Snabb introduktion till Fjärranalys

Hernán De Angelis

3 maj 2015

Den här texten är en mycket kortfattad guide till fjärranalys. Syftet är att lägga grund till diskussioner under inlärningstillfälle och seminarier för grundkurser i fjärranalys.

Termer i **fett stil** är viktiga. Använd Wikipedia eller en bok om fjärranalys för att öka dina kunskaper om denna begrepp. Listan i slutet av den här dokument ger några rekommendationer.

1 Inledning

1.1 Definition

Fjärranalys definieras som *mätningen av egenskaperna av en objekt från avstånd*, dvs utan att vara i kontakt med objekten. Inom naturvetenskap betyder fjärranalys mätning av egenskaperna av jordens yta med hjälp av sensorer monterade ombord satelliter och flygplan.

För dem flesta av oss, bio- och geovetare, geologer, mm är fjärranalys en teknik, ett verktyg för att studera naturliga system och för att bidra till lösningen av specifika problem inom naturvetenskap. *Oftast är ändamålet för fjärranalys bestämmelsen av vilka material finns på en viss yta, s.k.* ***klassificering****, och dess ändring i tiden.*

Fjärranalys är i för sig sällan ändamålet för geovetenskaplig forskning. Geovetare som driver forskning inom fjärranalys ägnar sig framförallt åt metodutveckling och tillämpning av nya sensorer, nästan alltid med något naturvetenskapligt problem i sikte. Man kan också jobba multidisciplinärt, i samarbete med fysiker och ingenjörer som designar och bygger sensorer och satelliter, eller med matematiker som utvecklar algoritmer för klassificering och bildbehandling, fast detta är inte alls så vanligt.

1.2 De olika facetterna av fjärranalys

Man kan tänka sig att användningen av fjärranalys innebär kunskap och praktik inom fyra tematiska grenar:

1. *den fysikaliska grunden*, som innefattar lagar om elektromagnetiska vågor och deras samspel med material, som gör grunden till alla tillämpningar
2. *tekniken*, som innefattar användningen av de fysiska lagarna för byggande av sensorer och satelliter, samt detaljer omloppsbana, och andra viktiga begrepp som behövs för att planera och driva fjärranalys studier,
3. *databehandlingen*, som innefattar begrepp inom framförallt digital bildbehandling, algebra och statistik, och som utgör en stor del av vardagen för naturvetaren som använder fjärranalys,
4. *geografiska och geofysiska problem*, som är själva målet för dina fjärranalys studier.

Som geovetare är man oftast mer expert på (4), medan man kanske kan bara lite här och var av de tre andra! Detta är naturligt och lite oundvikligt. Det är i alla fall viktigt att man ägnar tid och kraft att lära sig grundläggande

begrepp på de första tre grenar och öva i deras tillämpning. Detta behövs om man vill utnyttja fjärranalys på bästa sätt.

2 Fysikaliska grunden

2.1 Elektromagnetisk strålning

För att studera en objekt från fjärran använder vi olika form av signalspaning, dvs vi registrerar signaler som strålar från eller studsar på våra mål och sedan tolkar vi deras egenskaper. Signalerna vi använder är oftast elektromagnetiska, men man kan också använda sig av mekaniska (eller akustiska) [1].

För våra ändamål kommer vi att behandla elektromagnetiska signaler som *vågor*. **Elektromagnetiska vågor** är sinusformade och består av ett elektriskt och ett magnetiskt fält. Vågor karakteriseras av deras **våglängd** och **amplitud**. Med våglängd menar vi avståndet (oftast mätt i micrometer: μm, eller nanometer nm) mellan två konsekutiva toppar. Med amplitud menar vi storleken, eller intensiteten av vågen (som är relaterad till energi). Man kan också karakterisera vågor på grund av sin **frekvens**, dvs hur många gånger per enhet tid (sekund) når vågen sitt maximum. **Våglängd** och **frekvens** är två relaterade begrepp. *Kan du förklara varför?*

Mekaniska vågor kan bara propagera sig i något medium, typ vatten eller (bättre) i någon solid. Elektromagnetiska vågor kan propagera sig i vakuumet. *Tänk om betydelsen för fjärranalys från rymden.*

Den mest effektiva sättet att representera elektromagnetiska vågor är ge-

[1] Exempel på mekaniska vågor är seismiska signaler, sonar och ljud. Seismiska vågor skapas av rörelser inom skorpan, ev. jordbävningar, och propageras igenom Jorden. Sonar används i vattnet av val och delfiner, eller i luften av fladdermus. Ljudet vi hör består av mekansika vågor som propageras i luften med frekvenser 20 Hz –20 KHz. Trots att dessa observationsmetoder också är fjärranalys i sin mest strikta mening, reserverar vi oftast termen för användningen av elektromagnetisk strålning.

nom det **elektromagnetiska spektrumet**. Detta är en grafik där vi arrangerar vågor enligt deras våglängd eller frekvens. Olika regioner av spektrumet får olika namn. Den delen av det elektromagnetiska spektrumet som vi kan känna med våra ögon kallas för den **synliga delen**. Andra viktiga del är den **nära infraröda**, den **termiska infraröda**, och **mikrovågor** (som din mikrovågsugn använder).

Den främsta källa av elektromagnetisk strålning i Naturen är Solen. Solen strålar som mest i (nästan) den synliga delen av spektrumet. Jorden är en viktig källa i den termisk infraröda delen. Detta sker därför att **en objekt emitterar energi i proportion till fjärde potens av sin absolut temperatur** (Steffan-Boltzmann lag). En annan viktig lag är att **energin av en våg står i direkt proportion till sin frekvens**. **Ju högre frekvens, högre energi** (Planks lag). Detta betyder att Solen strålar vågor med högre frekvens än Jorden därför att Solens yta har mer energi (är varmare) en Jordens yta.

2.2 Samspel mellan material och elektromagnetiska vågor

Alla metoder inom fjärranalys grundas på tolkningen av samspelet mellan materialen på Jordens yta och elektromagnetiska vågor. Elektromagnetiska vågor som når en yta utsatts för **reflektion**, **transmission**, **spridning** eller **absorption**. Samspelet varierar markant med våglängd även för en och samma material. Vi ser färger därför att olika material absorberar och reflekterar olika våglängder i olika proportioner.

På samma sätt, olika fenomen i Naturen gör sig manifesta i olika våglängder. Vi kan då börja prata om materialens egenskap som funktioner av våglängd: **irradians**, **reflectans**, **emmitans**, **absorptans** för olika medier som atmosfären, vatten, sand, granit, gräs, skog, mm. I synnerhet, står **reflek-**

tans som en mycket viktig egenskap. Reflektans är kvoten mellan energin av strålningen som når en yta och den som reflekteras eller sprids tillbaka.

Detta leder oss till den den kanske mest framstående begrepp inom optisk fjärranalys: **spektral signatur**, reflektansen av en viss material som funktion av våglängd. Det är nyckeln till vår förmåga att skilja på olika material med hjälp av satellitbilder. Det är därför viktigt att veta hur olika material "ser" ut i olika delar av elektromagnetiska spektrumet. Till detta ändamål finns tillgängliga **spektrala bibliotek**. [2]

Vissa delar av spektrumet kan inte användas för fjärranalys av Jordens yta pga en viktig komponent i atmosfären absorberar mestadels av energin i dessa frekvenser. *Vilken?*

3 Tekniken

Satelliter sätts i omlopp kring Jorden med hjälp av raketer. Det finns flera typ av omlopp. När en satellit finns i **geostationär** omlopp ligger den omkring 35700 km över jordens yta, där dess hastighet är samma som Jordens rotation och då, sedd från Jorden, "svävar" över samma del (över ekvatorn). Därför kallas satelliterna i den här omloppet för **geosynkrona**. Detta omlopp är vanlig hos kommunikationssatelliter. De flesta fjärranalys satelliter använder däremot **polära** omlopp. Dem rör sig mellan 500 och 800 km över Jordens yta, och flyger nästan från pol till pol (når max. 82 eller 84 breddgrader, nord och syd). Många satelliter designade för fjärranalys använder en polär, solsynkron omloppsbana, vilket betyder att de flyger över

[2] **Reflektansen** kan vara stark beroende på belysning och synvinkel, den är en sk *directional* (på engelska) egenskap. I vissa fall kan man förenkla studier genom att anta att materialen beter sig som en isotropisk reflektor som sprider lika mycket i alla riktningar, sk. **Lambertian**. Tyvärr gäller detta nästan aldrig och många av de viktigaste material på Jorden (skog, snö) är starkt anisotropiska. Seriösa studier måste ta stöd av reflektionsmodeller, som t.ex **Bidirectional Reflectance Distribution Function - BDRF**.

ekvatorn på samma tid varje dag. Adjektiv solsynkron betyder att satelliten följer Solen. Exempel på satelliter i dessa omlopp är Landsat, Terra, Aqua och SPOT.

Satelliter består av plattform och sensorer. Plattform är själva chassin med tillhörande energi (solpanel, batterier, regulatorer), navigation (gyroskop, gps), data lagring (dator, hårddiskar), och kommunikation (antenner, sändare, mottagare) system. Sensorerna är monterade på plattformen. En plattform kan bära flera sensorer: Landsat 5 har en sensor (TM - Thematic Mapper), Landsat 7 har också en sensor (ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus), medan den nya Landsat 8 är en plattform med två sensorer (OLI - Operational Land Imager, och TIRS - Thermal Infrared Sensor). Landsat data är gratis och kan laddas ned från Glovis [3].

Om vår instrument består bara av en mottagare som vi använder för att observera och registrera vågor som förekommer naturligt i Naturen, pratar vi om **passiv fjärranalys**. Om vi däremot använder en instrument som består av både sändare och en mottagare, där vi skapar våra egna signaler, som vi skickar iväg och sedan tar emot, pratar vi om **aktiv fjärranalys**. Landsat bilder är en klassisk exempel på passiv fjärranalys. Radar bilder är exempel på aktiv fjärranalys.

Sensorerna fångar strålning i **specifika delar av spektrumet** och omvandlar energin till elektriska signaler, som i sin tur konverteras till digitala nummer. Dessa nummer arrangeras i matriser som lagras i ordnade form som: **digital bilder**. En bild som är framtagen genom att fånga energi i en viss del av spektrumet kallas för **band**. Hur många band en sensor har och vilka är deras spektrala domäner är de främsta egenskaper vi behöver veta om en sensor. Minsta element i en digital bild kallas för **pixel**.

[3] Om du vill använda Landsat data måste du vänja dig med koordinatsystemet WRS-2, som identifierar varje bild med två nummer: Path/Row.

En sensor som fångar energi i få, relativt bredda och inte nödvändigtvis bredvidliggande delar av spektrumet kallas för **multispektral sensor**. Landsat och SPOT är exempel på multispektrala sensorer. En sensor som fångar energi i många, relativt smala och oftast brevidliggande delar av spektrumet kallas för **hyperspektral sensor**. Hyperion, ombord satelliten EO-1, är exempel på hyperspektral sensor.

Vissa sensorer kan skapa bilder genom att fånga energi på en ganska bredd del av spektrumet, bredare än en vanlig multispektral band och oftast genom att täcka nästan hela den synliga delen och delar av den nära infraröda. Denna band kallas för **pankromatisk band** (från den grekiska *pan* som betyder "alla" eller "av alla", och *chrom* som betyder "färg", alltså en bild med alla färger).

En annan viktig egenskap är **upplösning**, som låter enkel men alltid leder till förvirring. Vi pratar om **rumslig**, **spektral** eller **radiometrisk** upplösning.

Med rumslig upplösning menar man storleken på minsta objekt vi kan identifiera i en bild. Ofta blandar man ihop detta med **pixel storlek**, men de betyder inte samma sak. Pixel storlek är ett informellt sätt att referera till storleken, projicerad på Jordens Yta av den minsta elementen som en viss sensor kan registrera (eller *Ground Sample Distance - GSD*). Lägg märke på att ofta behöver vi flera pixlar för att korrekt identifiera en objekt, dvs pixel storlek är inte lika med upplösning. *Fråga*: pankromatiska bilder har ofta mycket högre rumslig upplösning en vanliga multispektrala band. Värför?

Med spektral upplösning menar vi hur fint kan vi se spektrala skillnader på en viss objekt. Detta har att göra med hur har vår sensor samplat den elektromagnetiska spektrumet, dvs: hur smala våra band är, spektralt talat. En hyperspektral sensor har en högre spektral upplösning än en multispek-

tral sensor, som i sin tur har högre spektral upplösning än en pankromatisk, som i sin tur har högre en pakromatisk.

Med radiometrisk upplösning menar vi hur fint kan vi skilja på detaljer i intensitet. Detta beror på hur sensor är byggd. Det är mycket relaterat till **kvantisation**, dvs hur många nivåer av intensitet kan vår sensor identifiera på en vis yta. Exempelvis, Landsat TM och ETM+ har traditionellt erbjudit bilder på 8 bit. Varje pixel har ett värde mellan 0 och 255, och på det viset fördelas varje observation i 256 nivåer. Den nya Landsat 8 har en data kvantisation på 12 bitar (fast bilder återsamplas på 16 bitar) och därmed fördelas varje observation i 4096 nivåer. Vi får mycket finare radiometrisk upplösning med Landsat 8.

Vi kan ibland säga också att sensorerna har också en tidsmässig upplösning. Detta har att göra med plattformens återbesök tid, dvs hur ofta återkommer över samma portion av Jorden, och på hur brett sensorens synfält är. För Landsat är detta 16 dagar. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) ombord Terra och Aqua har 1-2 dagars återbesök tid. Detta kan vara nyttigt att veta vid kartläggning av fenomen som ändrar sig snabbt.

4 Data och data behandling

Bilderna vi får från sensorerna ser ibland inte optimala ut. De kan vara t.ex. lite mörka. Detta är ett mycket vanligt situation och och du har säkert korrigerat detta problem hos bilder tagna men en digital kamera. Detta kallas för **förstärkning**. Av alla metoder som finns är **histogram stretching** vanligast. Bokstavligen betyder att vi tar bildens **histogram** och töjer ut och klipper det så att vi ändrar värdena och därmed ändrar bildens utseende. Ofta är detta allt vi behöver när vi siktar på kvalitativ, manuell analys av bilderna, som att kartera utsträckningen åkerfält, bergarter, skog,

vattendrag, mm.

Filtrering är en annan vanlig typ av behandling som vi ibland behöver göra, särskild om bilden har brus eller sensoren har en felaktig skanner. Det finns filter som arbetar i **rumslig domän**, dvs som arbetar med pixlarna och sina grannar. I denna kategori finns filtrar som suddar ut bilder och som hjälper till när bilden har mycket brus (ev. Gauss). Det finns också filter som ökar skärpa, dvs ökar skillnader mellan bredvidliggande pixlar (ev. Sobel). En annan kategori är filtrar som arbetar i den **frekvensdomänen**, dvs som arbetar med Fourier transform av bilder [4].

Numera kan man få tag på nästan alla satellit bilder i en form som vi på ett enkelt och problemfritt sätt kan lägga till på en GIS programvara. De flesta bilder vi laddar ned från ev Glovis kommer redan korrigerade och registrerade. Detta betyder att alla geometriska systematiska fel har redan korrigerats och att bilden har en geografisk projektion (oftast **Universal Transverse Mercator - UTM**) och är orienterad, precis som en karta. Om man däremot arbetar med gamla bilder, skannade flygbilder eller kanske digitala flygbilder, är det sannolikt att man inte kan nyttja av denna lyx. I dessa fall måste man själv **korrigera** och textbfregistrera bilderna. För att korrigera systematiska fel måste man kunna detaljer om sensorn och platformen. I den specifika fall av flygbilder, innebär korrigering alla korrektioner som har att göra med flygplanets attityd och sensorens optiska geometri. Lägg märke på att vi pratar om **systematiska** fel, dvs fel som förekommer regelbundet och vi kan enkelt ta hänsyn till. Det finns också **slumpmässiga** fel som inte är så lätt att korrigera. För att registrera bilder behöver man specificera punkter med kända koordinater, som kallas för **Ground Control Points - GCP**, och sedan göra en **transformation** av bilden till ett

[4] Enormt och avancerat ämne

koordinat system. Transformationen innebär alltid en **återsampling**, där en vis modifiering av den ursprungliga bilden är oundvikligt.

Klassificering är oftast ändamålet för vår fjärranalys studie. När vi klassificerar bilder, identifierar vi grupper i data (våra bilder) som vi relaterar till drag i Naturen. Klassificering är ett mycket stort och brett ämne [5]. I det här stadiet räker med att berätta att det finns två huvudsakliga sätt att klassificera: **övervakad klassificering - eng. supervised classification** och **oövervakad klassificering - eng. unsupervised classification**.

I en övervakad klassificering börjar vi med att definiera träningsområde, den sk **training stage**. Vi ritar polygoner över bilden som omringar pixlar med känd yta (skog, vatten, mm). Sedan kör vi ett program som gör själva klassificering och som jämför varje pixel med statistik från träningsområde och bedömer hur bra passar varje pixel till varje klass som vi definierade. Detta kallas för **labelling**. I en oövervakad klassificering är det sista steget samma, men vi behöver inte träna klassificeraren själva, utan vi kör ett annat program istället som upptäcker grupper i datat automatiskt. Detta steg kallas för **clustering**.

Ibland behöver vi jämföra bilder tagna vid olika tider. Då behöver vi vara säkra på att vi jämför värden med samma enheter. Hur gör vi då?

En extrem nyttig databehandlingsteknik vid dessa tillfälle är bandkvot, nämligen band division. Detta gör man genom att dividera en band genom en annan från en och samma bild. Detta görs pixel-per-pixel, och då manipulerar vi inte den rumsliga domänen, utan vi gör en transformation på den spektrala dimensionen. Bilden som vi får visar relationen mellan band. När vi arbetar med bilder som är tagna i olika tidpunkter kan vi beräkna

[5] Klassificering av satellitbilder är egentligen en del av en mycket bredare och otrolig rikt ämnesfält som kallas för *machine learning* och som enkelt uttryckt står för datorprogram som lär sig av data.

bandkvot i varje bild och sedan jämföra dem. Detta kan vi göra genom en ny kvot, eller med subtraktion (en kvot minus den andra).

Ibland behöver vi genomföra mer avancerade analyser där vi måste kalibrera och korrigera bilder för att beräkna fram ytans **radians** och **reflektans**. Bilderna vi får från databaser har oftast inga enheter, utan bara kodade värde mellan t.ex. 0 och 255, eller 0 och 4095, sk **digital number**. Om vi ska jämföra bilder tagna vid olika tider måste vi börja med att korrigera bilderna för att återskapa deras fysikaliska betydelse som mätningar av strålning, dvs radians. Detta vi gör genom att använda data som finns en en data fil som medföljer: metadata filen. Där finns siffror för **gain** och **offset**, och som beskriver en linjär relation mellan **digitala nummer** och **radians vid atmosfärens topp**. När vi gör detta kalkyl får vi som resultat en bild som visar mätningarna i *Watt per kvadrat meter per steradian per micrometer våglängd* - $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$. Detta betyder energi flux per enhet yta per enhet solid vinkel per enhet bredd av spektrumet: det är en mättning på energi. Bilden måste sparas i formatet **32-bit floating point** (*Varför?*). Efter denna kalibrering fortsätter man med atmosfäriska och topografiska korrigeringar. Atmosfären utgör en viktig agent i fjärranalys, oftast som en störning till mätningar på Jordens yta. Detta beror på att molekyler och partiklar i atmosfären *sprider* strålning. Det är mycket vanligt att se fenomen i Naturen som visar spridningen av ljuset av molekyler och partiklar. *Vilka? Kan du ge exempel?*. Tyvärr är **atmosfärisk korrigering** en svår och komplicerad korrigering och oftast kan vi hitta vägar för att blunda för den (aldrig optimala, förstås). Jordens topografi påverkar också hur mycket energi får vi tillbaka från en viss del och därmed vår förmåga att effektivt identifiera vad ytan består av. Exempelvis, kan vi föreställa oss en berg som består av en och samma material. Om vi låter Solen lysa över den och

vi fotograferar samtidigt, kommer vi att se mörkare och ljusare delar bara pga topografi (skuggor på en sida, ljus på andra): *samma material, samma* ***reflektans****, fast olika* ***irradians****.*

Efter alla dessa påfrestningar får vi kalibrerade och korrigerade bilder i reflektans (ett värde mellan 0 och 1) som lämpar sig till multitemporal klassificering och jämförelse. Bland annat, denna process tillåter oss beräkna **NDVI - Normalized Difference Vegetation Index**, som är följande kvoten:

$$NDVI = \frac{\rho_{infrarod} - \rho_{rod}}{\rho_{infrarod} + \rho_{rod}} \tag{1}$$

där den grekiska bokstaven ρ står för reflektans.

5 Fjärranalys som verktyg för geografiska studier

Hittills har vi gått igenom många teknikaliteter. De är våra verktyg för våra ändamål: att lösa naturvetenskapliga problem. Fjärranalys har enorm betydelse för många naturvetenskapliga ämne. Den erbjuder ett sätt att mäta, kontrollera, överväga och känna utan att vi behöver vara på plats. Detta är speciellt viktigt i svårtillgängliga och avlägsna område.

Fjärranalys ger oss också förmågan att uppleva Naturen en annan skala en vår naturliga. När man är på en fält kan man kanske se omkring max några hundra meter, dvs vi befinner oss på en *lokal* skala. Å andra sidan, när vi analyserar satellit bilder flyger vi på kring 700 km höjd, och då ser vi omkring tiotals, hundratals eller tusentals kilometer, dvs vi går till en *regional* eller t.o.m. *global* skala. Det bästa sättet att förstå processer och fenomen i Naturen är oftast att kombinera fjärranalys studier med lokala besök till fält.

Vi kan använda fjärranalys inom många ämnesområde. Här följer några exempel:

- *vegetation*, genom att exploatera den spektrala signaturen av olika växter, samt morfologin av olika biotoper kan vi kartera, identifiera och följa ändringar i växtzoner. Av speciell intresse är jordbrukstillämpningar, för kontroll av sjukdomar i åkrar och planteringar.
- *geologi*, kartlägga mineraler på ytan, erosion, upptäcka strukturer, mm
- *hydrologi*, genom att exploatera den unika signaturen av vattnet i mark, och av sediment eller alger i vatten kan man kartera och identifiera ändringar i vatten drag.
- *glaciologi*, kartlägga glaciärer, vatten över snöfält, följa cykler av frysning och smältning av is på sjöar och floder, kartlägga hur snö ändrar sig längs säsongen, mm.
- *studier i städer*, för att kartlägga värmekoncentrationer, trafik, föroreningar, mm

Fundera: för att kunna använda fjärranalys måste fenomenet vi är intresserad av manifesteras spektralt.

6 Rekommenderade källor för själv- och vidare studier

Fjärranalys har funnits i många år och man har skrivit mycket om den. Det är därför svårt att ge en komplett sammanfattning av allt som är viktig och relevant inom ämnet. Listan nere innehåller lite vägledning inom djungeln av texter som finns där ute. Lycka till!

6.1 Manualer och webb resurser

Canada Centre for Remote Sensing hos Natural Resources Canada publicerar den oöverträffbara tutorial *Fundamentals of remote sensing* som kan laddas ned gratis från deras webbsajt. Den är extremlätt att förstå. Rekommenderas varmt!

6.2 Böcker

Lillesand m. fl. (2004) är en klassisk inledande text. Mycket lättläst och med så lite matematik som möjligt. Den är nästan en roman. Funkar bra som första text.

Liu och Mason (2009) är en ganska ny, modern, komplett och mycket väl skriven text om fjärranalys och GIS. Innehåller många detaljer om hur man tillämpar tekniker.

Richards (2013) är en mycket fin och lite tyngre inledning. Speciellt för den som är intresserad i att fördjupa kunskaper i fjärranalys.

Jones och Vaughan (2010) ger en mycket bra och bredd inledning till fjärranalys, med särskild inriktning i vegetations tillämpningar.

Följande böcker rekommenderas för den som vill inrikta sig i fjärranalys eller dyka djupare i ämnet. Varning för tung matematik!

Schowengerdt (2006) erbjuder en utmärk inledning till metoder och modeller för sensorer och bilder, samt digital bildkorrigeringar och processer. Rekommenderas varmt för den som är intresserad i en djupare förståelse av fjärranalys.

Canty (2007) ger en mer avancerad behandling av samma grundläggande processer inom klassificering och registrering som böcker ovan.

Rees och Rees (2012) erbjuder en djup insikt i de fysikaliska principerna av optisk och radar fjärranalys.

Gonzalez och Woods (2002) är en mycket komplett och detaljerad inledning till digital bildbehandling. Den är mycket allmänt och inte bara inriktad i fjärranalys, utan den handlar om principer som gäller för alla digitala bilder. En mycket fin bok om man är intresserad i digitala bilder, och en rik källa för att börja förstå hur man manipulerar dem.

6.3 Artiklar

De flesta forskningsartiklar inom fjärranalys beskriver mer eller mindre avancerade tillämpningar inom alla möjliga grenar av geovetenskap. Det är inte garanterad att de ska vara lätt att förstå. Det är ändå bra att leta efter revy artiklar som kanske är lämpade för en första läsning inom ämnet, och även när man vill titta närmare på ett kunskapsfält som man inte känner till. Det lönar alltid sig att bläddra sidorna (eller webbsidor) till *Remote Sensing of Environment*.

Referenser

Canty, M.J. (2007). *Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL*. CRC Press.

Gonzalez, R.C. och R.E. Woods (2002). *Digital Image Processing*.

Jones, H.G. och R.A. Vaughan (2010). *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. Oxford university press Oxford, UK.

Lillesand, T.M., R.W. Kiefer och J.W. Chipman (2004). *Remote sensing and image interpretation*. Ed. 5. John Wiley & Sons Ltd.

Liu, J.G. och P. Mason (2009). *Essential image processing and GIS for remote sensing*. John Wiley & Sons Ltd.

Rees, G. och W.G. Rees (2012). *Physical principles of remote sensing*. Cambridge University Press.

Richards, J.A. (2013). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Springer.

Schowengerdt, R.A. (2006). *Remote sensing: models and methods for image processing*. Academic press.