MADRID
3 al 28 de Julio de 2006

Tema: **1.2 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN**
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Profesor: Antonio Arozarena Villar
Dr. Ingeniero de Montes
Ingeniero en Geodesia y Cartografía
Profesor de la Universidad Politécnica de MADRID
Subdirección General de Producción Cartográfica
IGN. España

1.- PRINCIPIOS FISICOS DE LA TELEDETECCION

1.1. La energía radiante origen de la información territorial.

1.2. Espectro electromagnético.

1.3. Flujo de la energía y de la información.

1.4. Leyes físicas de la radiación electromagnética.

1.4.1. La radiación electromagnética como fuente de energía.

1.4.2. Propagación de la energía en la atmósfera.

1.4.3. Interacción de la energía radiante con la superficie terrestre.

1.5. Signatura espectral. Caracterización espectral de las diferentes coberturas terrestres.

1.5.1. Caracterización espectral de la vegetación.

1.5.2. Caracterización espectral del suelo.

1.5.3. Caracterización espectral del agua.

1.6. Bibliografía

1.1. La energía radiante origen de la información territorial:

Los Sensores encargados de obtener información del territorio la reciben en forma de "energía radiante" (Q_i) que una vez transformada en formato digital es reenviada a la tierra para su posterior tratamiento digital (t.d.).

Por tanto se puede decir en una primera aproximación que la información digital bruta con la que empieza todo proceso de t.d. representa para cada unidad de tratamiento elemental (pixel), una Energía radiante "resultante" (Q_i) de esa unidad.

Esta "energía radiada" en todas direcciones la representaremos por Q_i y se mide en julios (J).

De una forma mas explícita se puede resumir todo el proceso de emisión, transmisión y captura de esta energía radiante de la forma siguiente:

Emisión: Todos los cuerpos con temperatura superior a cero grados absoluto (0° K = -273°C) emiten una radiación electromagnética (r.e.) de diferentes longitudes de onda (λ_i) (Planck).

Esta (r.e.) es una forma de transferencia de energía (Q_i en el espacio libre. (Hunt).

Transmisión: Esta energía se transmite a la velocidad de la luz ($c = 3{,}10^8$ m/s) con movimiento ondulatorio armónico y propiedades de onda y de corpúsculo.

Esta Q_i se verá alterada tanto por atravesar la atmósfera como en su interacción (reflexión, refracción) con los diversos objetos con los que intercepta.

Captura: La energía recibida en el sensor, es por tanto la Q_{iT} resultante en todos los procesos físicos anteriormente enumerados, por unidad de superficie captada (pixel).

1.2. Espectro electromagnético:

Todos los cuerpos que emiten energía, lo hacen en una sucesión de valores de λ_i en forma continua, emitiendo para una determinada λ_i una mayor cantidad de energía lo que diferencia a unas fuentes de emisión de otras. Esta diferencia se debe básicamente a la temperatura de emisión (Ley de Wien). (fig. 1)

Esta sucesión continua de valores λ_i de composición similar es lo que se conoce como "espectro electromagnético" (e.e).

El "e.e." se ordena en función de sus bandas λ_i, midiéndose en μm las "ondas cortas" (rayos γ, χ) y en cm. ó m. las "ondas largas" empleándose las de mayor longitud en telecomunicaciones (kilométricas).

La parte del "e.e." que estudia la Teledetección se puede agrupar en:

Optico.- Visible (0,4 - 0,7 μm)
Infrarrojo próximo (0,7 - 1,5 μm)
Infrarrojo medio (1,5 - 6 μm)
Infrarrojo térmico (3 μm)
Infrarrojo Lejano (6 - 1000 μm)

Microondas.- Radares (1 mm - 1m)

1.3. Flujo de la energía y de la información:

La energía Q_i origen de la información recibida por el sensor se puede cuantificar mediante el concepto de "flujo radiante" (F_i), que será la energía radiada (Q_i) en la unidad de tiempo

$$F_i = \frac{\Delta Q_i}{\Delta t} \quad \text{se mide en (watios)}$$

Este flujo será la suma correspondiente a las tres energías radiantes que inciden en el sensor: reflejada, emitida y transmitida.

Es decir si $Q_{iT} = Q_{iR} + Q_{iE} + Q_{iTM}$ significará por tanto que

$$F_{iT} = F_{iR} + F_{iE} + F_{iTM}$$

Como se puede comprender la incidencia de estas Q_i entre los diversos cuerpos terrestres y la atmósfera hace que la Q_{iT} sea de difícil separación para un objeto o parcela elemental determinada.

Otras formas de cuantificar esta energía son:

. Emitancia (radiancia total emitida) $M = \frac{\Delta F_i}{\Delta A}$ watios m^{-2}

. Intensidad radiante (I) $I = \frac{\Delta F_i}{\Delta \Omega}$ watios, esteroradian^{-1}

. Radiancia espectral (R) $R = \frac{\Delta I}{\Delta A . \Delta \lambda_i} \cos \theta$

(watios,m^{-2},est^{-1}μm^{-1})

θ = ángulo de incidencia

. Si dividimos el flujo total F_{iT} por el mismo obtenemos:

$$1 = \frac{F_{iR}}{F_{iT}} + \frac{F_{iE}}{F_{iT}} + \frac{F_{TM}}{F_{iT}} \quad ==> \quad 1 = R + A + T$$

siendo R = Reflectividad
E = Absortividad
T = Transmitividad

En un "cuerpo negro" se cumple E = 1 ==> R = T = 0
es decir absorbe toda la energía.

Lo normal es que todos los cuerpos absorban una parte (transformándolo posteriormente en calor) reflejando el resto.

El flujo de información es en forma esquemática:(fig.2)

. El sol y tierra origen o fuente de información.
. El sensor capta la información en forma de energía radiante.
. La energía radiante es transformada en información digital.
. La transmisión desde el satélite se puede realizar en "tiempo real" a la estación de recepción de la tierra o en tiempo diferido a satélites de comunicación (TDRS) que posteriormente transmitirán a la tierra.

1.4. Leyes físicas de la radiación electromagnética:

En este apartado se definirá la energía radiante así como el sistema físico que describe el estudio global de la misma (interacción con la atmósfera y con la tierra).

1.4.1. La radiación electromagnética como fuente de energía:

Según Planck la energía Q_i de un cuerpo negro (para una determinada temperatura de emisión) es función de la frecuencia de emisión "f" (por tanto de su longitud de onda).

$Q_i = \hbar \cdot f$ siendo $\hbar$ = cte de Planck

Esto implica que tanto el flujo radiante (F_i) como la emitancia (M_i) depende de la longitud de onda emitida.

De forma explícita Planck definió la emitancia de un cuerpo negro para una λ_i como:

$$M_{n,\lambda} = \frac{2\pi\hbar c^2}{\lambda^5}\left[\frac{1}{e^{\frac{\hbar c}{\lambda KT}} - 1}\right]$$

Siendo:

. $\hbar$ = cte de Planck = $6{,}266.10^{-34}$ J.s

. K = cte de Boltzman = $1{,}38.10^{-23}$ $ws^2 . k^{-1}$

. T = Temperatura absoluta de un cuerpo negro en grados Kelvin, °k

Basándose en esta teoría y de acuerdo a la "Ley de desplazamiento de Wien, se define la λ_i a la que se emite la máxima cantidad de energía (λ max.) en función de la temperatura del foco emisor:

λ max = A/T

siendo:

. A = 2898 µm . °k

. T = temperatura en °k

De esta forma conocida la temperatura de emisión de un objeto podríamos

conocer en que longitud de onda se emite la mayor parte de energía.

Para el caso del sol (temp. de emisión 6000 °k)

λ max = 0,4 μm (dominio del verde)

Para el caso de la tierra (temp. de emisión 300 °k)

λ max = 9,7 μm (dominio del IR lejano)

Integrando para todas las longitudes de onda, tendremos:

$M_n = \sigma \cdot T^4$ Ley de Stefan Boltzman

Siendo σ = cte de Stefan Boltzman = $5{,}6697.10^{-8} W.m^{-2}k^{-4}$

Esta energía radiante se ha estudiado físicamente teniendo en cuenta que en la misma inciden las leyes del movimientos ondulatorio, a nivel macroscópico (Huygens, Maxwell) y las de la teoría cuántica (unidades discretas de energía = fotón) a nivel microscópico (Planck y Einstein).

Como movimiento ondulatorio sabemos que es armónico y continuo F(λ.f), se transmite a la velocidad de la luz y está compuesto por dos campos, uno vertical (eléctrico) y otro horizontal (de tipo magnético), pudiéndose expresar que:

C(velc.luz) = λ.f

Como unidades discretas de energía sabemos que la cantidad de energía se expresa por:

$Q_i = \hbar . f$ f= frecuencia = Herzios = ciclos. s^{-1}

Uniendo ambos principios:

$$Q_i = \frac{\hbar . c}{\lambda}$$

<u>Conclusiones</u>:

- De acuerdo con la Ley de Stefan Boltzman, las pequeñas modificaciones de temperatura implican grandes modificaciones de Energía (Q_i) y Emitancia (M).

- Cuanto mayor es la λ, menor será la energía Q_i y mas difícil será su detección por los sensores.

En un "cuerpo real" la Emitancia (M) será según Kirchoff:

$M = \varepsilon M_n$

siendo ε = factor de emisividad < 1

1.4.2. Propagación de la Energía en la atmósfera:

Las fuentes básicas de energía son el Sol y la Tierra, emitiendo a diversas longitudes de onda y a diferentes temperaturas.

Esta Energía interacciona con la atmósfera, que está compuesta principalmente por moléculas gaseosas y partículas en suspensión (CO_2, O_2, O_3, N_2, Argon, vapor de H_2O, etc.)

De todos ellos los que mas afectan a la Energía radiante serán el CO_2, O_3, vapor de H_2O y el O_2, produciéndose dos tipos de fenómenos:

*** Absorción:**
. Implicará una reducción de la energía debido principalmente al CO_2, O_2, O_3

. En la parte del "e.e" donde existe menor absorción, es donde convendrá diseñar los sensores, conociéndose dichas zonas como "Ventanas Atmosféricas". (figs. 3 y 4)

*** Dispersión (Scattering):**
. El fenómeno de dispersión producirá sobre la energía incidente el que se "refleje" o "refracte" variando su dirección e intensidad (por tanto una disminución de la misma).

Este fenómeno variará en función de la longitud de onda de la radiación incidente y del tamaño de la partícula (básicamente los aerosoles y el vapor de agua).

Los tipos de dispersión se pueden clasificar de la forma siguiente:

- Dispersión Rayleygh:
. La λ_i es mucho mayor que el tamaño de las partículas (cielo azul).

- Dispersión de Mie:
. La λ_i es similar al tamaño de partícula (brumas).

- Dispersión no selectiva:
. La λ_i es menor que el tamaño de la partícula (nubes blancas).

Esta última es la de mayor "incidencia" y se evita estudiando el momento y la zona del espectro adecuados.

Conclusiones:

- Los fenómenos físicos que afectan a la Energía a su paso por la atmósfera van a significar una reducción de la misma (coeficiente de atenuación de la información)

- Esta incidencia (atenuación) será mayor cuanto menor sea la longitud de onda).

1.4.3. Interacción de la Energía radiante con la superficie terrestre:

Este proceso dependerá principalmente de la composición, estructura y emplazamiento de los materiales de la superficie terrestre, de la geometría de la observación (foco emisor ángulo de incidencia, etc.) y de la longitud de onda incidente.

Todo ello implica que la Energía incidente sea:

- Reflejada:
. En forma especular o en todas las direcciones (difusa).

- Absorbida:
. Que posteriormente se transformará en Energía emitida.

- Transmitida:
. Energía geotérmica de la propia tierra.

Para cuantificar este interacción se definen las siguientes relaciones:

- Albedo (coeficiente de reflexión) = $\frac{\text{Energía reflejada}}{\text{unidad de superficie}}$
en tanto por ciento

- Reflectancia espectral = $\frac{\text{Energía reflejada } (\lambda_i)}{\text{Energía incidente } (\lambda_i)} \cdot 100$

Conclusiones:

- Se puede obtener valores de Energía diferentes a igualdad reflectivada si varían las condiciones geométricas de observación.

- Las variaciones estacionales pueden dar valores de energía diferentes o igualdad del resto de condicionantes.

- El proceso de correlación entre Energía y objetos a estudiar es compleja.

1.5. Signatura espectral. Caracterización espectral de las diferentes coberturas terrestres:

La Energía emitida, reflejada o transmitida a las distintas longitudes de onda por cada objeto es lo que identificará en principio a cada uno y se conoce como "Signatura espectral".

Esta correspondencia objeto/signatura no es constante ni homogénea puede variar por todos los fenómenos de interacción estudiados anteriormente, si bien se puede considerar que "a priori" el conocimiento general de estas "signaturas" para diferentes objetos o cubiertas servirán para una adecuada selección de bandas (partes del espectro electromagnético). (fig.5)

1.5.1 Caracterización espectral de la vegetación:

La reflectancia de la vegetación (rf) en el "óptico" tiene unas zonas típicas de absorción de la energía (menor reflectancia) por las siguientes causas:

. Absorción debida a la clorofila: 0,4 y 0,6 μm
. Absorción por el H_2O: 1,4 - 1,9 y 2,8 μm.

El máximo de "rf" se encuentras entre 0,7 y 1,4 μm debido a la estructura celular interna de la hoja siendo ello un indicativo del vigor vegetativo y de su morfología por lo que nos ayudará dicho intervalo para clasificar la vegetación.

En cuanto a la zona del "infrarrojo térmico" servirá para detectar cambios de temperatura en las superficies cubiertas de vegetación, indicando dicho cambio ciertas características de la misma:

. La evapotranspiración al liberar calor implica una pérdida de t^o

. La función clorofílica absorbe Energía térmica por lo que habrá una menor reflectancia.

.Para compensar el balance energético se emite mayor temperatura por la noche, por lo que un sensor térmico podría captar dicha radiación a esas horas.

La radiación electromagnética en la "zona de microondas" emitida por "sensores activos" tiene una gran respuesta en la vegetación dependiendo fundamentalmente de la "rugosidad" de la cobertura, siendo función de las condiciones morfogenéticas y de la orientación de las mismas.

1.5.2. Caracterización espectral del suelo:

En cuanto a suelos cubiertos de vegetación su evaluación vendrá estudiada por la respuesta de dicha cubierta vegetal.

En suelos desnudos, la mayor incidencia dependerá de factores como son: textura, estructura, contenido de agua y su composición química.

En la parte del espectro "óptico", la reflectividad va aumentando a medida que aumenta la longitud de onda (con dos puntos de absorción debidos al agua en 1,4 y 1,9 μm)

En general la materia orgánica reduce la reflectividad (mayor capacidad de absorción)

La humedad absorbe las radiaciones mas largas de longitudes de onda.

En zonas del "IR térmico" el contenido humedad actúa con una mayor variación térmica, lo que permitirá detectar suelos encharcados.

En la zona de "microondas" se puede decir que el agua tiene un poder de retorno bajo, por lo que la imagen aparecerá oscura.

En suelos secos no solamente existe un fenómeno de retrodifusión fuerte (tonos claros de imagen) si no que existe la posibilidad de detectar estructuras a varios metros de profundidad por la capacidad de penetración de las longitudes de ondas largas.

1.5.3. Caracterización espectral del agua:

Todos los fenómenos de absorción y transmisión de Energía se produce en el espectro "visible", teniendo no obstante una pequeña reflectancia en comparación con el suelo y la vegetación.

Si el agua se encuentra a escasa profundidad la reflectancia es mayor.

El contenido de materias en suspensión aumenta la reflectancia especialmente en el azul y el verde.

El agua en la parte de "microondas" tiene una capacidad de retorno baja, lo que implicará imágenes oscuras en esa parte del espectro electromagnético.

1.6. BIBLIOGRAFIA:

CHUVIECO, E.: Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed.: Rialp.

CURRAN,P.J.: Principales of Remote Sensing. Ed.: Longman.

LILLESAND,T.M-KIEFER: Remote Sensing and Image. Interpretation. Ed.: J. Wiley and Sous.

LINTZ-SIMONET.: Remote Sensing of Environment. Ed.: Addison Wesley (ABP).

MATHER, P.M.: Computers Processing of Remotely Sensed Images. Ed.: J. Wiley and Sous.