Družica bude potom pri snímaní prelietavať nad oblasťami, kde je čas zhruba okolo 10 hodín dopoludnia.

Vybavenie satelitov

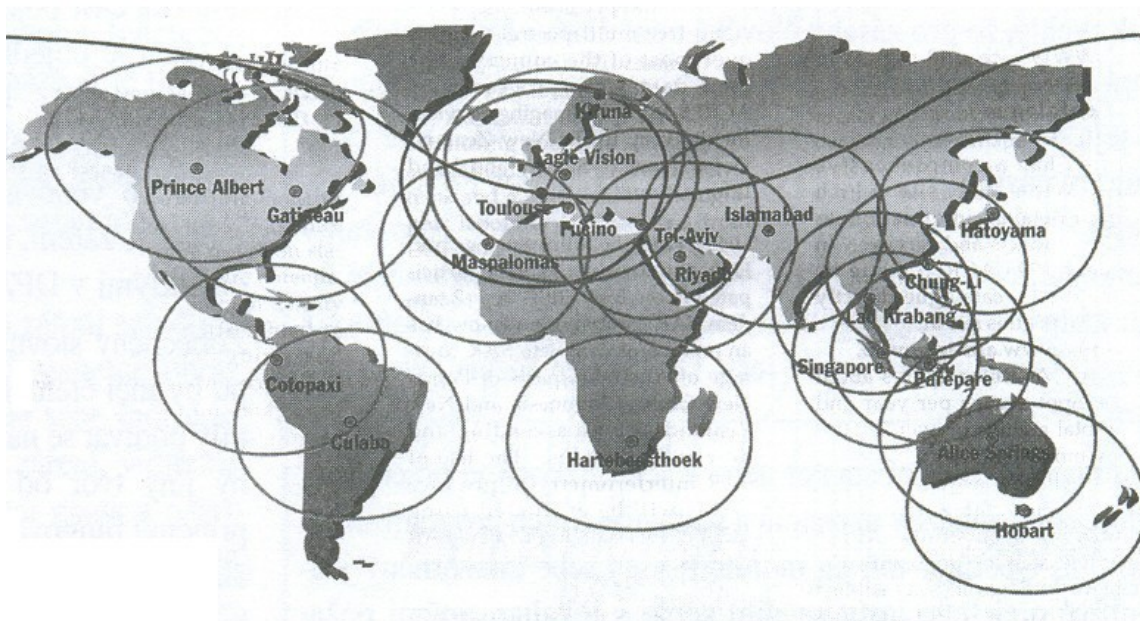
Jediným zdrojom energie na obežnej dráhe je slnečné žiarenie. K jeho zachyteniu a premene na elektrickú energiu slúžia panely slnečných batérií. Hlavným vybavením satelitov pre DPZ sú vedecké aparatury.

Riadiaci systém je veľmi výkonná pracovná stanica s nepretržite pracujúcim programovým vybavením. Má tri základné funkcie, ktorými sú:

- komunikácia s riadiacimi strediskami, prijímanie povelov a predávanie dát,
- koordinácia činnosti jednotlivých subsystémov,
- kontrola technického stavu celého vybavenia, diagnostika chýb a ich eliminácia programovými prostriedkami alebo pomocou povelov z hlavnej riadiacej stanice.

Priestorová orientácia satelitu musí byť udržiavaná s vysokou presnosťou. Ovládanie rotácie družice je zaistené pomocou trojosového gyroskopického stabilizátora.

Navigácia je zložitý problém v podmienkach kozmického letu družice. Súčasťou navigácie satelitov pre DPZ sú väčšinou len drobné korekcie dráhy vyrovňavajúce nepredvídateľné odchýlky. Tie vznikajú väčšinou vplyvom trenia o vrchné vrstvy zemskej atmosféry. Hlavnou navigačnou úlohou je naviesť snímaciu aparatúru na ciele zadané z pozemných riadiacich staníc (obr. 14.4).



Obr. 14.4. Rozmiestnenie a dosah prijímacích staníc systému Spot. Riadiacou stanicou celého systému je pracovisko v Toulouse, Francúzsko

Pri navigácii sa postupuje v troch etapách:

- zistenie aktuálnej pozície a údajov o pohybe na základe dát pozemných staníc a palubného navigačného systému (využíva GPS),
- výpočet vzájomnej polohy satelitu a cieľov, určenie prvkov a opráv priestorovej orientácie satelitov podľa údajov navigácie,
- realizácia jednotlivých operácií v stanovených časoch.

Rovnako dôležitým krokom ako získavanie dát, je aj ich odoslanie na zem. K tomu slúžia komunikačné sekcie. Komunikačný systém je riadený počítačovým programom, ktorý synchronizuje získavanie dát a ich odoslanie na prijímaciu stanicu, nad ktorou práve satelit prelietava. Objem prenesených dát sa pri prelete pozemnej stanice počíta až na desiatky gigabytov v priebehu niekoľko málo minút.

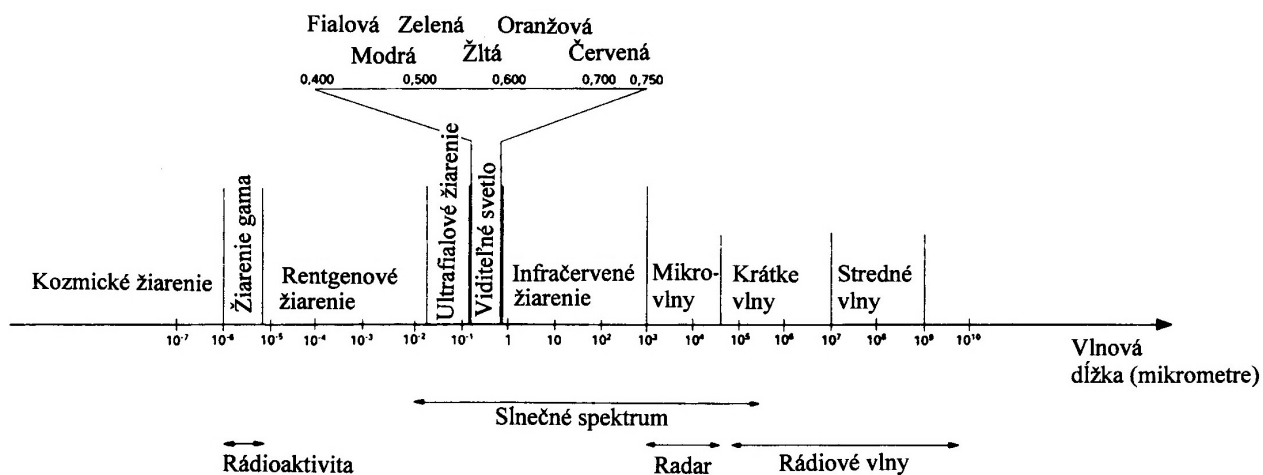
K zabezpečeniu komunikácie so satelitom sa ako pozemná súčasť celého komplexu zriaďuje sieť pozemných staníc. Jedna plní funkciu hlavného centra pre riadenie celého systému. Tu sa koordinuje činnosť celého systému, udržiava sa technický stav satelitu, sledujú sa parametre dráhy a pod. Ostatné stanice sú pomocné a slúžia predovšetkým k prijímaniu dát v oblastiach mimo dosahu hlavnej stanice.

Ku komunikácii s družicou musí mať pozemná stanica zaistenú priamu viditeľnosť. To znamená, že satelit sa musí objaviť nad miestnym horizontom. K prijímu dát je vymedzený čas asi 10 minút.

Pozemné stanice sú vybavené parabolickými anténami o priemere okolo 10 m a riadiacim počítačom, určeným ku komunikácii so satelitom. Tento počítač má v každom okamihu presné údaje o polohe družice. Oba segmenty – pozemný aj kozmický – vysielajú v čase a smere očakávaného spojenia signálu, v ktorom nastavujú parametre prenosu a začínajú komunikáciu. Celý prenos sa deje úplne automaticky. Na hlavnej pozemnej stanici sa zostavuje program snímkovania.

14.4 Fyzikálne základy získavania dát

Elektromagnetické žiarenie (ďalej len „žiarenie“) je prírodným médiom prenášajúcim informácie o predmetoch priestorom na veľké vzdialenosti. Tieto skutočnosti sú využité v DPZ k získavaniu informácií o objektoch na zemskom povrchu bez toho, že by sme zisťovali ich vlastnosti priamo na mieste ich výskytu. V DPZ sa dá z obrazu objektov odvodiť ich druh a vlastnosti. Hľadané informácie získavame analýzou žiarenia, odrazeného od objektov v sledovanom priestore a porovnávaním výsledkov so známymi údajmi.



Obr. 14.5. Prehľad jednotlivých druhov žiarenia elektromagnetického spektra

Žiarenie je jednou z foriem hmoty a jeho vonkajšie prejavy sa dajú charakterizovať ako prenos energie prostredníctvom elektromagnetického poľa, ktoré okolo seba vytvárajú hmotné objekty. Častice hmoty zodpovedné za transport elektromagnetickej energie sa volajú fotóny. Keď si všetky druhy elektromagnetického žiarenia zoradíme vedľa seba v závislosti na energii fotónov, dostaneme obraz elektromagnetického spektra (obr. 14.5). V ňom sa vedľa seba radia postupne rádiové vlny, mikrovlny, infračervené žiarenie, žiarenie gama a nakoniec tzv. kozmické žiarenie. Rozdielna energia fotónov z rôznych častí spektra je príčinou rozdielnych účinkov jednotlivých druhov žiarenia na častice hmoty. Pritom presne platí nepriama úmera, lebo fotóny vyšších energií majú kratšiu vlnovú dĺžku než fotóny s nižšou energiou.

Táto vlastnosť je veľmi dôležitá, pretože na nej závisí spôsob interakcie s hmotou. Tá je zdrojom informácií, lebo jej výsledkom sú ovplyvnené vlastnosti dopadajúceho žiarenia. Interakcia žiarenia s hmotou je tiež prostriedkom k registrácii informácií v prístrojoch.

Elektromagnetické spektrum je teoreticky súvislé. Vlnová dĺžka žiarenia sa plynulo mení z jedného konca spektra na druhý. Zdrojom elektromagnetického žiarenia je každé teleso s teplotou vyššou než tzv. „absolútna nula“ Kelvinovej stupnice.

Zdrojom žiarenia pre značnú časť DPZ je Slnko, vyžarujúce najviac v oblasti viditeľného svetla (vlnová dĺžka 0,550 mikrometrov). Tomu zodpovedá priemerná teplota žiarivého povrchu Slnka zhruba 6000°C .

Okrem tohoto, tzv. tepelného žiarenia existujú tiež fyzikálne princípy, ako donútiť hmotný objekt k vyžarovaniu elektromagnetickej energie netepelným spôsobom. Takéto vyžarovanie však nemá spojité spektrum, ako napr. Slnko. K jeho vyprovokovaniu sú potrebné napr. elektrické oscilácie na určitej frekvencii.

Väčšinu energie vyslanej do priestoru Zeme predstavuje odrazené slnečné žiarenie. Táto zložka žiarenia zemského povrchu má podobný charakter ako slnečné žiarenie. Slnečné spektrum je však silne zmenené interakciou s povrchom našej planéty. Uvedený účinok žiarenia na iné častice hmoty je využitý ku konštrukcii rádiometrov. Nazýva sa fotoelektrický jav a prejavuje sa tým, že žiarenie dopadajúce na niektoré citlivé materiály v nich vyvoláva merateľné elektrické javy, spôsobené uvoľnením elektrónov z atómov. Účinok je tým silnejší, čím silnejšie a dlhšie bolo ožiarenie materiálu.

Týmto materiálom môže byť napr. kremík, germánium a niektoré ďalšie materiály, ktoré sa využívajú na konštrukciu detektorov žiarenia.

Rôzne detektory sú podľa použitého materiálu citlivé na žiarenie v rozsahu vlnovej dĺžky asi od 0,3 do 40 mikrometrov. V rámci tohoto obmedzenia má každý typ detektora svoj určitý interval citlivosti. Rádiometre poskytujú výstup vo forme digitálnej snímky.

O niečo staršou formou záznamu obrazu sú fotografické postupy, kde sa obraz pôsobením svetla zaznamenáva do citlivej vrstvy v podobe chemických zmien, ktoré sú potom zviditeľnené a ustálené chemickým spracovaním. Fotografickými postupmi získavame dáta v analógovej forme. Nič však nebráni ich prípadnej neskoršej digitalizácii pri pozemnom spracovaní za použitia v podstate rovnakého prostriedku ako je rádiometer a to skenera.

Prejavy vlastností hmotných objektov v elektromagnetickom spektre

Výsledkom interakcie žiarenia s hmotou sú stopy zanechané v spektre ožiareného objektu, s ktorým žiarenie spolupôsobilo. Tým sa žiarenie stáva bohatým zdrojom informácií o tomto objekte. Výsledkom interakcie bude zmena zloženia žiarenia, z ktorej sa dá odvodiť vlastnosť objektu. Ovplyvňujú to dva vzájomne sa prekrývajúce faktory – chemické zloženie a optické javy.

1) Chemické zloženie hmotného objektu

Každý chemický prvok i každá zlúčenina sa pri interakcii s elektromagnetickým žiarením prejaví špecifickým súborom spektrálnych čiar. Jeho podoba súvisí so štruktúrou vrchných vrstiev elektronového obalu atómu alebo molekúl spolupôsobiacej látky. Zároveň sa do spektrálnych čiar premietajú niektoré ďalšie fyzikálne vlastnosti objektov. Preto je možné analyzovať na diaľku celý rad vlastností hmotných objektov rozborom žiarenia, ktoré samé vysielajú alebo ktoré odrážajú.

2) Optické vlastnosti hmotného objektu

Pri dopade elektromagnetického žiarenia na objekt môžu nastať rôzne optické javy. Prvým z nich je odraz žiarenia späť do priestoru. Druhou možnosťou je naopak pohltenie žiarenia. Za tretie môže dôjsť k prechodu žiarenia hmotným objektom alebo aspoň jeho preniknutie do určitej hĺbky.

Všetky vplyvy pôsobia vždy spoločne. Každý hmotný objekt má svoje chemické zloženie a jeho hmota je vždy určitým optickým prostredím. Určitá časť žiarenia sa odrazí späť do priestoru a so sebou odnáša informácie o hmotnom objekte, s ktorým spolupôsobilo. Táto informácia sa dá zobraziť formou spektra objektu obsahujúceho tmavé a jasné spektrálne čiary vypovedajúce o zložení a fyzikálnom stave tohoto objektu. Podľa nich je možné poznať, na akých vlnových dĺžkach sa dá objekt v danom fyzikálnom stave pozorovať.

14.4.1 Spektrálne pásma v DPZ

Hmotným objektom môže byť akékoľvek jednoduché teleso, ale tiež určitá oblasť na zemskom povrchu, vrátane jej atmosféry.

Experimentálne bolo preukázané, že určité podobné typy objektov na zemskom povrchu vykazujú určité rámcovo zhodné spektrálne vlastnosti, čo sa dá využiť ku zjednodušeniu konštrukcie prístroja. Každá zložka krajiny má svoje výrazné prejavy v určitej, pre ňu typickej oblasti spektra.

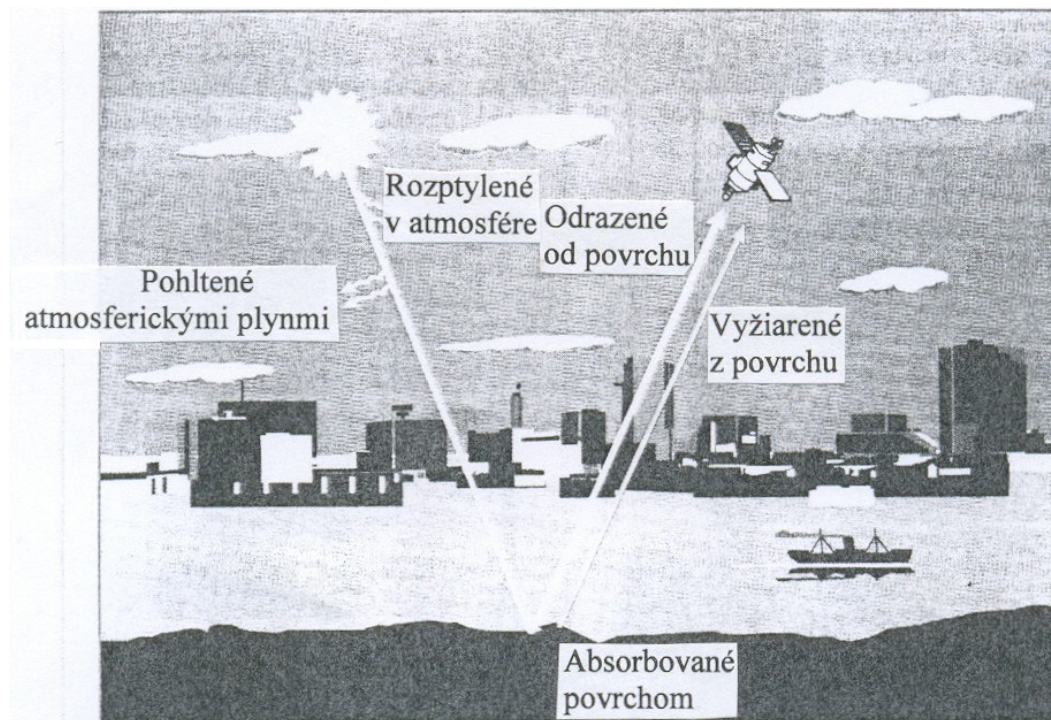
Aby nemuseli byť konštruované prístroje pre DPZ, ktoré by pracovali v celej šírke spektra s príliš vysokým spektrálnym rozlíšením, sú tieto oblasti spektra vopred vybrané a rozdelené do menších celkov, tzv. *spektrálnych pásiem*. Rozsah jednotlivých spektrálnych pásiem je na prístroji realizovaný pomocou optických filtrov a rozsahom citlivosti snímacej aparatúry nastaveným na určité rozmedzie vlnových dĺžok.

Pri snímkaní sa získavajú v jednotlivých spektrálnych pásmach čiernobiele obrazy. Tieto obrazy sa volajú *spektrálne kanály*. Väčšina dnes používaných prístrojov v DPZ má jeden až desať spektrálnych kanálov.

14.4.2 Model reálnych pozorovacích podmienok

Zdrojom elektromagnetického žiarenia je Slnko. Slnko je hmotným objektom s istými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami, má teda svoje vlastné, veľmi zložité spektrum. Slnčné svetlo sa svojou povahou blíži k ideálnemu zdroju žiarenia. Je to zdroj stabilný, aby ho bolo možné použiť k pozorovaniu.

Slnčné žiarenie dopadajúce na našu planétu prechádza veľmi komplikovaným prostredím – zemskou atmosférou, ktorou čiastočne prejde bez zmeny, čiastočne je pohltené, odrazené alebo rozptýlené. Z možnosti pozorovania zemského povrchu sú tak vylúčené celé veľké oblasti elektromagnetického spektra (obr. 14.6).



Obr. 14.6. Schematické znázornenie podmienok pozorovania zemského povrchu z umelých družíc

Na zemský povrch sa dostáva len časť slnečného žiarenia. Sú to tie oblasti elektromagnetického spektra, pre ktoré je zemská atmosféra dostatočne dobre prestupná. Zemský povrch je veľmi rôznorodý a každá jeho časť má svoje špecifické vlastnosti. Veľká časť prichádzajúceho žiarenia je pohltená. Výrazné spektrálne javy má vegetácia. Rôzne horniny majú rozdielnú schopnosť pohlcovať a vyžarovať najmä tepelné žiarenie. Takto pre každý nerast vzniká v infračervenej oblasti spektra určitá špecifická „farba“ prezrádzajúca nerastné zloženie povrchu bez porastu.

Po interakcii žiarenia atmosférou a zemským povrchom sa časť žiarenia odráža a postupuje smerom hore zemskou atmosférou. Po mnohých komplikovaných interakciách so zemskou atmosférou a povrchom je žiarenie zachytené rádiometrom v družici a transformované na informáciu.

14.5 Prístroje pre DPZ

Prístroje pre diaľkový prieskum Zeme sa dajú všeobecne rozdeliť na prístroje **zobrazujúce** a **nezobrazujúce**. Zobrazujúce sú všetky, i keď principiálne odlišné prístroje s obrazovým výstupom. Patria sem kamery a rádiometre. Zo získaných dát môžeme takmer okamžite zistiť informácie o zobrazených objektoch. Okrem toho existuje skupina nezobrazujúcich prístrojov zaznamenávajúcich javy a veličiny, ktoré sa nedajú ihneď jednoducho zobrazit'.

14.5.1 Nezobrazujúce prístroje

Túto skupinu tvoria prístroje, pre ktoré je charakteristické tzv. jednobodové meranie, t. zn., že merajú v danom okamihu jednu alebo viac veličín len na jednom mieste. Patria sem napr. altimetre merajúce s vysokou presnosťou výšku družice nad zemským povrchom a pri znalosti jej dráhy merajú výškový profil zemského povrchu po jednotlivých bodoch. Presnosť merania je niekoľko cm medzi stanovenou dvojicou vzťažných bodov na Zemi a na družici. Altimetrické merania produkujú presné informácie o gravitačných anomáliách. Tieto anomálie určia nepravidelnosti rozloženia hmôt vo vnútri zemského telesa.

Ďalšou nezobrazujúcou aparátúrou môže byť prístroj na magnetometrické merania, vyhodnocujúce po trase letu družice lokálne vlastnosti magnetického poľa Zeme. Zaznamenávajú sa len bodovo odmerané vlastnosti magnetického poľa Zeme vo vzťahu k polohe aparatúry v priestore.

Dáta z nezobrazujúcich prístrojov sa spravidla zbierajú dlhšiu dobu a výsledný obraz určitého javu sa vytvorí počítačovým spracovaním po mnohých preletoch družice nad celým sledovaným územím.

14.5.2 Zobrazujúce prístroje

Najdôležitejšou funkciou zobrazujúcich prístrojov je vytvorenie obrazu snímaného územia. Zobrazujúce aparatúry môžu doceliť vytvorenie obrazu (snímky) v zásade dvoma spôsobmi.

Optická projekcia. Žiarenie v optickej oblasti spektra (ultrafialové žiarenie, viditeľné svetlo a infračervené žiarenie) preniká pomerne dobre sklom, čo je nutná podmienka k zachyteniu žiarenia a vytvoreniu obrazu pomocou optického systému. Optický obraz vzniká ihneď po prechode objektívom zobrazujúceho prístroja v jeho ohniskovej rovine. Pri optickej projekcii existujú dva spôsoby záznamu obrazu. Starší je na fotografickú emulziu, novší spôsob je elektronický záznam obrazu.

Matematická analýza radarového signálu. Používa sa u radarového snímkovania, kde sa nedá vytvoriť obraz pomocou optického systému. K záznamu signálu mu postačí jediný detektor – anténa. V oblasti radarových vln (vlnová dĺžka okolo 1 mm až 1 m) má Zem slabé vyžarovanie. Prístroj si musí snímanú krajinu sám ožiariť vlastným silným impulzom žiarenia.

14.5.2.1 Kamery

Klasická kamera pre DPZ je podobná bežnému fotografickému aparátu. Kamera môže byť doplnená deličom lúčov, alebo viacerými objektívami s príslušnými filtermi. Býva doplnená pre rôzne spektrálne pásma. S využitím filtrov sa získavajú spravidla jednopásmové čiernobiely snímky. Bez filtrov je možné snímkať i farebne, na špeciálne fotografické materiály v 2 – 3 spektrálnych pásmach, z nich väčšinou aspoň jedno je infračervené. Zmyslom takejto fotografie je predovšetkým zviditeľniť na snímke očami neviditeľné informácie. Pri vyhotovovaní snímok fotografickými kamerami sa používajú špeciálne fotografické materiály: čiernobiely infračervený, farebný inverzný alebo negatívny a infračervený farebný, známy pod názvom spektrozónálny. Farebné zobrazenie predmetov je na tomto materiále zobrazené vo farbách odlišných od skutočnosti v tzv. nepravom farebnom podaní.

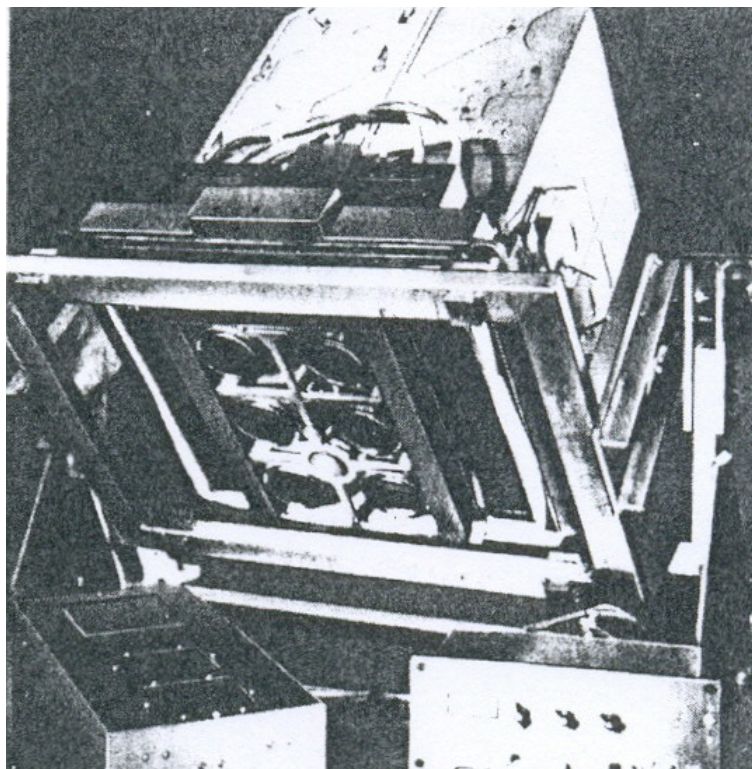
Ak má kamera získavať snímky vo viac ako troch spektrálnych pásmach naraz, musí sa použiť konštrukčne náročnejší systém. V kamere s viacerými objektívami (MKF-6 Zeiss, obr. 14.7) sa exponuje na čiernobiely film so širokým pásmom citlivosti tak, že každý objektív má iný filter a na filme svoje exponované pole. Jedinou expozíciou tak vznikne na rovnakom filme napr. šesť snímok, každý cez iný filter. Výhodou tohoto spôsobu získavania dát je vysoká priestorová rozlišovacia schopnosť.

Zeissova multispektrálna komora MKF – 6 (obr. 14.7) má systém niekoľkých kamier rovnakého typu so synchronizovanou činnosťou. Pracuje obyčajne s normálnym panchromatickým a infračerveným čiernobielym materiálom. Snímkový materiál získaný fotografickými kamerami má charakter meračských snímok.

Družice vybavené klasickými kamerami nepracujú obyčajne na obežnej dráhe dlhšie než niekoľko týždňov a vracajú sa s exponovanými materiálmi na Zem.

14.5.2.2 Rádiometre

Žiarenie sa vo fyzike volá radiácia. Preto sú prístroje na meranie elektromagnetického žiarenia označované ako rádiometre. Sú to prístroje od základu odlišné od klasickej kamery. Pracujú na rôznych princípoch a spoločné majú to, že merajú intenzitu žiarenia dopadajúcu na detektor a prevádzajú ho na elektrický signál. Tomuto signálu je daná určitá štruktúra, ktorá dovoľuje rekonštruovať obraz snímaného terénu.



Obr. 14.7. Multispektrálna kamera MFK – 6 Zeiss

Podľa najobecnejšieho princípu snímania obrazu sa rádiometre delia na aktívne a pasívne. Optická oblasť zahŕňa v DPZ predovšetkým viditeľné svetlo a infračervené žiarenie. Prístroj pracujúci v tejto oblasti, má k dispozícii dostatočne intenzívne ožiarené ciele, a tak vystačí s pasívnym príjmom odrazenej energie od objektov. Rádiometre pracujúce v tomto odbore vlnových dĺžok sa volajú „pasívne“. Súhrnne sa obyčajne volajú skenery a to podľa spôsobu, akým digitalizujú obraz vznikajúci v ohnisku ich optického systému.

Pre skupinu „aktívnych“ rádiometrov je naopak typické vysielanie vlastného impulzného zväzku prísne koherentného žiarenia, ktoré je opäť zachytené po odraze od cieľa a transformované na informácie. Vlastný zdroj žiarenia pracuje v obore rádiových vln a mikrovln. Pretože vyslaný elektromagnetický impulz má veľmi presne známe vlastnosti, ktoré nie sú príliš zatienené rušivým prirodzeným pozadím signálu, dajú sa presnejšie analyzovať ako optické žiarenie, a teda získať aj oveľa viac informácií. Charakteristickým prístrojom zastupujúcim túto skupinu je radar.

Princíp optického rádiometra

Všetky optické pasívne rádiometre majú spoločné to, že obraz pozorovaného objektu vzniká v ohnisku optického systému prístroja. Optický systém je vlastne bežným objektívom plniacim rovnakú funkciu ako vo fotoaparáte, je len oveľa kvalitnejší. Jeho úlohou je vytvoriť optický obraz zemského povrchu, ktorý bude detekčným systémom prevedený na elektrický signál. Prevod obrazu na signál sa volá skenovanie. Objektívy družicových skenerov sú zrkadlové.

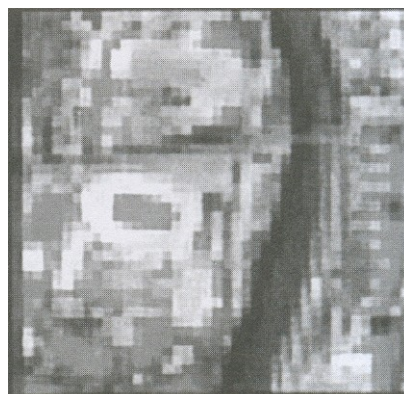
Ďalšou časťou skenerov je detektor. Je tvorený jedným alebo viacerými citlivými prvkami (čidlami), väčšinou o veľkosti 10 mikrometrov. Detektor je umiestnený v ohnisku objektívu prístroja a premieta sa na neho obraz zemského povrchu. Citlivé prvky slúžia k prevodu optického obrazu na pravidelný raster bodov organizovaný do riadkov a stĺpcov, ktorý prevádza na elektrický signál. Tento signál je zaznamenaný na trvalé pamäťové médium ako dátový súbor, čo je vlastne digitálny obraz spracovateľný počítačom.

Letecké i družicové skenery sú opísané niekoľkými základnými charakteristikami. Prvá z nich je tzv. „priestorové“ alebo „geometrické rozlíšenie“. Určuje jemnosť, resp. hrubosť skenovania. Technicky sa udáva ako veľkosť pixelu (obrazového elementu) na teréne pri danej výške letu (obr. 14.8). Táto informácia poskytuje predstavu o tom, aké veľké alebo malé objekty budú v obraze ešte zachytené aspoň ako body. U fotografických kamier sa geometrické rozlíšenie udáva počtom čiar, ktoré vieme rozlíšiť v 1 mm rozsahu.

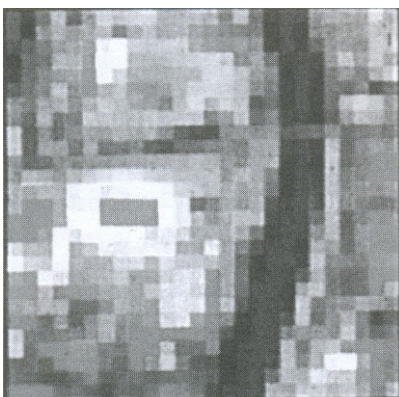
Ďalšou dôležitou charakteristikou je tzv. „spektrálne rozlíšenie“. Vlastnosti spektrálnych pásiem určujú, čo bude vidieť na snímkach a ako sa dá obraz spracovať. Rádiometrickú kvalitu merania v každom spektrálnom pásme vyjadruje údaj nazvaný „rádiometrické rozlíšenie“. Pojem rádiometrického rozlíšenia je úzko spojený s počítačovým záznamom obrazu. Digitálny obraz každého spektrálneho kanála je tvorený postupnosťou niekoľko bitových údajov, organizovaných do riadkov a stĺpcov snímkového rastra. Počet bitov, pripadajúci na každý obrazový element vyjadruje rádiometrické rozlíšenie. Čím viac bitov popisuje jeden pixel, tým jemnejšie sa dá rozdeliť rozsah citlivosti na stupne a tým je vyššie rádiometrické rozlíšenie. V DPZ sa najbežnejšie používa rádiometrické rozlíšenie 8 bitov ($2^8 = 256$ úrovni jasů) až 10 bitov ($2^{10} = 1024$ úrovni) pre každý spektrálny kanál.



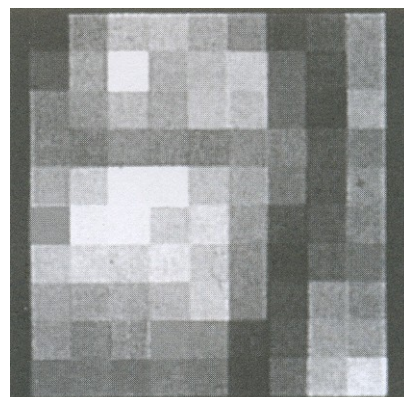
10 metrov



20 metrov



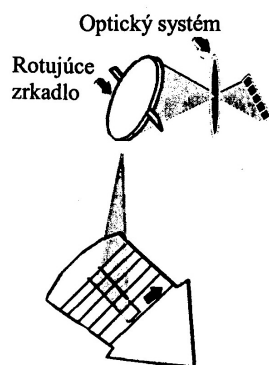
30 metrov



80 metrov

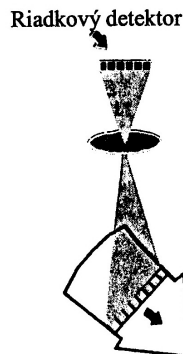
Obr. 14.8. Porovnanie geometrického rozlíšenia rôznych skenerov v identickej kombinácii spektrálnych pásiem. Veľkosť pixelov významne ovplyvňuje viditeľnosť objektov na zemskom povrchu. Na vzorkách sú družicové zábery športového areálu.

Mechanický skener



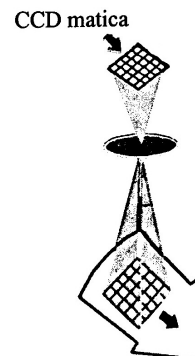
Landsat MMS, TM

Elektronický skener



SPOT, IRS, JERS

Skener s CCD maticou



Erth Watch, Quick Bird

Obr. 14.9. Naznačenie funkčného princípu základných typov pasívnych rádiometrov

Prístroje, ktoré pracujú v jednom spektrálnom pásme sa nazývajú prívlastkom súvisiacim s názvom pásma, v ktorom sa snímkuje. Tak je možné stretnúť sa s názvom „radar pre centimetrové vlny“ alebo „skener pre blízke infračervené žiarenie“. Prístroje vybavené na snímanie vo viac spektrálnych pásmach sa volajú multispektrálne.

14.5.2.3 Skenery

Jednotlivé typy sa od seba navzájom líšia spôsobom, akým prebieha prevod obrazu na rastrovú mriežku obrazových pixelov. Existuje niekoľko princípov ako sa to dá doceliť.

Mechanický skener

Prvý skener mal v ohnisku len jediný detektor, snímajúci podobne ako fotobunka intenzitu dopadajúceho žiarenia. Detektor je vyrobený z takej látky, ktorá mení svoj elektrický odpor v závislosti na elektromagnetickej energii. Táto vlastnosť sa prejaví zmenou elektrického napätia, alebo prúdu v obvode. Aby mohol vzniknúť obraz bolo nutné optický systém ešte doplniť o rýchlo rotujúce rovinné zrkadielko, ktoré odkláňa projekčné lúče. Pri rotácii zrkadielka sa v priebehu krátkeho časového intervalu cez objektív premietne na detektor jeden riadok obrazu. K „odriadkovaniu“ sa využíva pohyb nosiča, ktorý sa prejaví posunom obrazu terénu po ohniskovej rovine prístroja. Ďalší riadok obrazu je teda vytvorený pri ďalšej otočke rotujúceho zrkadla. Špeciálna elektronika sa stará o to aby boli dodržané zhodné parametre pre každý riadok nasledujúcej snímky. Obraz krajiny vzniká postupne po jednotlivých riadkoch.

Pre multispektrálne snímkovanie u tohoto prístroja nie je potrebné používať filtre. Namiesto nich sa dá do optického systému pridať navyše jeden hranol rozkladajúci svetlo do spektra. Pretože zemský povrch sa sníma po jednotlivých bodoch, obraz každého pixelu sa rozloží na svoje farebné spektrálne zložky. Spektrum vznikne v ohniskovej rovine skenera a podľa konštrukčných požiadaviek na aparatúru sa rozdelí na viac spektrálnych pásiem. Do každého zvoleného pásma v obraze spektra sa potom osadí príslušný detektor. Tu je toľko detektorov, koľko spektrálnych pásiem má prístroj.

Horizontálne riadky obrazu vznikajú opäť pomocou rotujúceho alebo kmitajúceho rovinného zrkadla. Táto konštrukcia vďaka rozkladu svetla získa hneď niekoľko snímok naraz, každý v tej oblasti spektra, do ktorej bol vsadený snímací detektor. Všetky spektrálne obrazy zobrazujú presne ten istý priestor. Jednotlivé obrazy sa volajú „spektrálne kanály“ a tvoria dohromady „multispektrálnu snímku“, ktorá sa spravidla spracováva ako jeden celok.

Spektrálnych pásiem môže byť teoreticky ľubovoľný počet z oblasti viditeľného a infračerveného žiarenia, s ohľadom na vlastnosti zemskej atmosféry. Prihliada sa ku konštrukčným

možnostiam skenera, tiež k maximálnej možnej rýchlosti prenosu a záznamu dát. Čím väčšia je rozlišovacia schopnosť skenera (priestorová, spektrálna a rádiometrická), tým väčší objem dát musí zvládnuť záznamová a prenosová aparátúra.

Typickými predstaviteľmi tohoto typu skenerov sú hlavné prístroje amerického satelitu Landsat 4 a 5. Multi-Spectral (MSS) má 4 spektrálne pásma a geometrické rozlíšenie 80 m. Druhý prístroj Thematic Mapper (TM) má sedem spektrálnych kanálov s rozlíšením 30 m. Skenovanie plôch je 185 x 170 km, výška letu 705 km.

Elektronický skener

Patrí do skupiny pasívnych rádiometrov. Jeho hlavnými časťami je optický systém, tvoriaci obraz pozorovaného objektu a detektor. Detektor je tvorený celým riadkom snímačov. Je to vlastne jednorozmerná matica detektorov orientovaná kolmo ku smeru pohybu obrazu po ohniskovej rovine prístroja. Detektor exponuje vždy celý riadok obrazu naraz. Po expozícii musí nasledovať načítanie hodnôt odmeraných jednotlivými prvkami detektorov do počítačovej pamäte a jeho záznam alebo odoslanie. Mechanicky skenujúce rovinné zrkadlo je nahradené citlivými prvkami (čidlami), ktoré sú rozmiestnené po celej šírke obrazu. Každý z nich „obslúži“ ten svoj pixel v riadku.

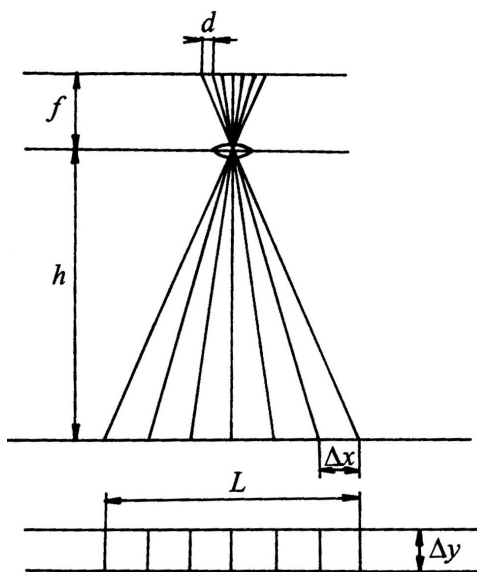
Veľkosť pixelu (obr. 14.10) Δx v smere pozdĺž riadku je daný rozmerom jednotlivého čidla d , ohniskovou vzdialenosťou f a výškou letu h podľa vzťahu:

$$\Delta x = h \frac{d}{f} . \quad (14.1)$$

Šírka záberu je násobkom použitých čidiel

$$L = n \Delta x . \quad (14.2)$$

Do optického systému sa ale nedá začleniť hranol na rozklad svetla, ako tomu bolo u jednobodového skenovania. V ohniskovej rovine objektívu na detektore sa musí vytvoriť obraz celej snímanej plochy tak, aby bolo možné snímať celý riadok naraz. Na získanie multispektrálneho obrazu sa za objektív prístroja začlení tzv. optický delič. Je to veľký optický sklenený hranol pozliepaný z menších celkov. Lepené plochy vo vnútri tohoto „kryštálu“ sú polopriepustné, tzn. časť svetla pri prechode hranolom sa od lepených plôch odrazí stranou a zvyšok pokračuje ďalej. Tým sa zväzok svetelných lúčov z objektívu rozdelí do viac ohnisk, čím dostaneme viac obrazov toho istého objektu. Do každého ohniska sa potom inštaluje jeden riadkový detektor, ktorý je vždy doplnený iným predsadeným filtrom.



Obr. 14.10. Geometria elektronického skenera

Pokiaľ sa začlení pred objektív prístroja ešte rovinné zrkadlo, umožňujúce odklon optickej osi, dajú sa získavať navyše tzv. šikmé snímky, ktoré umožnia pri jednom alebo dvoch preletoch cieľa vytvoriť stereoskopické snímkové dvojice. S ich pomocou sa vytvorené stereomodely využívajú na odvodenie výškopisu snímaného územia a ku geometrickým korekciám snímok tak, aby boli odstránené radiálne posuny obrazu terénu, ktoré vznikli jeho výškovou členitosťou.

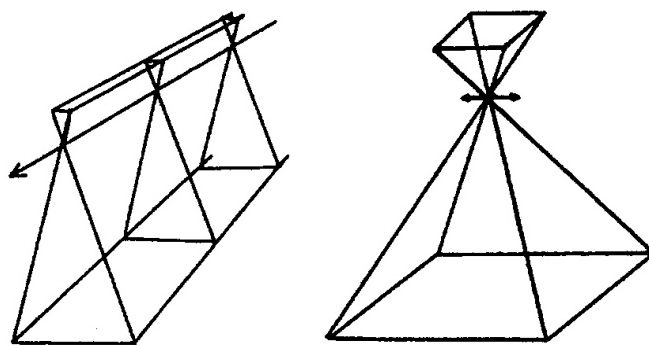
Dvoma elektronickými skenermi HRV sú vybavené francúzske satelity SPOT 1 až 3. Multispektrálny režim poskytuje 3 spektrálne pásma s geometrickým rozlíšením 20 m. V panchromatickom režime sa získavajú analogické čiernobiele fotografie vo viditeľnom svetle a v rozlíšení 10 m. Rozmer skenovanej plochy je v oboch prípadoch 60 x 60 km, výška letu 832 km. Multispektrálne snímky sú v zaužívanej technológii označované ako SPOT XS a panchromatické SPOT P. Ich kombináciou vzniká multispektrálna snímka vyššieho geometrického rozlíšenia pod označením SPOT P+XS. Skener Vegetation sníma v cykle 24 hodín celý zemský povrch s rozlíšením 1 km v páse o šírke 2250 km.

Skener s dvojrozmernou CCD maticou

Tento typ skenera je podobný digitálnemu fotoaparátu. Citlivú vrstvu bežného fotografického filmu nahradí maticový detektor typu CCD alebo novší CMOS. Ten je tvorený veľkým množstvom mikroskopických detektorov organizovaných do riadkov a stĺpcov tak, ako na snímke.

U predchádzajúcich dvoch princípov riadkových skenerov vzniká obraz s tzv. „epipolárnou projekciou“, kde každý riadok obrazu má svoje vlastné projekčné centrum. Vyzerá to, akoby snímka bola zostavená z menších, tesne susediacich jednoriadkových snímok (obr. 14.11).

U skenerov s dvojrozmernou maticou CCD vzniká celá snímka jednou expozíciou za použitia tzv. centrálnej projekcie. Všetky projekčné lúče prejdú pri jedinej expozícii cez spoločné projekčné centrum. Toto riešenie prináša so sebou výhodu rýchlejšieho získavania a odosielania snímok. Je výhodné, že geometrické vlastnosti obrazu sú zhodné s bežnými leteckými snímkami, čo umožní napr. stereoskopické vyhodnotenie snímok bežnou digitálnou fotogrametriou.



Obr. 14.11. Rozdiel medzi epipolárnou (vľavo) a centrálnou projekciou obrazu. Epipolárna projekcia vzniká u mechanického a elektronického skenera postupným pridávaním ďalších riadkov snímky za neustáleho pohybu nosiča. Snímka s centrálnou projekciou vzniká jedinou expozíciou na detektor CCD alebo na fotografický film v kamere

14.5.2.4 Aktívne rádiometre

Radar

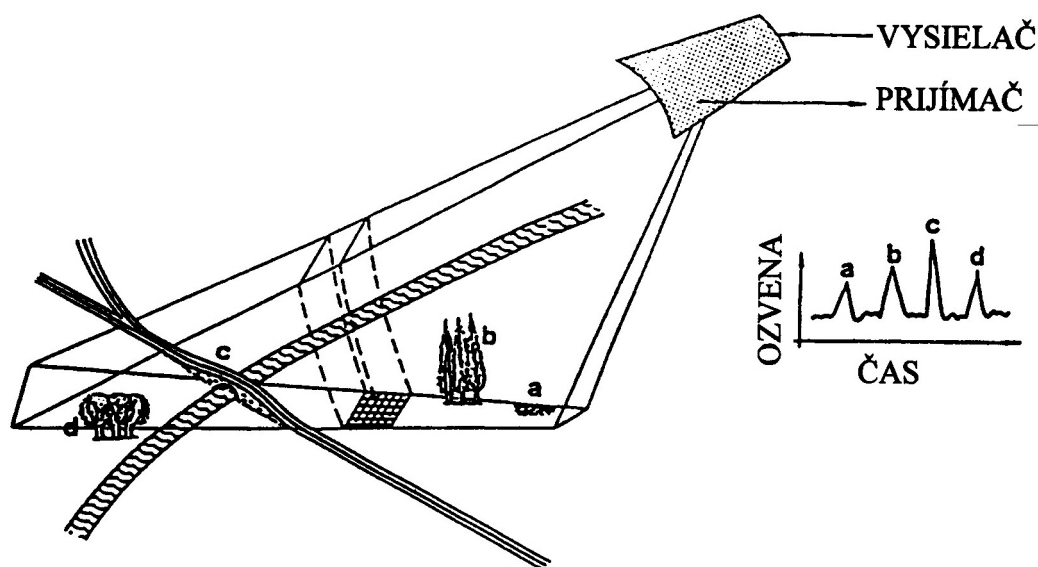
Radar je „imúnny“ voči oblačnosti, ktorá je pre prístroje pracujúce v optickej oblasti neprekonateľnou prekážkou. Na určitých vlnových dĺžkach tiež umožňuje vidieť v malej hĺbke útvary pod zemským povrchom a pod hladinou mora.

Radar využívaný v DPZ pracuje na iných fyzikálnych princípoch ako optické pasívne rádiometre. Jeho najdôležitejšími časťami sú vysielač, prijímač, presné atómové hodiny, navigačná aparatura a anténne systémy. Optický systém je nahradený inými prostriedkami.

Radar sám „skúma“ snímaný terén vlastným zväzkom žiarenia, pretože v rozsahu radarových vln (dĺžka približne 1 mm až 1 m) nie je zemský povrch v porovnaní s optickým rozsahom takmer vôbec ožiarený. Výhodou je úplne presná znalosť fyzikálnych vlastností použitého zväzku žiarenia. Radarový signál sa odrazí od terénu a malá časť sa ho vráti späť k prístroju.

Odraz impulzu je zachytený anténnym systémom prijímača. Po prevode na elektrický signál nedostaneme riadok obrazu ako sme zvyknutí u pasívnych prístrojov, ale záznam časového priebehu intenzity odrazu.

Radar nesníma terén priamo pred sebou, ale šikmo pod uhlom asi $20^\circ - 60^\circ$. Inak by totiž nevznikal dostatočne veľký časový rozdiel pri návrate radarovej ozveny od najvzdialenejšej a najbližšej oblasti snímaného územia. Celá radarová ozvena by splynula. Expozícia terénu pod plochým uhlom dovoľuje získať detailný a široký profilový rez plný vrcholov a útlmov, ktorými sa prejaví rôzne časti zemského povrchu.



Obr. 14.12. Schematické znázornenie radarového pozorovania. V prvej časti obrázku je znázornená záznamová krivka s odozvami objektov v rôznych vzdialenostiach od stanoviska prístroja. Radarové dáta sú tvorené veľkým súborom takýchto kriviek a veľkým množstvom podporných údajov. Z nich je pri predspracovávaní vypočítaný obraz snímaného priestoru

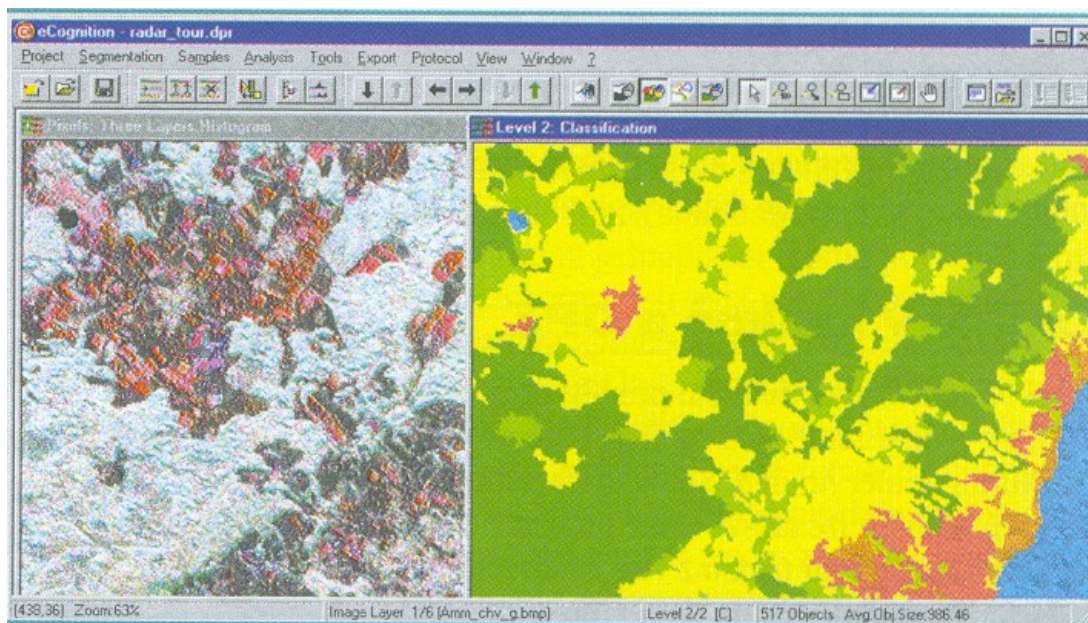
Impulz vyslaný radarom sa šíri rýchlosťou svetla. Pokryje plochu v tvare elipsy. Zaznamenaná „ozvena“ obsahuje odrazy od mnohých objektov, ktoré sa nachádzajú v priestore zasiahnutom zväzkom žiarenia. Zvláštne postavenie majú objekty, ktoré sú v okamihu vyslania impulzu od antény v rovnakej vzdialenosti. Tieto objekty sú zoradené na oblúku a majú rozdielnú schopnosť odrazenia. Pretože ale majú rovnakú vzdialenosť od prístroja, ich ozvena sa vráti v rovnakom okamihu, a výsledná intenzita odrazu je súčtom odrazov od všetkých objektov v danej vzdialenosti. Tým vznikne jeden bod na záznamovej krivke popisujúcej priebeh odrazu. Zoradením jednotlivých príspevkov odrazu podľa času návratu radarovej ozveny potom vzniká záznamová krivka.

Táto krivka v sebe integruje odrazy objektov v rôznych vzdialenostiach od prístroja, ale nerozlišuje smer, z ktorého prichádza odrazený signál. Rôzne objekty v rovnakých vzdialenostiach sa nedajú od seba odlíšiť z jediného odrazu signálu.

Objekty v rovnakej vzdialenosti od radaru sú na časti oblúka. Ak však máme aspoň dva radarové záznamy toho istého priestoru získané s dvoch blízkych miest, odraz sa od určitého objektu zobrazí v oboch záznamoch odrazov signálu. Jeho poloha voči záznamom odrazu od iných objektov v záznamovej krivke však bude iná. Priebeh každej krivky predstavuje časový profil návratu „ozveny“ od radaru. Od príslušného stanoviska vykresľuje každá záznamová krivka v danom smere sústredné oblúky, na ktorých sú spoločne zaznamenané radarové ozveny všetkých objektov. V oblasti prekrytia medzi oboma radarovými zväzkami dochádza k pretínaniu týchto oblúkov. A to je práve oblasť, v ktorej sa vytvorí radarový obraz porovnaním oboch záznamových kriviek.

K zmene stanoviska radaru sa využíva pohyb nosiča. K odlišeniu jednotlivých objektov na budúcej snímke sa využijú zmeny vzájomných vzdialeností týchto objektov a radaru, ktoré sa veľmi silne prejavia v zázname odrazeného signálu. Už z dvoch získaných a spracovaných záznamov sa týmto spôsobom vytvorí obraz, ktorého rozlíšenia sa začínajú blížiť k obrazu budúcej radarovej snímky. Aby bol obraz dostatočne kvalitný a s vysokým rozlíšením, je nutné získať čo najviac takýchto obrazov. K vzniku kvalitnej radarovej snímky je ich potrebné niekoľko stoviek.

Radarová snímka vzniká spoločným matematickým spracovaním súboru všetkých odrazových kriviek získaných v priebehu snímania zadaného priestoru. Výsledný obraz je do určitej miery veľmi podobný fotografii (obr. 14. 13).



Obr. 14.13. Mapa zkonštruovaná z radarových družicových dát (družica IKONOS)

14.6 Spracovanie dát

Získanie dát je technickou časťou realizácie projektu DPZ. Skôr než sa dáta dostanú k užívateľovi, musia prejsť ešte etapou tzv. „predspracovania“. Je to medzistupeň medzi získaním dát a ich využitím. Jeho zmyslom je pripraviť dáta k distribúcii v podobe zodpovedajúcich užívateľských štandardov. Väčšina aparatúr DPZ má špecifické vlastnosti, ktoré nedovoľujú koncovým užívateľom priamo používať dáta.

Predspracovanie dát

U analógových dát je samozrejmosťou vyvolanie exponovaných filmov a kontrola ich kvality. V prípade nedostatkov sa niekedy dokonca musí zopakovať snímkový let. Podľa potreby pripraví fotolaboratórium kópie originálnych snímok v podobe diapozitívov, papierových kópií alebo zväčšení.

Predspracovanie digitálnych dát je o niečo zložitejšie. Hlavným produktom DPZ sú družicové snímky.

Dáta sa na predspracovateľské pracovisko dostanú vo forme magnetického záznamu. Prvá operácia je rádiometrické predspracovanie. Jeho princípy sú rozdielne podľa toho, či ide o optické alebo radarové snímky.

Radarové dáta spočiatku vôbec netvorí digitálnu snímku. Obsahujú len záznamy radarových ozvien od zemského povrchu a ďalšie dôležité údaje zo satelitu a pozemných staníc, ako sú údaje o dráhe satelitu (tzv. efemeridy), údaje o režime a nastavení prístroja alebo časové značky. Z týchto dát predspracovateľský softvér vypočíta radarový obraz snímaného územia. Je to prvá etapa

predspracovania. Výsledná snímka je zaťažená silným skreslením, lebo radar sníma obraz v šikmom uhle. Preto bude musieť snímka prejsť ešte geometrickými korekciami.

Pasívne rádiometre poskytujú na výstupe priamo digitálne snímky. Dáta vedľa vlastnej snímky obsahujú tiež kalibračné údaje, aby podľa nich bolo možné odstrániť chyby z nerovnakej citlivosti detektorov skenerov.

Rôzne typy digitálnych dát majú rozdielne geometrické vlastnosti, čo sa týka optických aj radarových snímok. Všetky vstupujú po rádiometrickom predspracovaní do etapy geometrických korekcií. Ich zmyslom je odstránenie geometrických deformácií obrazu spôsobených podmienkami merania a spôsobu vzniku obrazu.

Geometrické korekcie snímok patria k predspracovaniu dát. Princípom týchto úprav je zistenie a matematické vyjadrenie geometrických nepresností. S ich znalosťami sú prepočítané polohy všetkých bodov snímky do správnej polohy v danom kartografickom zobrazení. Tak vznikne nová digitálna snímka, ktorá bude mať vyššiu geometrickú presnosť ako originál.

Do geometrického predspracovania vstupujú družicové snímky v podobe obdĺžnika alebo štvorca, úplne zaplneného obrazom snímanej krajiny. V tejto podobe zaznamená dáta skener. Pixely zobrazujúce krajinu bod po bode sú zoradené do pravouhlého poradia, v akom boli načítané z rádiometra. Tento obraz však nemá správnu stranovú orientáciu a obsahuje celý rad geometrických chýb, pre ktoré sa nedajú zobrazené objekty presne lokalizovať. Preto je nutné urobiť geometrické úpravy snímok. Veľký význam na presnosť korekcií snímok majú tzv. „vlícovacie body“. Sú to dobre viditeľné a presne zamerané body na zemskom povrchu. Pokiaľ ich máme na ploche snímky dostatok, ich známa poloha dovoľuje doceliť potrebnú geometrickú vierohodnosť.

Pohyb satelitu je u väčšiny rádiometrov využitý k vytvoreniu snímky postupným pridávaním ďalších riadkov a to podľa pohybu obrazu krajiny cez snímáciu plochu detektora v ohnisku prístroja. Na širokouhlých snímkach je veľmi dobre viditeľné zakrivenie zemského povrchu. Merateľne sa prejavuje sa všetkých snímkach. Tento vplyv je pomerne dobre odstrániteľný, lebo veľmi presne poznáme tvar i rozmery našej planéty. Keďže snímka v prístroji vzniká riadok po riadku, prejaví sa naviac ešte skreslenie spôsobené rotáciou Zeme. Pri vyhotovovaní snímky je každý ďalší riadok snímky trochu posunutý, lebo zemský povrch za dobu medzi snímaním dvoch riadkov sa „pootočí“ smerom na východ.

Obidva problémy – zaoblenie Zeme a jej rotácia – sa pri predspracovaní odstraňujú spoločne. Geometricky spracovaná snímka, nie je plošne skreslená zakrivením Zeme a je otočená do správnej smerovej orientácie (spravidla severom hore). Po tejto úprave je možné s určitou obmedzenou presnosťou odčítať na snímke polohy objektu v geodetických súradniciach. Takto upravená snímka sa nazýva „rektifikovaná“. Najpresnejšiu rektifikáciu môžeme doceliť s využitím vlícovacích bodov, ktoré použijeme na geometrickú transformáciu snímky. K transformácii sa využívajú rovnice v tvare polynómov a operácia sa nazýva polynomiálna. Dokonalá celoplošná polohová presnosť sa docieli až tzv. „ortogonalizáciou“ snímky. Na snímke sa odstraňujú lokálne skreslenia obrazu krajiny, spôsobené výškovou členitosťou terénu. Aby to bolo možné, musíme mať k dispozícii dostatočný počet vlícovacích bodov a matematický model výškopisu v danej oblasti, označovaný ako digitálny model reliéfu (DMR).

DMR je matica geograficky lokalizovaných bodov o známej výške, medzi ktorými sú presne stanovené rozostupy. Ak pridáme k DMR údaje o polohe satelitu v okamihu snímkovania a systém rovníc popisujúci zobrazenie trojrozmerného terénu do dvojrozsmernej snímky, vytvoríme tým vlastne matematický model deformácie obrazu, ktorého korekciu chceme urobiť.

Ortogonalizáciou sa odstránia miestne deformácie a upraví sa geometrické vzťahy na snímke. Ortogonalizovaná snímka sa dá využiť už pre presnejšie práce, aké dovoľuje jej geometrické rozlíšenie.

Podľa presnosti rozoznávame tri kategórie snímok:

- nekorigované, len rádiometricky upravené,

- rektifikované, ktorých obraz je transformovaný do niektorého súradnicového systému, správne smerovo orientované, zbavené skreslenia spôsobeného zobrazením zakrivenia zemského povrchu do roviny snímky, rotáciou Zeme a pod.
- ortorektifikované, zbavené navyiac i lokálnych skreslení, spôsobené členitosťou terénu.

Pokiaľ máme k dispozícii dve snímky toho istého územia s príslušným prekrytom ($p = 60\%$) a dostatok vlčiacich bodov, dá sa pomocou niektorých programov výškopis vypočítať tzv. „metódou autokorelácie“. Je to automatický proces, pri ktorom si počítačový program porovná obe snímky a nájde v nich deformácie spôsobené výškovou členitosťou terénu. Z veľkostí týchto deformácií potom odvodí výškopis a uloží ho do dátového súboru v tvare DMR. S pomocou DMR sa potom dá ortogonalizovať jedna z dvojice snímok a získať tak geometricky presná „ortosnímka“. Získaný DMR sa dá neskôršie využiť k ortogonalizácii ďalších snímok.

14.6.1 Metódy spracovania dát

Výškopisné dáta bývajú dosť často jedným z výstupov, ktoré sa snažíme získať. Je to jeden z možných finálnych produktov. Najviac informácií sa získa analýzou obrazu. K tomu existuje celý rad metód.

Tou najjednoduchšou, ale veľmi účinnou metódou je interpretácia obsahu snímok. Užívateľ veľmi podrobne prehľadáva obsah snímky a graficky zvýrazňuje objekty, ktoré sú objektom záujmu. U analógových snímok tak vzniká grafická nadstavba, napr. na priloženej fólii.

Digitálne snímky bývajú interpretované formou vektorových dát. Pokiaľ sa pracuje s ortogonalizovanou snímkom, dá sa vektorová vrstva využiť priamo k vytvoreniu mapy tým, že jej priradíme značkový kľúč. Iným výstupom môže byť napríklad fotomapa s graficky zvýraznenými dôležitými prvkami.

Interpretácia je pravdepodobne najpoužívanjšou metódou získavania informácií zo snímok. Jej najmodernejšou formou je automatická interpretácia. Ako veľmi vhodná sa ukázala predovšetkým vo vojenskom prieskume pri vyhľadávaní bojovej techniky, raketových síl a pod.

Pre vizuálnu automatickú interpretáciu sú potrebné snímky s dostatočným geometrickým rozlíšením, pretože tento postup je založený na rozpoznaní objektov podľa ich tvaru a umiestnenia v teréne v nadväznosti na ostatné prvky krajiny.

Vedľa interpretácie tvorí základ spracovanie dát DPZ predovšetkým metódou analýzy obrazu. Väčšina týchto metód je vyvinutá k spracovaniu multispektrálnych snímok. Interpretácia je založená na práci skúseného vyhodnocovateľa. Analýza obrazu kladie dôraz na maximálnu možnosť automatizácie pomocou počítačového spracovania dát. K tomu sa využíva maticový počet, pretože počítačový obraz je vlastne maticou rádiometrických hodnôt. Prvú skupinu metód charakterizuje farebné zloženie obrazu. Podstatou všetkých analýz tohoto typu je tzv. „rádiometrická transformácia“. Pri nej sa snímka vstupujúca do spracovania transformuje do iného farebného podania, čím sa v ploche obrazu vytvorí požadovaná informácia. Napríklad výpočtom normalizovaného vegetačného indexu získame obraz rozloženia aktívneho chlorofylu v krajine. K výpočtu je využitý vzťah medzi spektrálnou odrazivosťou zelene.

Metóda texturálnej analýzy, využíva celý rad postupov, pomocou ktorých sa dá získať veľké množstvo informácií z jedného spektrálneho kanála. Pri práci s textúrou sa pohybujeme neustále na úrovni jednotlivých pixelov a obrazcov, ktoré vytvárajú ich zhľady. Vďaka tomu dokážeme objaviť aj javy za hranicami geometrického rozlíšenia použitej snímky. Takto sa dá rozdeliť oblasť aglomerácie na jednotlivé typy zástavby, bez toho aby sme boli schopní rozlíšiť jednotlivé domy.

Dôležitú skupinu metód analýzy obrazu tvoria klasifikačné postupy. Ich spoločným znakom je rozdelenie (segmentácia) obrazu na jednotlivé ucelené plošné objekty podľa ich spektrálnych príznakov. Algoritmy určené k triedeniu informácií obsiahnutých na snímkach sa volajú klasifikátory.

Programy pri vyhodnocovaní pracujú tak, že analyzujú vstupnú snímku pixel po pixeli a rádiometrické hodnoty v ňom obsiahnuté porovnávajú s klasifikačnými kritériami, resp. etalónom. Podľa výsledkov je potom pixel priradený niektorej triede. Súbor s výsledkami klasifikácie je uložený ako nový rastrový obraz, v ňom je pôvodná snímka nahradená obrazom rozloženým do jednotlivých tried. Týmto triedam sú priradené príslušné atribúty. Ako triedy môžu byť volené krajinné prvky (les, pole, sídlo...). Takto sa dajú napr. veľmi rýchlo získať dáta o stave lesných porastov, či poľnohospodárskych kultúr na veľkom území.

Klasifikácia sa dá rozdeliť podľa pracovného postupu na automatickú a riadenú. Pri automatickej klasifikácii počítač analyzuje obraz sám len na základe niekoľko málo jednoduchých kritérií zadанных operátorom pri vstupe dát. Riadená klasifikácia spočíva v tom, že spracovateľ sám vyberie v obraze vzorky dát jednotlivých tried a uloží ich ako vstupné podmienky spracovania. Program si vzorky analyzuje, odvodí z nich klasifikačné kritériá a na ich základe urobí vlastnú klasifikáciu obrazu.

Pokiaľ má spracovanie obrazu, čo najlepšie zodpovedať skutočnosti, je nutné podoprieť vyhodnotenie o poznatky z terénu pomocou miestneho prieskumu. Na základe miestneho prieskumu pochôdkou na jednom alebo niekoľkých vzorkových územiach sa dá získať plno-automatické podrobné vyhodnotenie mnohonásobne väčšej oblasti.

Pri analýzach majú dôležitú úlohu geometrické kvality dát. Do klasifikačného súboru sa zadávajú vzorky s presne známymi súradnicami podľa aktuálnych poznatkov na mieste šetrenia. Polohy týchto vzoriek sa tiež uchovávajú a využívajú pri opakovanom vyhodnocovaní v inom období. K tomu potrebujeme, aby snímka určená ku klasifikácii bola ortogonalizovaná. Pokiaľ by sme mali snímku len rektifikovanú, nemuseli by sme pri výbere vzoriek pomocou súradnicovo lokalizovaného ohraničenia použiť to isté miesto v obraze krajiny.

Výsledkom klasifikácie je snímka transformovaná na obraz rozloženia tried krajinných prvkov. Informácie v ňom obsiahnuté sa prenášajú celé alebo po častiach do najrôznejších výstupov a informačných systémov, ktoré sú podkladom pre prácu rôznych inštitúcií. Dáta sa dajú vhodne kombinovať s mapou alebo pôvodným obrazom a doplniť ďalšími údajmi, hoci aj s vyššie uvedenou interpretáciou. Finálny produkt tak môže byť oveľa bohatším a aktuálnejším zdrojom informácií, ako skôr používané špeciálne mapy.

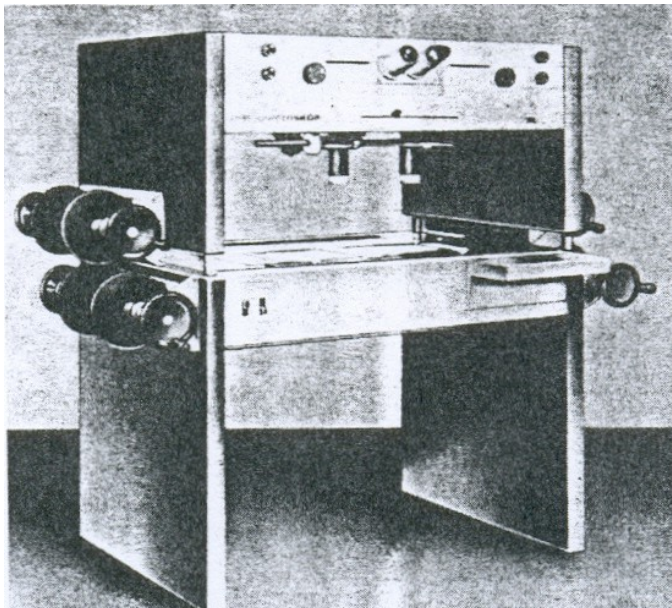
Jednou z metód spracovania obrazu je subpixelová klasifikácia. Pomocou tejto metódy sa dá vyhodnotiť prítomnosť objektu vyznačujúceho sa určitou spektrálnou charakteristikou, i keď zaberá menšiu plochu, než je plocha jedného pixelu. Pritom môže ísť ako o detekciu jednotlivých objektov, ako sú vozidlá, stavby, hromady nebezpečných chemikálií a pod., tak o detekciu objektov, resp. materiálov vyskytujúcich sa na väčšej ploche (ako napr. určitý druh stromu v zmiešanom lese, či chemické látky preniknuté do pôdy alebo vody).

Medzi stále častejšie používané postupy spracovania dát patrí tiež stereoskopické vyhodnocovanie. Je podobné spracovaniu, ktoré sa využíva v leteckej fotogrametrii. Do spracovania vstupuje dvojica snímok s geometrickými korekciami nižšej úrovne a dostatočný počet vlícovacích bodov. Práve geometrické nedokonalosti oboch snímok sa využívajú k vzniku stereoskopického efektu. Ilúzia trojrozmerného modelu krajiny sa dá s výhodou využiť na presné vektorové vyhodnotenie alebo opravy výškopisného modelu terénneho reliéfu, ktorý bol vyhodnotený automaticky.

14.6.2 Metodika interpretácie družicových snímok a ich využitie

Družicové snímky predstavujú zdroj veľkého objemu informácií, ktorého spracovanie nie je jednoduché. Na rozdiel od leteckých snímok podávané informácie majú globálny charakter. Zobrazené územie na snímkach predstavuje niekoľko desiatok tisíc štvorcových kilometrov. Podobne ako v klasickej interpretácii leteckých snímok je i tu základnou úlohou proces rozpoznávania zobrazených predmetov. Pri čítaní sa určujú kvantitatívne i kvalitatívne charakteristiky týchto predmetov a vzájomné vzťahy medzi jednotlivými predmetmi.

Výber žiadaných informácií je v zásade robený analyzujúcou činnosťou vyhodnocovateľa. V prvej fáze pracovného postupu sú dôležité informácie oddeľované od nedôležitých, v druhej fáze sú vybrané vyžadované informácie. Pri nasadení ľudského faktora je potrebná určitá skúsenosť.



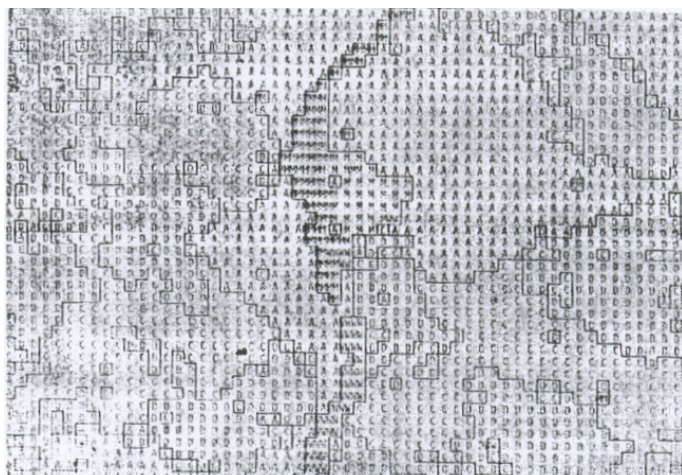
Obr. 14.14. Zeissov interpretoskop

Najskôr je potrebné na družicových snímkach identifikovať mrakovú pokrývku a vyznačiť ju, aby sa predišlo chybám v interpretácii. Vyhodnocovanie sa obvyčajne začína od vodnej siete. Vodné plochy sú vždy dobre viditeľné svojím temným sfarbením na multispektrálnych snímkach. Napr. na snímkach v mierke 1:100 000 bolo zistené, že sa dajú identifikovať rieky do šírky asi 40 m v celej ich dĺžke. Pokiaľ je konfigurácia terénu výrazná, je možné identifikovať i užšie toky. Vodné nádrže a veľké rybníky sú na snímkach jasne viditeľné od rozlohy asi 5 ha. Dobré sa dajú identifikovať i brehové čiary. Cesty sa dajú tiež rozlíšiť len v základných kategóriách. Na ich interpretáciu je vhodné infračervené pásmo snímania. Sídlisko a mestské celky sú na snímkach najhoršie identifikovateľné.

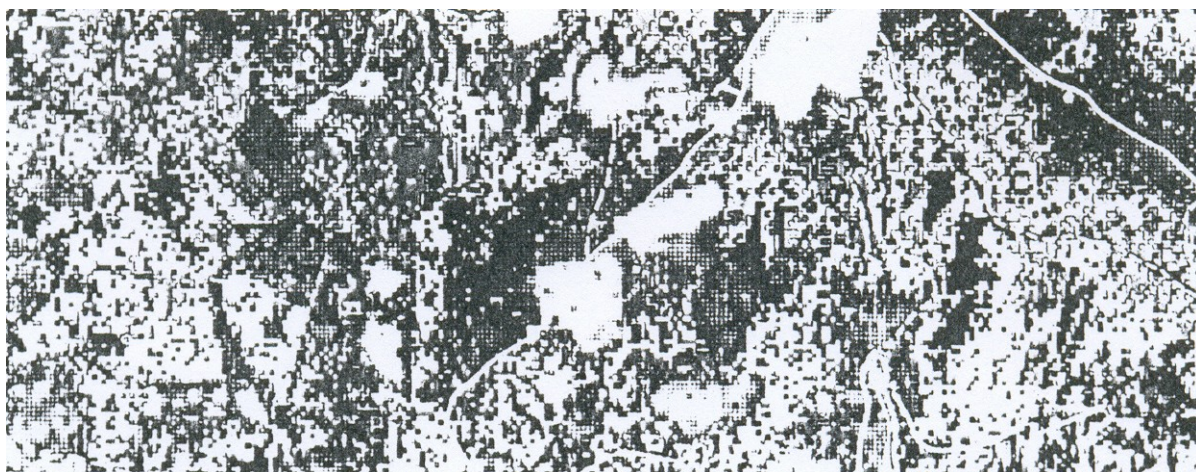
Zistilo sa, že až sídlisko s viac ako 10 000 obyvateľmi sa dá dobre identifikovať. Rozlíšiť správne obvod mestskej aglomerácie je dosť obtiažne, pretože okrajové časti sú spravidla tvorené záhradnými štvrtami.

Ostatné javy, ktoré sa dajú dobre identifikovať sú napr. snehová prikrývka, znečistenie vodných hladín väčšieho rozsahu (naftové škvrny), lesné požiare, vodné záplavy a morské prúdy.

Pri vizuálnej interpretácii, ktorá sa stále ešte vyhotovuje v dosť rozsiahlej miere, sa používa celý rad pomôcok, napr. Zeissov interpretoskop (obr. 14.14) dovoľuje pozorovanie jednotlivých alebo stereoskopických snímkov s 2,5 až 15 násobným plynulým zväčšením.



Obr. 14.15. Vyhodnotenie snímky v alfanumerickom kóde



Obr. 14.16. Rastrová interpretácia obsahu snímky

Pracovné nároky, ktoré kladie veľký počet snímok určených k spracovaniu, vyvolávajú potrebu používať i v tomto odbore automatizáciu a počítačovú techniku. Používanie automatizovaných postupov vychádza zo skúseností získaných pri vizuálnej interpretácii. Predpokladá zostavenie vhodného algoritmu pri riešení obrazovej analýzy. Tieto postupy sa budú ešte rozširovať a skvalitňovať, aby boli zvládnuté vyžadované úlohy. Družice môžu pri nepretržitej činnosti poskytovať denne až 1350 snímok, čo predstavuje asi 40 000 snímok za mesiac. Spracovať takého množstvo snímok je nad ľudské sily.

Pre automatizované spracovanie sú používané počítače s veľkou kapacitou, ktoré môžu na podklade zostavených programov vyhotovovať podklady pre tematické mapy. Výsledky môžu byť spracované napr. v alfanumerickom kóde (obr. 14.15), alebo vo forme farebne rozlíšeného rastra obrazu snímky (obr. 14.16).

14.6.3 Programové vybavenie a hardvér

Pentium s 32 MB RAM a pevným diskom o kapacite 1 GB a viac dokáže spracovať prakticky akýkoľvek družicový záznam. Jednou z vôbec najhlavnejších požiadaviek na počítačové platformy v oblasti DPZ je okrem veľkej kapacity aj vysoký grafický výkon, pretože spracovanie dát DPZ sa dnes robí už úplne v grafickom tvare.

Existuje celý rad relatívne dostupných programových produktov, ktoré sú schopné obsiahnuť svojimi funkčnými modulmi celú problematiku DPZ, ale aj ich prepojenie s ďalšími príbuznými a

súvisiacimi odbormi, predovšetkým s fotogrametriou a GIS. Typický program pre spracovanie dát DPZ má väčšinou modulárnu štruktúru. Programy pre DPZ majú mať vlastnosti:

Systém musí vedieť pracovať s dátami v akomkoľvek súradnicovom systéme. Je to potrebné pre rektifikáciu a ortogonalizáciu snímok, lokalizáciu objektov, javov i celých mapových listov alebo družicových záznamov.

Program pre DPZ musí vedieť pracovať s obrazom. Je nutné využitie spektrálnych kanálov a ich časté striedanie, úpravy jasu a kontrastu, filtre pre úpravu obrazu, zoomovanie obrazu, voľby výrezov atď. Najmä pre interpretáciu a mapové výstupy je dôležitý model na spracovanie vektorových dát. Nesmú chýbať importné a exportné funkcie pre mnoho vektorových a rastrových grafických formátov a s tým súvisiace funkcie pre geometrické korekcie snímok. Ako stále viac potrebná sa javí možnosť spracovania výškopisu všetkými možnými spôsobmi. Nevyhnutné sú moduly pre klasifikáciu a rastrové operácie. K „nepovinnému vybaveniu“ patria moduly pre trojrozmernú vizualizáciu, stereoskopické meranie, topografické analýzy a pod.. Modul pre mapové výstupy môže nahradiť prostriedky GISu, pokiaľ je k dispozícii. S technickým a programovým vybavením súvisí tiež otázka prenosu a archivácie dát.

14.7 Aplikácie DPZ

DPZ je medziodborová disciplína, ktorej úlohou je postarať sa o prísun dát o Zemi pre mnoho iných špecializovaných technických a vedných odborov. Samotný DPZ disponuje i vlastnými prostriedkami pre manipuláciu so získanými dátami a ich spracovaním.

Pre aplikácie v odboroch, ktoré využívajú DPZ sa dá využiť široká škála zdrojov dát i metód vyhodnotenia. Dáta DPZ a nástroje na ich vyhodnocovanie sa stávajú stále viac dostupné širokému okruhu odborníkov v užívateľskej sfére. Vyhodnotenie dát DPZ sa vykonáva pomocou softvérov, ktoré umožňujú stále prístupnejšou formou priviesť užívateľa k cieľu. Významnú úlohu tu hrá vzrastajúci trend využívania technológie geografických informačných systémov ako jednej z kľúčových informačných technológií budúcnosti vôbec.

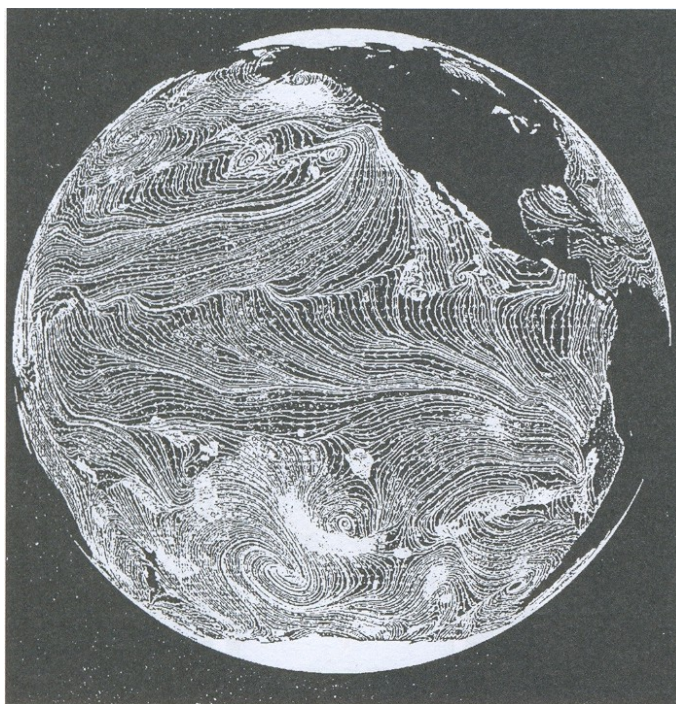
Výsledky DPZ nachádzajú uplatnenie predovšetkým v širokej oblasti prírodných vied o Zemi, v štátnej správe, hospodárstve a pod.. Získané prostriedky DPZ dostávame denne v podobe predpovede počasia.

14.7.1 Meteorológia

Meteorológia je historicky jedna z prvých aplikácií DPZ vôbec. Vzhľadom ku globálnemu charakteru meteorologických javov sa odborníci v tomto odbore vždy snažili o celosvetovú spoluprácu. Vysokú úspešnosť predpovedí zvýšilo nasadenie DPZ, v jej rámci sa postupne rozvinuli techniky umožňujúce niekoľkokrát za deň zbierať dostatočné kvalitné dáta z celej planéty a analyzovať ich modernými postupmi.

„Hornú vrstvu“ systému meteorologických družíc tvoria geostacionárne satelity. Sú rozmiestnené zhruba rovnomerne nad celou dĺžkou zemského rovníka vo výške 35 800 km a „visia“ nad svojou určenou zónou, o ktorej posielajú dáta na Zem. Každý z nich zaznamená asi 45 % plochy zemského povrchu so stredom na rovníku.

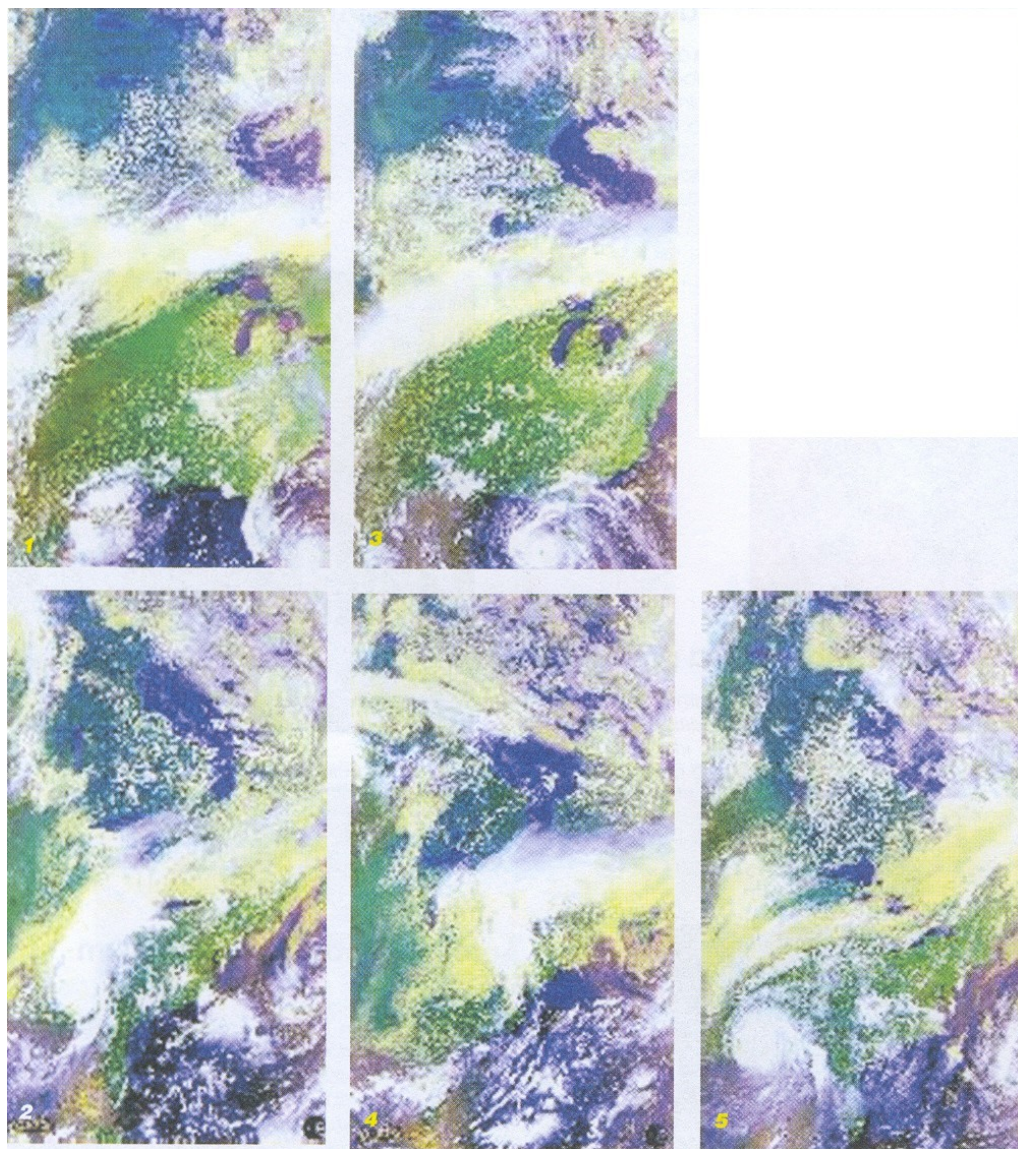
Meteorologické družice na nižších obežných dráhach sú využívané tiež pre oblasť hydrológie, oceánografie a nadväzujúcich odborov. Ich prístroje sú predurčené k tomu, aby bolo s nimi možné pozorovať pohyb vodných mäs v kvapalnom, plynnom a pevnom skupenstve. Družice NOAA dokážu odmerať teplotu morskej vody na obrovskej ploche a sledovať vývoj morských prúdov (obr. 14.17). Prezradia ich rozdielne teploty rôznych oblastí oceánu, ktoré potom vyžarujú na rôznych vlnových dĺžkach. Družicové snímky sa využívajú k mnohým oceánografickým aplikáciám (obr.14.18).



Obr. 14.17. Mapa morských prúdov

Pri sledovaní atmosféry a mora sa mimoriadne dobre osvedčujú tiež radarové družice. Prístroje poskytujú dáta o zmenách hladiny oceánu, o prílivových vlnách a ich interferencii, ktorá môže vyvolať nebezpečné príboje, či o atmosferickej cirkulácii. Pomáhajú pri predpovedi počasia. Sú jedným z podkladov na odhad sily a smeru vetra. V polárnych oblastiach radary sledujú pohyb ľadových krýh a splavnosť vôd pre rôzne plavidlá. Prispievajú k regulácii rybolovu, keď sledujú rybárske lode a ich aktivity. Radarové vlny totiž prenikajú niekoľko desiatok metrov pod vodnú hladinu a sú schopné detekovať rybárske siete, ich zaplnenie a počet. Radarové družice môžu účinne pomôcť napr. pri haváriách tankerov, ku ktorým dochádza spravidla za zlého počasia. Na radarových snímkach sú pomerne dobre viditeľné ropné škvrny.

Zobrazujúce radary majú vysoké geometrické rozlíšenie približne od 5 metrov vyššie. Kanadský RADARSAT sníma v rozlíšení 10 až 100 m, európske ERS-1 a ERS-2 snímajú zemský povrch po 30 m pixeloch.



Obr. 14.18. Časový rad snímok hurikánu Andrew

14.7.2 Hospodárske aplikácie

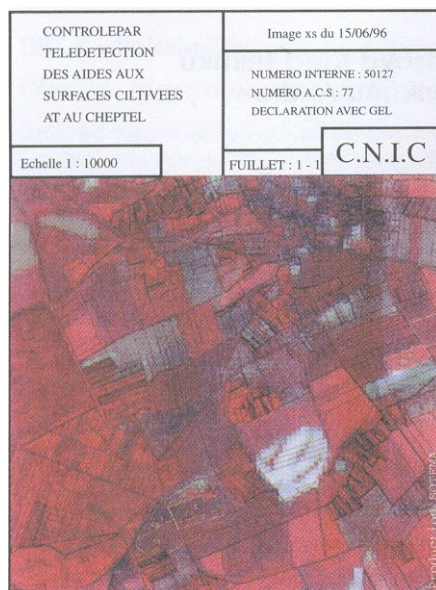
Snímky z družice NOAA sú využívané aj na globálne monitorovanie stavu životného prostredia na pevninách. Škody na tak veľkých plochách je zreteľne vidieť na snímke, ktorej jediný pixel má v teréne veľkosť cez 1 km. Tak je možné napríklad z dlhodobého hľadiska vyhodnocovať vysychanie Aralského jazera alebo devastovanie bohatstva Amazonky. Drobnejšie pixely družicových snímok, dovoľujú prehliadať pozorovaný priestor podrobnejšie, a súčasne celý rad javov presne kvantifikovať. Určitý sledovaný jav sa dá z obrazu „vyhodnotiť“ pomocou klasifikácie snímky. Pri známej veľkosti pixelu získavame okamžite plošný rozsah javu v rámci celej snímky alebo v menšej vybranej oblasti.

Typickou hospodárskou aplikáciou je odhad úrody a sledovanie stavu poľnohospodárskych plodín. Úspešnosť odhadu úrody býva uvedená okolo 140 %. Je možné tiež usmerňovať pestovanie jednotlivých plodín. Dáta DZP umožňujú tiež kontrolu využitia pôdy a zdravotného stavu poľnohospodárskych kultúr. Poľnohospodárske farmy môžu z týchto dát sledovať vývoj svojho hospodárstva a včas reagovať na prípadné ohrozenie úrody, (obr. 14.19).



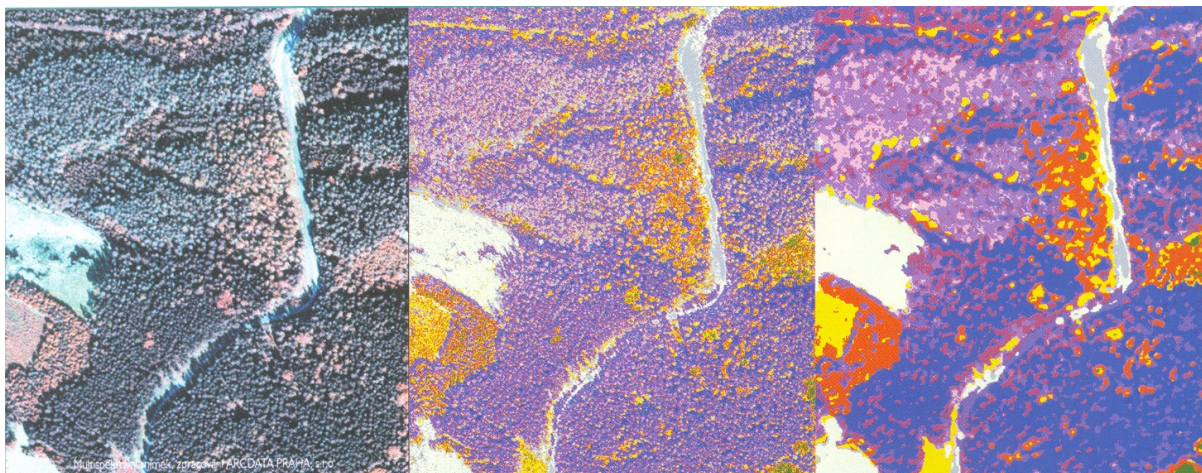
Obr. 14.19. Stav poľnohospodársky obrobenej pôdy

Vzhľadom k častým prebytkom úrody sú v EU poľnohospodárom vyplácané náhrady za neosiatie niektorých plôch. Družicové dáta sú využívané ku kontrole, či boli dodržané záväzky zo strany poľnohospodárov (obr. 14.19).



Obr.14.20. Ukážka dokumentu z kontroly plnenia dohody z neosiatia poľnohospodárskych plôch

DPZ má významné uplatnenie v lesníctve. Lesy tvoria v krajine väčšinou veľké, pomerne dobre identifikovateľné a homogénne celky, ktoré sa dajú veľmi pohodlne analyzovať. Vhodnou kombináciou spektrálnych kanálov sa od seba odlišujú porasty rôzneho typu i výšky. Zmeny odrazivosti v infračervenej oblasti spektra väčšinou pomerne ľahko prezradia zdravotný stav porastu. V lesníctve sa dá prostredníctvom DPZ sledovať ťažba dreva, mapovať škody spôsobené požiarom a škodcami, voliť vhodné prístupové cesty (obr. 14.21).



Obr. 14. 21. Využitie multispektrálnych snímok v lesnom hospodárstve

Výsledky sledovania a analýz vegetácie sa môžu nepriamo použiť tiež v geológii, lebo zloženie vegetácie poskytuje mnoho dôležitých údajov o geologickej stavbe krajiny.

Vedľa „živej hmoty“ objekt záujmu je i neživá príroda. Zo snímok sa dajú získať pomerne presné údaje o pôdnych typoch v poľnohospodárskych oblastiach, o vývoji pôdnej erózie. DPZ dokáže zviditeľniť trojrozmernú geologickú stavbu krajiny, čo sa môže dobre využiť napr. pri štúdiu vulkanických oblastí. DPZ sa aplikuje pri hľadaní nerastných zdrojov, pri modelovaní vodných zdrojov a vodného režimu krajiny. Mnoho údajov sa dá získať i pre archeológiu. Radarové vlny majú schopnosť prenikať do určitej hĺbky pod zemský povrch. V oblastiach s malým alebo chýbajúcim vegetačným krytom, je možné zo snímok vystopovať úplne zreteľne podzemné zbytky dávno zaniknutých osídlení.

V poslednej dobe sa využíva DPZ i v geografických informačných systémoch. Najjednoduchšia aplikácia tohoto druhu je použitie snímok DPZ ako obrazovej vrstvy. Na ich podklade sa dajú tiež aktualizovať dáta skúmaných objektov a vytvárať trojrozmerné pohľady do terénu. S využitím moderných aplikácií sa vykonáva kombinovaná analýza vektorových i rastrových dát zameraná napr. na sledovanie vývoja určitých javov (stupeň zamokrenia pôdy, rozširovanie škodcov drevín, znečistenie exhalátmi a pod.).



Obr. 14.22. Devastácia amazonského pralesa

14.7.3 Životné prostredie a vedy o Zemi

Časté nasadenie prostriedkov DPZ je pri monitorovaní nepriaznivých ekologických a klimatických javov (inverzia v severných Čechách), znečistenie vodných plôch a pôdy. DPZ sa dá využívať k odhaleniu príčiny a rozsahu ekologickej havárie. Účinným nástrojom je tu monitorovanie zmien krajiny porovnaním snímok z rôznych období. Urbanistické štúdie tvoria širokú skupinu aplikácií, ktoré využívajú DPZ. Snímka je vždy najkomplexnejším a najaktuálnejším popisom študovaného územia. Dá sa s ňou pracovať oveľa rýchlejšie a efektívnejšie ako keby sme napr. celú oblasť krajského mesta s okolím museli zobrazovať pomocou GISu. DPZ sa dá využiť pri rekultivácii krajiny po vyťažení povrchových baní, k dokumentácii škôd spôsobených prírodnými katastrofami (zemetrasenie, povodne, lesné požiare a pod.), na vyhodnotenie rozsiahlych havárií (tankerov, zosuvov pôdy, pretrhnutie priehrad). Rovnako činnosť človeka – najmä nepremyslená a necitlivá – začína byť sledovaná a usmerňovaná vďaka DPZ (obr. 14.22 až 14.24).



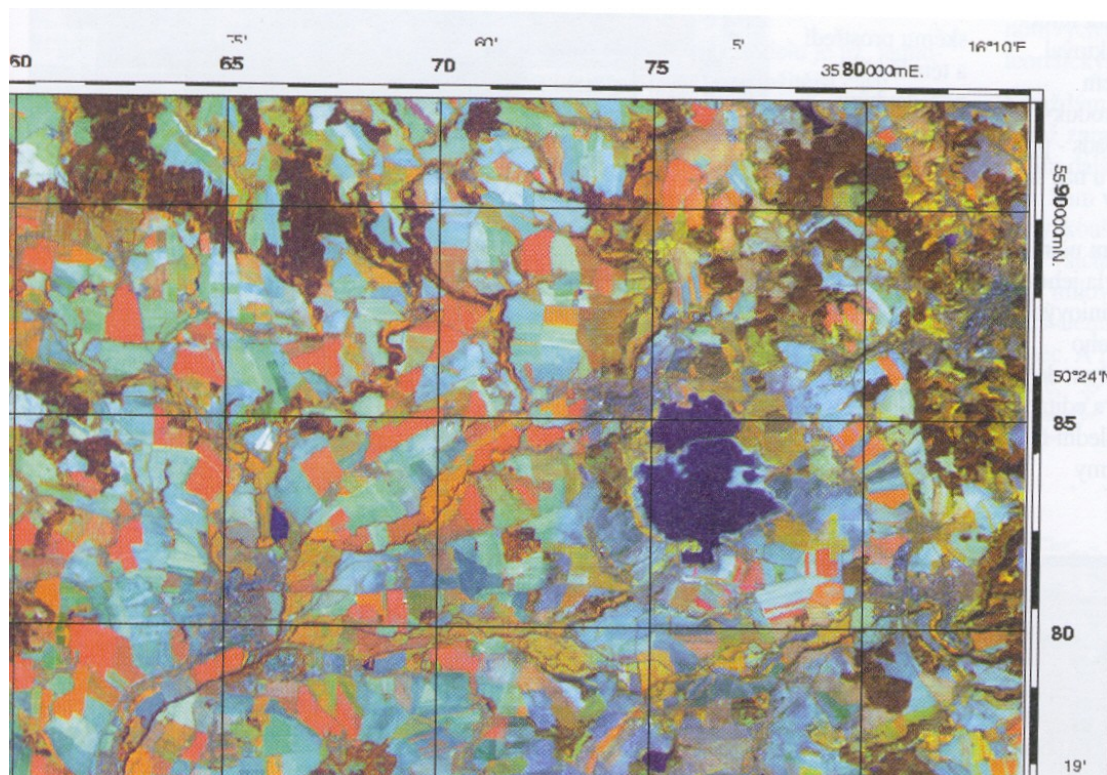
Obr. 14.23. Pobrežie Antarktídy na multispektrálnej snímke SPOTu



Obr. 14.24. Snímka žiariacej nočnej Európy

14.7.4 Kartografia a GIS

Satelitné snímky stredných a vyšších rozlíšení sa využívajú tiež v kartografii a GIS. Najčastejšie sa využívajú snímky zo satelitov SPOT (Francúzsko) a Landsat (USA). Svojimi parametrami dáta týchto družíc spĺňajú požiadavky na mapovanie v mierke 1 : 100 000 (obr. 14.25). Dajú sa z nich vytvoriť i fotomapy v mierke až do 1 : 25 000. To je výhodné predovšetkým v rozľahlých a málo zaľudnených oblastiach, kde nie je ani dostatočne hustá sieť súradnicovo známych bodov, ani iných podkladov na mapovanie. K polohovému pripojeniu družicovej snímky stačí pomerne malý počet vľicovacích bodov. Počet vľicovacích bodov so známou polohou a výškou kolíše medzi 5 až 24 bodmi. Pre tento účel sa využívajú body dostatočne dobre identifikovateľné a polohovo nemenné. Sú to križovatky ciest, strechy budov a pod.



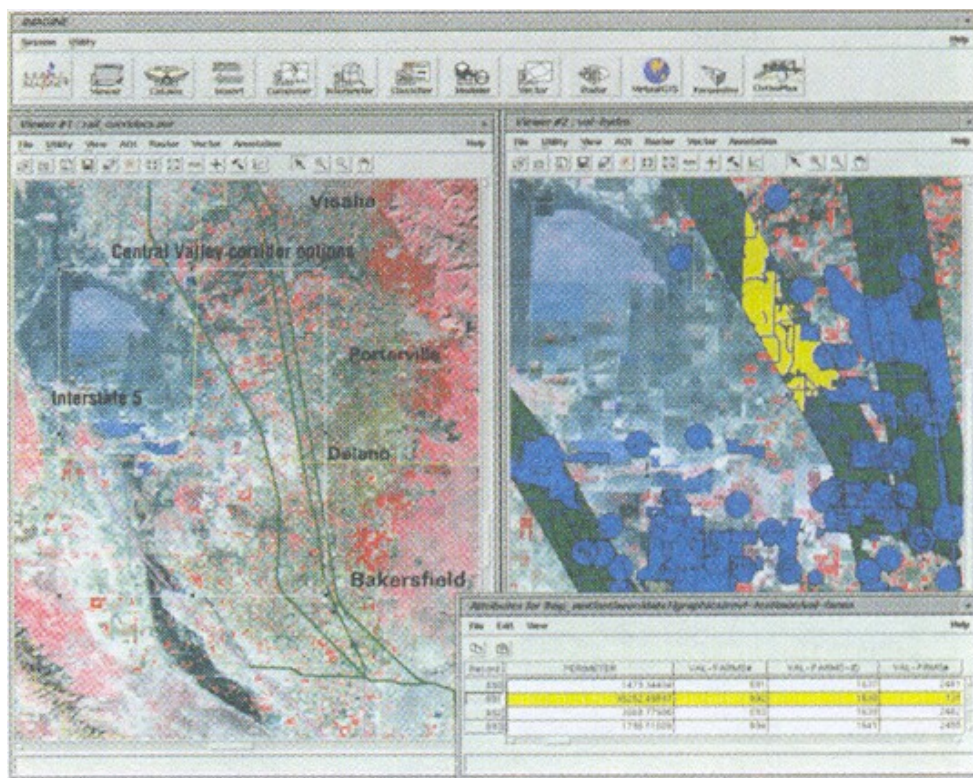
Obr. 14.25. Družicová mapa v mierke 1 : 100000

Vyhodnotenie sa robí dvoma možnými spôsobmi a ich kombináciami. Prvou základnou metódou je stereoskopické vyhodnotenie. K nemu sa využívajú snímky zo systému SPOT, ktorý dodáva stereoskopické dvojice. Stereodvojice obsahujú dve snímky rovnakého priestoru, ktoré sú vyhotovené z fotogrametrickej základnice, môžu to byť i konvergentné snímky. K ich spracovaniu sa využívajú bežné digitálne fotogrametrické snímky. Je možné si objednať aj diapozitívy pre staršie analógové vyhodnocovacie prístroje. Vnútna presnosť vyhodnotenia sa uvádza až 0,4 veľkosti pixelu, vyhodnotiť sa však dajú len objekty väčšie ako celý jeden pixel. Presnosť vyhodnotenia závisí od presnosti vľicovacích bodov a na kvalite zavedenia geometrických korekcií obrazu urobených pred stereoskopickým vyhodnotením. Problém snímkových korekcií sa obchádza tak, že sa geometrické korekcie snímok jednoducho nerobia a pri stereoskopickom vyhodnotení sa do merania zahŕňajú všetky príslušné opravy, takže každý výstup obsahuje už správne polohové informácie. Spracovaním stereodvojíc môžeme získať polohopis, výškopis a na koniec i ortogonalizovanú snímku. Pre svoje vyššie geometrické rozlíšenie sa pri tomto spôsobe vyhodnotenia používajú predovšetkým panchromatické snímky.

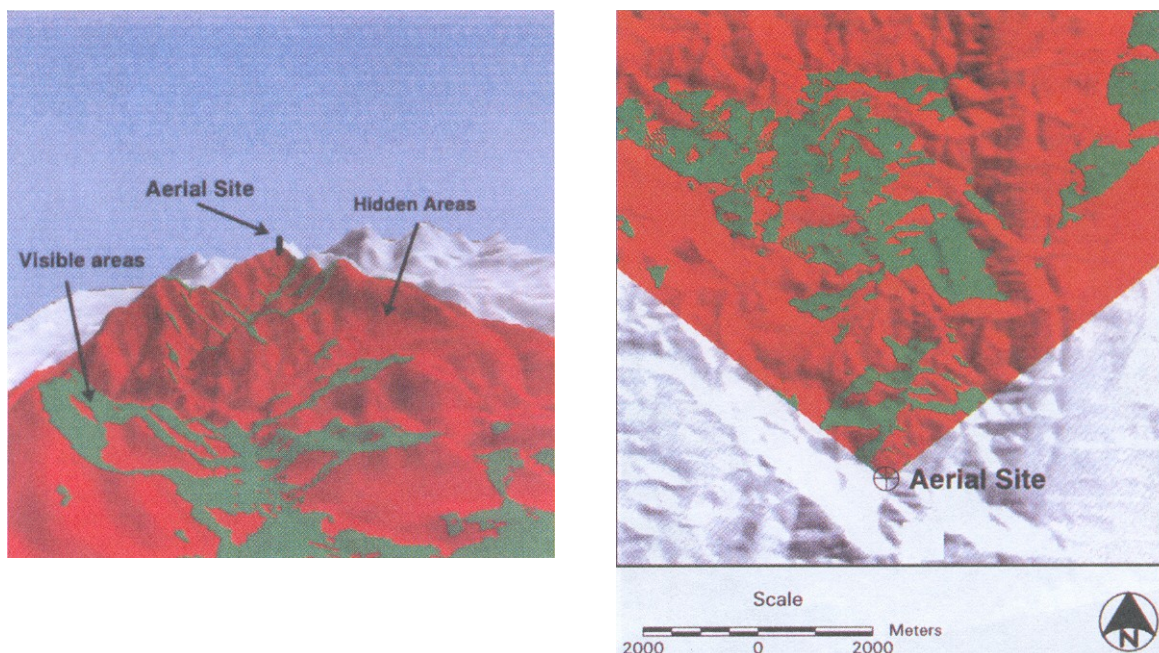
Druhý spôsob vyhodnotenia predstavuje jednosnímková metóda. Na rozdiel od interpretácie sa vždy využívajú ortorektifikované snímky, na ktorých sú odstránené všetky deformácie obrazu a tak sa dajú z nich odčítať presné súradnice objektu. Obraz budúcej mapy vzniká postupným „obkreslením“ objektov na snímke. Jedsnímkovou metódou sa dá vyhodnotiť len polohopis.

Potrebná ortorektifikácia snímok sa robí už pred vyhodnotením a môže ju urobiť i sám vyhodnocovateľ, pokiaľ má k dispozícii polohopisné a výškopisné dáta snímaného územia.

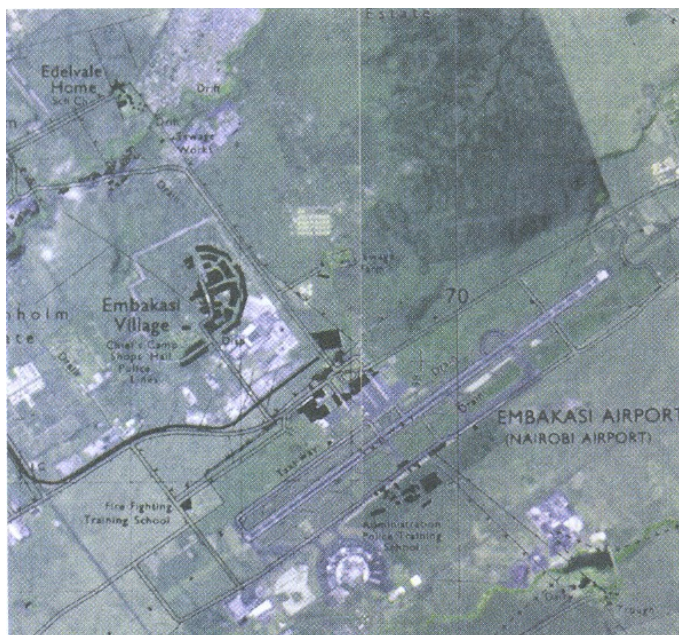
Presnosť a obsahová náplň vyhodnotenia zodpovedá zhruba geometrickému rozlíšeniu použitých snímok. Obsahová náplň hotovej mapy vyhotovenej metódou DPZ sa líši od štandardu. Napr. vzhľadom k rozlišovacej schopnosti snímok 10 m, zaniká v obraze väčšina objektov, ktorých veľkosť je pod touto hranicou. Viditeľné sú len tie z nich, ktoré sú voči svojmu okoliu dostatočne kontrastné. Pri mapovaní pomocou satelitných snímok sa dajú využiť všetky možnosti multispektrálnych dát, čo výsledok mapovania obohatí úplne inými údajmi.



Obr.14.26. Projektovanie tratí pre rýchlovlaky



Obr. 14.27. Viditeľnosť v teréne. Kartometrická úloha výpočtu viditeľnosti určitého priestoru

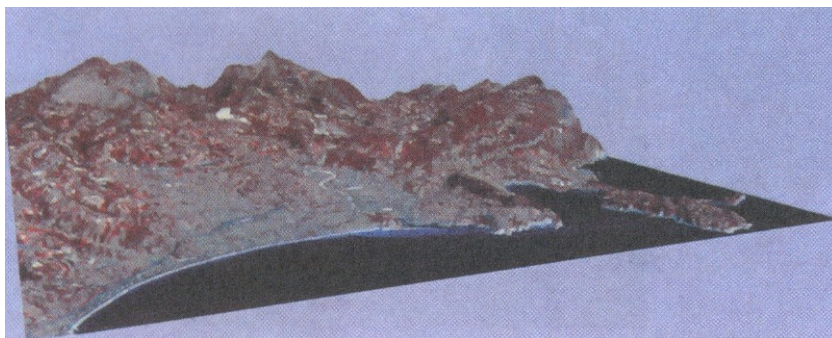
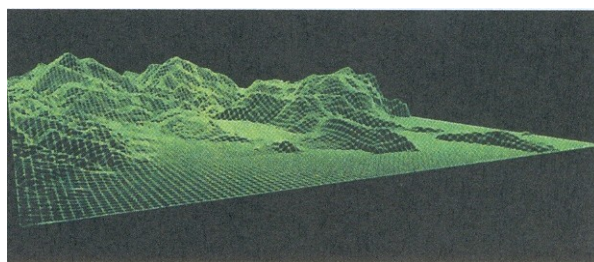
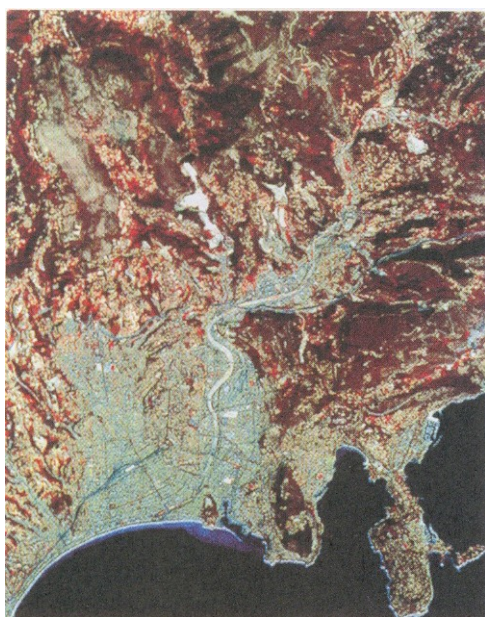


Obr.14.28. Porovnanie ortorektifikovanej družicovej snímky s vektorovou databázou GIS

Novým produktom kozmickej kartografie sú ortofotomapy. Tieto geometricky presné obrazy snímaného územia sa dodávajú na trh v digitálnej forme i ako papierové výtlačky. Majú všetky náležitosti bežnej mapy (mierku, súradnicovú sieť, značkový kľúč upravený pre fotomapu). Vlastný mapový obsah je nahradený priamo snímkovým obrazom. V tejto podobe obsahuje mapa oveľa viac informácií a je bližšie skutočnosti, ako kresba sprostredkovaná kartografom.

Dátové produkty DPZ sa využívajú v rade technických aplikácií, napr. k analýze viditeľnosti, projektovaniu komunikácií (obr.14.26), analýze trás pre turistické mapy, mapy chránených území, trojrozmerné pohľady (obr.14.27) a pod.

Priamym produktom rôznych metód spracovania obrazu sú tiež rôzne špeciálne tematické mapy prepojené s vektorovou databázou GIS, zamerané napr. na oblasť geológie, archeológie, lesníctva, vodných zdrojov a pod. (obr. 14.28). Kartografia je súčasťou aplikácií diaľkového prieskumu. Jej prostredníctvom sú výsledky DPZ sprístupnené ostatným užívateľom.



Obr. 14.29. Modelovanie terénu.

14.7.5 Vojenské využitie

Širokému využitiu sa DPZ dostáva tiež tam, kde pôvodne vznikol. Známe je využívanie DPZ k spravodajským účelom.

Vojenské satelity sa vyznačujú tiež celým radom technologických vymožeností, ktoré nie sú k dispozícii civilným užívateľom. K nim patrí predovšetkým oveľa vyššia rádiometrická a priestorová rozlišovacia schopnosť prístrojov. Americký KEYHOLE 12, ktorý má podľa dostupných údajov na palube rádiometer dosahuje rozlíšenie až 9 centimetrov. Z výšky okolo 1000 km je to takmer neuveriteľný výkon.

Družicové dáta spracované kartograficky sú využívané k vytvoreniu digitálnych modelov reliéfu pre letecké a zbraňové simulátory, pre modelovanie a analýzy krajiny k vojenskému využitiu.

Prínos DPZ si môžeme najjasnejšie uvedomiť na príklade letectva. Nasadenie leteckého simulátora novej generácie do výcviku prináša mnoho úspor. Simulátor nahradí až niekoľko desiatok strojov pre základný a udržiavací výcvik.

Kombináciou zvislej snímky a digitálneho modelu reliéfu vznikne pomocou špeciálneho programového vybavenia trojrozmerný model krajiny (14.29).

Simulácia letu umožní udržanie správnych návykov a reakcií pilota. Model terénu aktualizovaný novými snímkovými podkladmi a vektorovými informáciami je možné využiť tiež k predletovej príprave.



Obr. 14.30. Brno-Líšeň zo satelitu – panchromatická kozmická snímka s rozlíšením 2 metrov

14.8 Perspektíva rozvoja DPZ

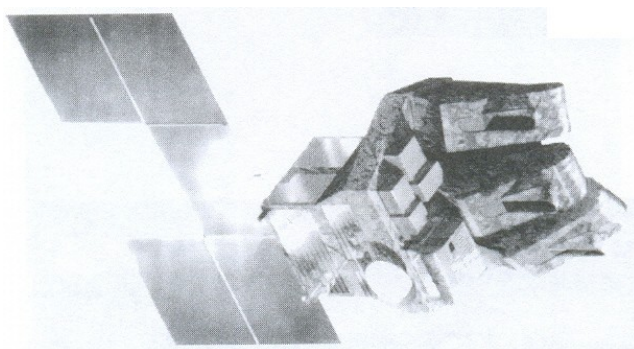
Je možné predpokladať, že na trhu sa objavia kvalitné a lacné dáta v rozlíšení okolo jedného metra (obr. 14.30).

Rozlíšenie sa prejavuje nielen vo veľkosti obrazového pixelu, ale tiež v počte spektrálnych pásiem získaných snímok. Existujú už prístroje označované ako hyperspektrálne a ultraspektrálne rádiometre so stovkami až tisíckami možných spektrálnych kanálov v každej snímke. Technologický pokrok posunie ďalej hranice možnosti DPZ.

Každá krajina sa snaží o vytvorenie vlastného účinného a efektívneho informačného systému. Bez nasadenia prostriedkov a metód získavania a spracovania dát, akými disponuje DPZ, to nebude možné. Prísun dát je jednou z vôbec najzákladnejších požiadaviek na fungovanie akéhokoľvek informačného systému.

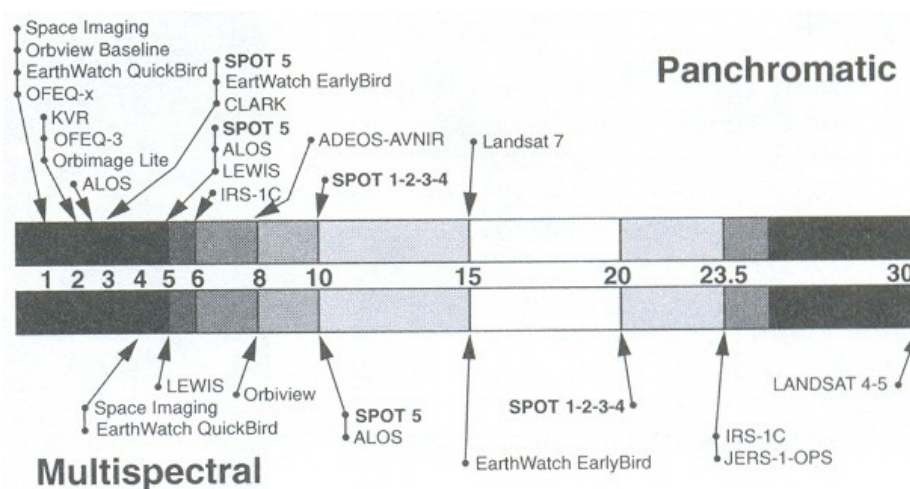
Technológia DPZ vďaka vývoju počítačovej techniky a programom začína byť dostupná stále širšiemu okruhu užívateľov. Bude potrebné ešte veľa osvetly, než sa u nás DPZ udomáčni tak, ako napr. GIS. Sila DPZ spočíva v jeho správnej a premyslenej aplikácii tam, kde je to možné a výhodné.

Diaľkový prieskum Zeme je vo svojej podstate vedeckou a hospodárskou aplikáciou kozmonautiky.



Obr. 14.31. Pravdepodobná podoba pripravovaného francúzskeho satelitu SPOT 5.

Výsledky doterajších prác ukazujú, že nastúpený trend obstarávania družicových snímok z kozmických lodí a automatických družíc lietajúcich v rôznych výškach je správny. Pre geodetické a kartografické účely sa predpokladá využitie snímok z dlhooohniskových fotokomôr, ktoré by poskytnú snímky o väčšej rozlišovacej schopnosti, väčšej mierke a s potrebným prekrytom, ktorý dovoľuje prípadné fotogrametrické vyhodnotenie. Na obr. 14.31 je satelit SPOT 5 a na obr. 14.32 je prehľad rozlíšenia prvku obrazového elementu.



Obr. 14.32. Prehľad rozlíšenia veľkosti obrazového elementu v metroch u niektorých pripravovaných a súčasných satelitov