

3 Fernerkundung – Remote sensing

3.1 Grundlagen – Basics

Grundlagen der Fernerkundung

Unter Fernerkundung versteht man die Detektion von Objekten, ohne mit diesen in direktem Kontakt zu stehen. Grundlagen der Fernerkundung sind elektromagnetische Wellen, die von den zu untersuchenden Objekten ausgestrahlt, reflektiert, gebrochen oder absorbiert werden.

Gemeinhin unterteilt man die Fernerkundung in passive und aktive Fernerkundung. Die konkreten Unterschiede, Besonderheiten, Vor- und Nachteile sowie Untergruppen dieser Einordnung werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Interpretation der Bilder

Unerlässlich für jede Art von Fernerkundung ist die visuelle Bildinterpretation. Diese schließt an die Detektion der Objekte an und ist ein hochkomplexer Prozess. Vollständigkeit und Genauigkeit von Interpretationsergebnissen hängen sowohl von der Detailtreue der jeweiligen fernerkundlichen Methode als auch von der Fähigkeit des Interpreten ab, den Bildinhalt bewusst oder unbewusst zu analysieren.

Verschiedenen Elementen der Bilder sollte hierbei besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden. Ein Schwerpunkt der Forschung und Anwendung liegt auf Algorithmen, die diese Interpretation möglichst automatisch durchführen. Auf einige dieser Klassifikationsalgorithmen wird später eingegangen.

Elemente der Interpretation

Form und Gestalt

Zahlreiche Landschaftselemente können sehr genau allein durch ihre Form identifiziert werden. Dazu sollte die Objektform von oben bekannt sein. Die Krone eines Laubbaumes z. B. sieht oft kreisförmig aus, die eines Nadelbaumes mehr unregelmäßig. Die meisten künstlich geschaffenen Objekte besitzen ebenfalls eine charakteristische Form, die sich von anderen Objekten abgrenzt.

Remote sensing basics

Remote sensing is the term for a detection of object characteristics without being in direct contact with these objects. The basis for remote sensing are electromagnetic waves, which are emitted, reflected, refracted or absorbed by the objects under investigation.

Generally speaking, remote sensing can be separated into active and passive remote sensing. The precise differences, peculiarities, advantages and disadvantages of these sub-groups will be discussed in the following chapters.

Image interpretation

The essential part of every kind of remote sensing is image interpretation. It is a highly complex process directly following the object detection. Completeness and accuracy of the image interpretation results depend on the level of detail of the respective remote sensing technique as well as on the ability of the interpreter to analyse the image content consciously and subconsciously.

Various elements of the images should be given special attention. One focus of research and application is on algorithms that support this interpretation as automatically as possible. Some of these classification algorithms will be discussed later.

Interpretation elements

Shape

Numerous components of the landscape can be identified with reasonable certainty merely by their shapes. Therefore, the shape from above should be known. For example, the crown of a deciduous tree often looks circular, while that of a conifer has a more irregular shape. Most man-made objects can also be identified by their shape.

Größe

Größen wie Längen, Breiten und Höhen können wichtig zum Erkennen von Merkmalen sein. Oft kann die ungefähre Größe eines Objektes durch Vergleich mit vertrauten Merkmalen abgeschätzt werden.

Schatten

Bei schräger Beleuchtung sind Schlagschatten für die Bildinterpretation sehr hilfreich. Ihre Formen bieten ‚Profile‘ von Objekten und enthalten Höheninformation über Türme, große Gebäude usw. sowie Forminformationen aus nicht-vertikaler Sicht, wie z. B. die Form einer Brücke.

Helligkeit und Farbe

Helligkeitsunterschiede in Schwarz-Weiß-Bildern oder Helligkeit, Farbton und Sättigung in Farbbildern enthalten wichtige Schlüssel zur Objekterkennung.

Die Bildwiedergabe eines Objektes entsteht durch komplexes Zusammenspiel von Objekt-, Sensor- und Beleuchtungsparametern. Deshalb sind oft nicht die absoluten Werte, sondern die Unterschiede in Farbton und Farbintensität informativ. Besonders wichtig sind die Unterschiede zwischen Bildern im sichtbaren und im infraroten Spektralbereich.

Muster

Als Muster bezeichnet man häufiges, meist regelmäßiges Auftreten einer Objektart. Beispielsweise können aus Reihen von Gebäuden, regelmäßig geformten Äckern, Autobahnkreuzungen, Obstbäumen usw. Informationen abgeleitet werden. Sehr bekannt sind Entwässerungsnetze, die Rückschlüsse auf die darunter liegende Tektonik oder die Lithologie ermöglichen.

Textur

Textur heißt der visuelle Eindruck einer Oberflächenstruktur, welcher durch die Summe sich wiederholender kleiner Muster entsteht. Die Muster sind zu klein, um einzeln erkannt zu werden. Die Texturwirkung hängt direkt vom Bildmaßstab ab.

Size

Object size, such as length, width and height can be an important aid in identifying features. The approximate size of an object can often be judged by comparison with familiar features.

Shadow

Shadows cast by oblique illumination are very helpful in image interpretation. Their shapes provide profile views of certain features and can give height information about towers, tall buildings etc. as well as shape information from the non-vertical perspective, e. g. the shape of a bridge.

Tone and color

Tonal contrasts in black-and-white images or intensity, hue and saturation in color images provide important clues for object identification. However, the image appearance of an object is the result of a complex interaction of object, sensor and illumination parameters. This is why, in many cases, not the absolute values, but the differences of tone and color provide useful information. Of particular importance are differences between images in the visible and the infrared range.

Pattern

A pattern is a regular, usually repeated, shape with respect to an object. For example, rows of houses or apartments, regularly spaced agricultural fields, intersections of highways, orchards etc., can provide information from their unique patterns. Very popular are drainage networks, which provide clues to underlying tectonic structures and lithology.

Texture

Texture describes the visual impression of roughness or smoothness caused by aggregation of repeated small patterns. The related patterns are too small to be detected individually. The texture effects directly depend on the image scale.

Stereoeffekt

Die Stereobetrachtung von Bildpaaren kann sehr nützlich sein, weil man dadurch wertvolle Informationen erhalten kann, die aus Einzelbildern nicht zu gewinnen sind.

Anordnung und Kontext

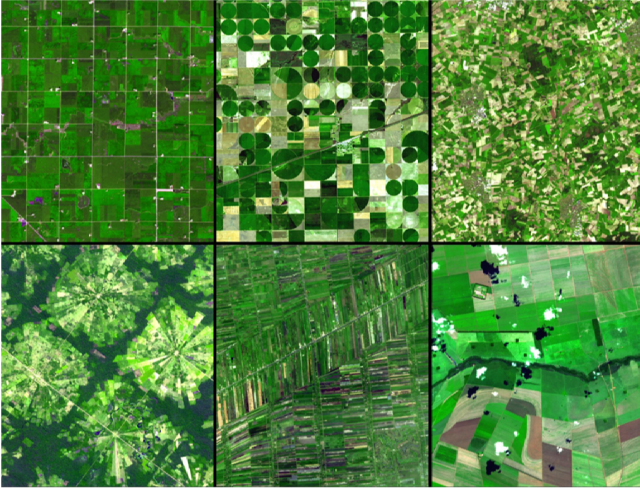
Die spezifische Anordnung von Elementen, geographische Charakteristika, Strukturen der Umgebung oder die Nachbarschaft eines Objektes können einem Interpreten wichtige Bildinformationen vermitteln.

Stereoscopic appearance

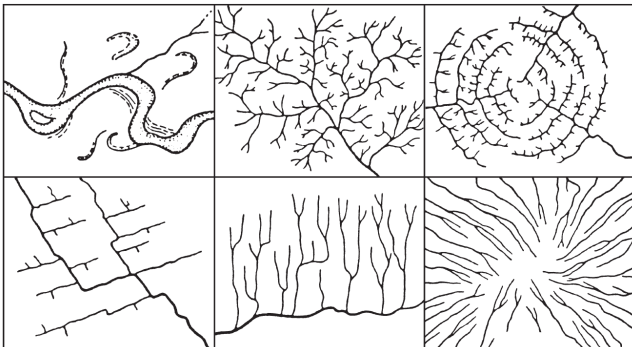
Stereoscopic viewing of image pairs can be extremely useful, because valuable information may be obtained, which is not available from single images.

Association or context

Specific associations of elements, geographic characteristics, configuration of the surroundings or the context of an object can provide the user with specific information for image interpretation.



Muster von Entwässerungsnetzen geben Auskünfte über die Geologie des Untergrunds
Patterns of drainage networks provide information about the underlying geology



3.2 Physikalische Grundlagen – Physical basics

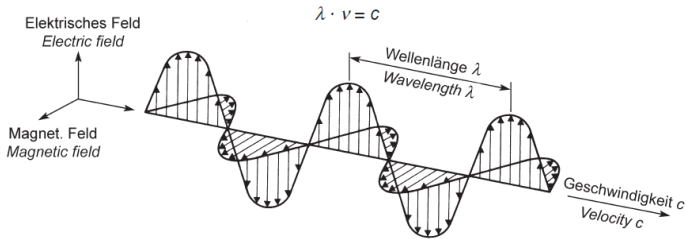
Physikalische Grundlagen

Die Fernerkundung baut auf wenigen, konkreten physikalischen Gesetzen auf, die für ein grundlegendes Verständnis unerlässlich sind. Viele Interpretationen können aufbauend auf diesen Gesetzen verbessert und veranschaulicht werden.

Elektromagnetische Strahlung

Elektromagnetische Strahlung breitet sich als Wellen elektrischer und magnetischer Felder aus. Diese Felder stehen senkrecht zueinander und zur Ausbreitungsrichtung. Die Wellen sind regelmäßige Änderungen der Felder, die in Sinus-Funktionen beschrieben werden.

Die Länge eines vollen Zyklus (von Maximum zu Maximum) ist die Wellenlänge λ , die Anzahl der Zyklen, die einen bestimmten Ort in einer Sekunde passieren, ist die Frequenz ν . Da die Geschwindigkeit c der elektromagnetischen Strahlung im Vakuum konstant ist, gilt zwischen λ , ν und c die Beziehung:



Elektromagnetische Strahlung

Electromagnetic radiation

Entstehung elektromagn. Strahlung

Elektromagnetische Strahlung entsteht durch Umwandlung anderer Formen von Energie. Die Sonne nutzt Kernenergie, Kerzen usw. nutzen chemische Energie, moderne Strahler meist elektrische Energie. Für die Fernerkundung ist die Sonne die wichtigste Strahlungsquelle. Die Atome der Sonnengase stehen unter hohem Druck und strahlen kontinuierlich. Die sichtbare Sonnenoberfläche hat eine Temperatur von etwa 6000 K.

Physical basics

Remote sensing can be explained with a few physical laws that are essential for a basic understanding. Many image interpretations can be improved and visualized based on these laws.

Electromagnetic radiation

Electromagnetic radiation propagates as waves in electrical and magnetic fields. These fields are at right angles to each other and to the direction of propagation of the waves. The waves represent regular fluctuations in the fields and are described by sine functions.

The distance of a complete cycle (from peak to peak) is the wavelength λ , and the number of cycles passing at a fixed point in a second is the frequency ν of the radiation. Since the velocity c of electromagnetic radiation in a vacuum is constant, the relationship between λ , ν and c is:

Generation of electromagn. radiation

Electromagnetic radiation is generated by conversion of other forms of energy. The sun uses nuclear energy in its interior, candles etc. use chemical, most modern radiation sources electrical energy. For remote sensing, the sun is the major source of electromagnetic radiation. The atoms of the sun's gases are under high pressure and emit a continuous spectrum. The sun's visible surface has a temperature of about 6000 K.

Das Maximum der empfangenen Sonnenstrahlung liegt bei $0.5 \mu\text{m}$ Wellenlänge. Das ist im grünen Bereich des Spektrums, wo das menschliche Auge am empfindlichsten ist. Die Land- und Wasserflächen der Erde haben eine Umgebungstemperatur von etwa 300 K. Bei dieser Temperatur strahlt die Erde nur ein 160000stel der Sonnenenergie.

Das Maximum dieser Strahlung liegt bei etwa $10 \mu\text{m}$ Wellenlänge. Diese hat ihren Ursprung in den Temperaturen verschiedener Objekte. Die meistgenutzte Energie ist die Sonnenstrahlung, welche wir als farbiges Licht wahrnehmen. Die Phaseninformation der elektromagnetischen Energie ist für die aktive Fernerkundung relevant, während die Wellenlänge für alle Arten der Fernerkundung eine essenzielle Bedeutung hat. Die verschiedenen Wellenlängen werden im elektromagnetischen Spektrum aufgetragen. Je höher die Temperatur eines Objektes, desto niedriger ist die Wellenlänge (und desto höher ist die Frequenz) des emittierten Lichtes.

Der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Temperatur ist durch das Wien'sche Verschiebungsgesetz gegeben.

The wavelength at which we receive the most energy from the sun is about $0.5 \mu\text{m}$. This lies in the green part of the spectrum, where the human eye has its highest sensitivity. The Earth's land and water surface has an ambient temperature of about 300 K. At this temperature the Earth radiates about 160000 times less energy than the sun.

The maximum emission occurs at a wavelength of about $10 \mu\text{m}$. Its origin is the temperature of different objects.

The mostly used energy is the solar radiation, which we can detect visually as colorful light. The phase information of the electromagnetic wave is important for active remote sensing, while the wavelengths form an essential part for all kinds of remote sensing. The different wavelengths are visualized in the electromagnetic spectrum.

The higher the temperature of the object, the lower is the wavelength (and the higher the frequency) of the emitted light.

The relationship between wavelength and temperature is expressed by Wien's Displacement Law.

Maximale Wellenlänge [m]	λ_{max}	Maximum wavelength [m]
Temperatur in [K]	T	Temperature [K]

$$\lambda_{max} \cdot T = b$$

$$b = 2897.7729 \quad [\mu\text{mK}]$$

Die Verteilung aller emittierten Wellenlängen errechnet sich aus dem Planckschen Strahlungsgesetz.

Dieses hat verschiedene Formeln, je nachdem ob es, unter anderem, nach Frequenz oder Wellenlänge berechnet oder ob eine gerichtete Strahlung angenommen wird im Gegensatz zu der Betrachtung eines gesamten Halbraumes.

The distribution of all emitted wavelengths can be derived from Planck's Law of Radiation.

The law has different forms, depending, among others, whether the frequencies or the wavelengths of the radiation are used for its calculation or whether a directed radiation is used as opposed to a whole half space.

Das Plancksche Strahlungsgesetz beruht auf der Annahme eines Schwarzen Körpers. Eine repräsentative Formel ist folgendermaßen:

The Planck Law of Radiation is based on the assumption of a black body.

A representative formula is the following:

$$L(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}]$$

$$c_1 = 2hc^2 = 3.741832 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$c_2 = \frac{hc}{k} = 1.438786 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$$

$$h = 6.626176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$k = 1.380662 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Schwarzer Körper

Der Schwarze Körper ist ein idealer Strahler, der die auf ihn fallende Strahlung vollständig absorbiert und Strahlung mit dem Emissionsgrad 100 % abgibt. Die spezifische Ausstrahlung eines Schwarzen Körpers ist nur durch seine Temperatur bestimmt und ist durch das Plancksche Gesetz gegeben. Die Temperatur des Schwarzen Körpers, der dieselbe Strahlung abgibt wie ein beobachtetes Objekt, wird als Strahlungstemperatur des Objekts bezeichnet.

Für die Betrachtung des Planckschen Strahlungsgesetzes wird oftmals der Raumwinkel einbezogen.

Raumwinkel

Der Raumwinkel Ω ergibt sich, wenn man die Fläche A auf einer Kugel durch das Quadrat des Kugelradius r dividiert. Die Einheit ist ein Steradian (Symbol sr).

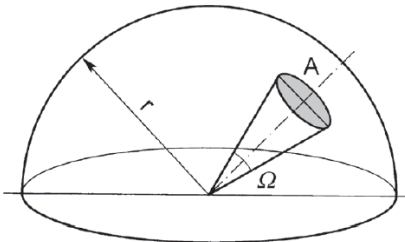
Blackbody

The blackbody is defined as an ideal radiator and absorber that completely absorbs all radiant energy striking it and that emits radiation with an emissivity of 100 %. The radiant exitance of a blackbody is only determined by its temperature and is exactly described by Planck's radiation law. The temperature of the blackbody which radiates the same energy as an observed object is called the brightness temperature of the object.

For the usage of the Planck law of radiation, the solid angle is often applied.

Solid angle

The solid angle Ω is defined as the area of a spherical surface A , divided by the square of the radius r of the sphere. The unit is the steradian (symbol sr).



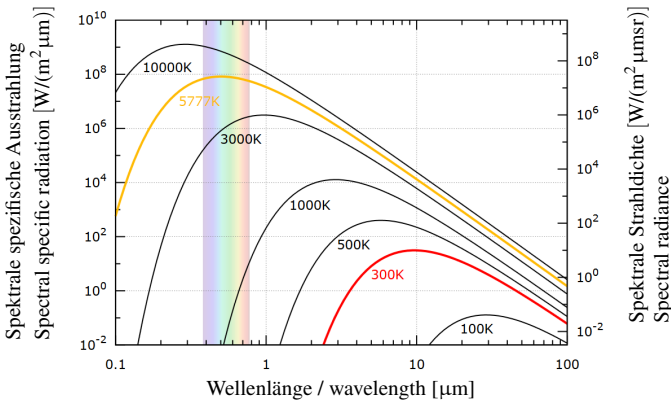
$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

Definition des Raumwinkels Ω
Definition of solid angle Ω

Das Plancksche Strahlungsspektrum berechnet sich aus dem Planckschen Strahlungssatz: Zu sehen sind die Energiekurven verschiedener Objekte, aufgetragen über die Wellenlängen der emittierten Strahlung. Die Einheiten der Energie sind angegeben in Leistung (W) pro Fläche (m^2) und pro Wellenlänge (μm) auf der linken Achse, sowie zusätzlich pro Einheitswinkel (gerichtet, sr) auf der rechten Achse. Der Bereich des sichtbaren Lichts (580 – 720 nm) ist entsprechend farblich hinterlegt.

The Planck Spectrum can be derived from the Planck Law of Radiation: The graph shows the energy curves of different objects in relation to the wavelengths of the emitted radiation. The unit of the energy is depicted as power (W) per area (m^2) and per wavelength (μm) on the left axis and additionally per solid angle (sr) on the right axis.

The area of the visible light (580 – 720 nm) is color-coded with respect to the color of the light.



Die sieben Kurven korrespondieren zu Objekten mit verschiedenen Temperaturen, angegeben in Kelvin. Farblich hervorgehoben sind die Temperaturen der Sonne (gelb, 5777 K) sowie der Erde (rot, 300 K). Die Energie der Sonne, obwohl sie mehr als den gesamten hier dargestellten Bereich umfasst, hat ein Maximum im Bereich des sichtbaren Lichtes.

The seven curves represent objects at seven different temperatures, shown in degrees Kelvin. The colored temperature curves belong to the sun (yellow, 5777 K) and the Earth (red, 300 K). This graph shows, that the sun's energy, despite covering more than the entire range of the depicted x-axis, has a peak in the visible light.

Anders ausgedrückt: Unsere Augen haben sich evolutionär auf das Maximum der von der Sonne ausgestrahlten Energie angepasst.

In other words, our eyes have evolutionarily adapted on the peak of the sun's emission spectrum.

Mit bloßem Auge sehen wir die Erde nicht leuchten. Das stimmt überein mit der Kurve der Erdstrahlung, die nicht in den Bereich des sichtbaren Lichtes eintritt.

To the naked eye, the Earth doesn't glow. This corresponds with the curve of its emission, which does not enter the range of the visible light.

Was wir leuchten sehen, ist zum Beispiel aktive Lava, welche uns rot-gelb erscheint. Heiße Lava hat Temperaturen von etwa 1000 K. Das Maximum der emittierten Strahlung eines Objektes dieser Temperatur liegt zwar außerhalb des sichtbaren Spektrums, ein Teil der Kurve schneidet aber vor allem den roten und gelben Bereich.

What we do see glowing from the Earth is, for example, active lava, which appears red-yellowish to us. The temperature of active lava is roughly 1000 K. The maximum of the emitted radiation of an object with this temperature is outside the visible spectrum. However, its curve intersects dominantly the red and yellow range.

Plancksches Strahlungsspektrum *Planck's spectrum*

```

1  # a2020-186
2  import numpy as np
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  from matplotlib.ticker import FormatStrFormatter
5
6  h, kB, c = 6.626e-34, 1.381e-23, 2.998e8      # Required physical constants
7
8  def planck(lam, T):                          # The Planck function,
9      return 2*h*c**2 / lam**5 / (np.exp(h*c/lam/kB/T) - 1)
10
11 lam = np.linspace(3,20, 100)
12 # wavelength array, 3 - 20 um, stepsize 100
13 T = np.array([200, 300, 400, 500, 600, 700]) # temperature array
14 pfuncs = planck(lam * 1.e-6, T[:,None])
15 lab = []
16
17 # create legend
18 for i in range(len(T)):
19     lab.append(str(T[i])+" K")
20
21 # draw as a figure
22 fig, ax = plt.subplots()
23 ax.yaxis.set_major_formatter(FormatStrFormatter('%04.01e'))
24 for pfunc in pfuncs:
25     ax.plot(lam, pfunc, label=lab[i])
26     i=i+1
27 # logarithmic scale
28 plt.xscale('log')
29 ax.legend(loc='upper right')
30 ax.set(xlabel='wavelength in \u03bcm', ylabel='spectral radiation in W/(m\u00b2sr\u03bcm)')
31 plt.tight_layout()
32 plt.savefig('pyfig186a.pdf')
33 plt.show()

```

