

# Compressió d'imatges de teledetecció

Pedro-José Cortina Méndez

**Resum**— Cada cop es necessita treballar amb majors volums de dades per poder obtenir informació que processar després, d'aquí la importància de transmetre-les bé i que ocupin poc. Hi ha moltes tècniques amb diferents avantatges i inconvenients. RWA pretèn aconseguir aprofitar-se de la redundància de les dades per aconseguir un major rendiment a l'hora de la transmissió i l'emmagatzement de les dades. Per això RWA utilitzarà la base de les Discrete Wavelet Transform per obtenir una predicció i utilitzar-la per comprimir les dades.

**Paraules clau**— Teledetecció, compressió dades, MATLAB, Kakadu, RWA, imatges, processament, matriu, redundància, vectors propis, transformada, DWT

**Abstract**— The need to work with higher volumes of data to process that information later is increasing, hence the importance of transmitting them well and not to take too much data of space. There are many techniques with different advantages and disadvantages. RWA aims to achieve advantage of data redundancy to achieve higher performance when transmitting and storing data. To do this, RWA will be based on the Discrete Wavelet Transform for a prediction and use it to compress the data.

**Index Terms**— Remote sensing, data compression, MATLAB, Kakadu, RWA, images, processing, matrix, redundancy, eigenvectors, transform, DWT



## 1 INTRODUCCIÓ

Cada cop s'estan utilitzant més els sensors col·locats en satèl·lits, avions o altres cossos, per observar la Terra. Al tractar-se d'un procés automàtic podem anomenar-les imatges de teledetecció. Aquestes imatges cobreixen necessitats tan diferents com deteccions de desastres naturals o l'expansió del canvi climàtic. Al requerir-se de moltes imatges i de mida considerable s'ha de trobar alguna tècnica que ajudi al transport i enviament d'aquestes imatges pel seu posterior anàlisi.

Aquí és on entra en joc RWA (Regression Wavelet Analysis), que és una tècnica lossless[1] que tracta de reduir la redundància, per així aconseguir una major compressió de les dades.

RWA és una tècnica lossless, vol dir que es podrà recuperar l'imatge original després de la compressió sense cap mena de pèrdua, que apareix a partir de les tècniques que s'utilitzen actualment per la compressió d'imatges de teledetecció, aquestes tècniques fan ús de transformades però RWA afegeix a més el fet de la predicció per eliminar la redundància després d'haver realitzat la transformada en l'espectre de l'imatge a comprimir.

Tal i com hem dit les tècniques actuals utilitzen transformades per realitzar la feina de la compressió, per tant RWA també ha de fer ús d'una transformada, l'escollida per RWA ha estat Wavelet.

Wavelet ha estat escollida a causa de què és una transformada invertible, i del poc impacte que té a l'hora d'executar-se pel que fa a termes de memòria i complexitat de còmput. Per aquests fets es van haver de descartar

algunes transformades. Wavelet, en concret DWT (Discrete Wavelet Transform, per la seva part consisteix a agafar la imatge i anar operant sobre els senyals, i anar-los dividint cada cop a la meitat per obtenir els components d'aproximació i els components de detall, tantes vegades com es requereixi, comptant que cada cop dividim i arribarà un punt en el qual ja no es podrà dividir. Al ser invertibles, per recuperar les dades haurem de realitzar tantes operacions a la inversa com sigui necessari per recuperar la imatge original.

Aquest document explicarà el treball realitzat en aquest projecte a partir del concepte de Regression Wavelet Analysis.

Després d'aquesta introducció es començarà per mostrar els objectius del projecte, juntament amb una petita visió de l'estat de l'art. Seguirà amb la planificació definida pel desenvolupament del projecte i la metodologia escollida pel projecte, i amb els problemes que hi ha hagut durant el desenvolupament del projecte seguint la planificació. A continuació es mostraran les dades d'entrada amb les que es treballen per realitzar els experiments i els diferents instruments (o eines) que ens han permès dur a terme els experiments. Després de veure les eines es realitzarà una petita explicació de quin és el procés que es segueix per poder obtenir les imatges comprimides a partir de les transformades. Finalment el document es tancarà amb els resultats obtinguts i amb les conclusions incloent possibles línies futures i beneficis que ha suposat la realització del projecte.

## 2 OBJECTIUS

Aquest projecte, el qual es podria definir dins de la categoria de projecte d'investigació dintre de les diverses categories del Treball Final de Grau[2], té l'objectiu principal de donar una visió del sistema RWA i realitzar un estudi sobre quin seria el millor filtre a utilitzar per aquest sistema. Aquests filtres són les transformades de les que hem parlat amb anterioritat que s'encarreguen de realitzar la compressió.

Inicialment RWA utilitza una transformada Haar però amb aqueest estudi es vol realitzar una comparativa amb alguna altra Discrete Wavelet Transform.

Per obtenir aquest objectiu s'han definit un seguit d'objectius més específics, els quals se'ls hi ha donat una prioritat:

Objectiu	Prioritat
Aprendre quin és el funcionament de RWA a base d'experiments amb els bancs d'imatges de diferents sensors com Hyperion o AVIRIS.	Crític
Entendre els diferents models de regressió a l'espectre i veure el rendiment per cadascun d'ells.	Crític-Prioritari
Comprendre el funcionament de les diferents transformades: Haar i DWT 5/3. Per posteriorment fer ús d'elles.	Prioritari
Realitzar un estudi analitzant quin és el comportament de diferents transformades com a filtres per RWA mitjançant diferents nivells de transformació.	Prioritari
Aconseguir una implementació de PLL (Progressive-Lossy-to-Lossless) per RWA.	Secundari

Taula 1. Objectius amb les seves respectives prioritats.

## 3 ESTAT DE L'ART

Actualment hi ha diverses tècniques de compressió ja funcionant que serà sobre les que es treballarà per trobar la solució més adequada segons els nostres interessos. El punt de partida des d'on treballa RWA són les transformades Discrete Wavelet Transform que es veuen a continuació.

### 3.1 DWT

Consisteix a anar dividint per la meitat les dades en una part en dues parts la informació a base d'operacions matemàtiques. Per la següent iteració també es realitza el mateix procediment però ara les dades sobre les quals s'operen són la meitat de grans. És a dir, es va fent en forma de cascada fent-se cada cop més petit i utilitzant les dades de l'anterior iteració per obtenir les d'aquesta. D'aquesta manera a través d'operacions anirem obtenint a cada iteració en una banda els components d'aproximació i a l'altra els components de detall. Per recuperar les dades originals s'hauria de repetir les operacions inverses tants cops com nivells s'hagin utilitzat en el "forward",

utilitzant els components de detall que no s'han anat modificant a cada iteració. Entre diferents Wavelets trobem la Haar i la DWT 5/3 de les que també es fa ús al projecte com a filtre per Regression Wavelet Analysis.

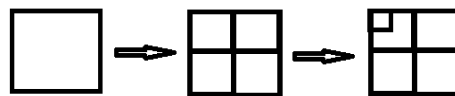


Fig.1: Comportament de Discrete Wavelet Transform amb 0, 2 i 3 nivells.

### 3.2 PCA

PCA (Principal Component Analysis)[3] és una de les tècniques més utilitzades per trobar patrons entre les dades. És una tècnica que utilitza una matriu de covariància, complexa de calcular. A partir d'aquesta matriu de covariància es calculen els vectors propis[4]. Amb aquests vectors propis podem obtenir les noves dades transformades, escollint els valors que ens interessin. També a l'hora de fer una recuperació de les imatges comprimides amb PCA és més difícil recuperar-les quan tenen molts components.

## 4 METODOLOGIA

Com a metodologia per la realització d'aquest projecte s'utilitzarà la metodologia Waterfall[5], s'ha escollit Waterfall gràcies a la seva estructura. Aquesta estructura no ens permetrà avançar a una fase fins que no s'hagi acabat l'anterior fase, és a dir, si la fase no és validada no es pot passar a la següent fase. Un cop acabada cada fase, realitzem una revisió i concretem si avancem o ens hem de mantenir a la fase i modificar el disseny que ens ha donat els resultats actuals. Aquesta metodologia és l'escollida degut al baix cost en el cas d'haver de redissenyar alguna fase. En un principi es va dubtar entre aquesta metodologia o utilitzar l'altra metodologia que s'havia pensat com a alternativa: Scrum[6]. Scrum consisteix en iteracions en les quals es van realitzant entregables per un destinatari pel qual tindran beneficis. Al final es va escollir Waterfall a causa de la familiarització que es té amb aquesta metodologia i de què era més adequada pel projecte que no pas Scrum per les característiques implícites de Waterfall.

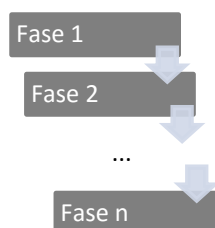


Fig. 2: Estructura de la metodologia Waterfall

A conseqüència d'una problemàtica que s'ha tingut amb els SO (s'explica a la secció 5.1) hi ha hagut algun endarreriment que ha provocat que per avançar en el desenvolupament del projecte no es pogués acabar del tot la fase de la planificació, i s'hagués de modificar l'ordre d'execució de les accions a les fases. Per tant aquí s'ha trobat un problema amb Waterfall, i és que si apareix algun nou requeriment durant la realització del projecte provoca endarreriments que és el que ha passat i per això no s'han pogut completar certes fases.

## 5 PLANIFICACIÓ

A partir dels objectius esmentats en la secció d'objectius i basant-se en l'estructura de la metodologia s'han especificat una sèrie de fases consecutives. No es passarà a cap fase sense abans haver acabat la fase anterior. A continuació es detallen les diverses fases per les quals es passa per la realització del treball. Aquestes fases s'han intentat fer coincidir amb les fites de l'assignatura, tot i que en algun moment s'ha "desquadrat" per diferents motius. Les distintes fases són les següents:

- En una primera fase es fa un breu estudi sobre l'estat de l'art i una comprensió del problema a tractar a base de la lectura del paper[7] proporcionat per l'equip que està dissenyant RWA. A més després d'aquesta fase s'han pogut definir millor alguns objectius que no eren gaire adients. En acabar aquesta fase es va elaborar l'Informe Inicial.
- A la fase 2 es realitzen un conjunt d'experiments del codi de RWA en MATLAB[8] amb els diferents models, per tenir una visió més completa del funcionament del sistema. En el moment en què es va finalitzar la fase 2 es va poder redactar l'Informe de Progrés 1.
- Un cop acabada la segona fase, la qual es tractava de les tècniques a l'espectre, es passa a treballar amb Kakadu[3] per familiaritzar-se amb aquest software i es realitza un breu estudi sobre JPEG2000[], principalment per poder passar a la quarta fase que serà on treballarem més amb Kakadu. Kakadu serà el software encarregat de comprimir amb la tècnica que treballa a l'espai, a diferència de RWA amb el seu codi, que treballa amb l'espectre.

Consecutivament es va poder treballar amb Kakadu i es van realitzar diferents experiments amb els resultats després d'haver transformat amb RWA les diferents imatges que es tenen com a input.

Els resultats obtinguts durant aquesta fase es comparen entre ells, tenint en compte els diferents models de regressió, i amb els que es troben al paper, ja que al voltant del paper gira tot el projecte.

- Havent acabat amb la tercera fase, Waterfall ens permet passar a la següent fase. A la quarta fase es realitzen execucions amb Kakadu i amb MATLAB amb diferents transformades per poder obtenir resultats amb els quals decidir la millor opció com a filtre.
- Com a última fase es trobaria la realització d'una correcta implementació de PLL per RWA, aquesta fase no s'ha arribat a dur a terme.

### 5.1 Canvis en la planificació

En la segona fase no es va poder treballar amb les imatges del sensor IASI[11], gràcies a la gran mida d'aquestes. Per poder treballar amb aquestes imatges necessitariem major força de còmput. Per tant, s'ha decidit no treballar amb les imatges IASI, i només treballar amb les imatges Aviris i Hyperion, les Aviris seran les Yellowstone disponibles.

Un problema trobat seguint la planificació especificada, però no pas per culpa de decisions en la planificació establerta ha estat amb el hardware, el qual va endarrerir totes les fases de la planificació a realitzar pel projecte.

Aquest problema ha estat a conseqüència del canvi de Sistema Operatiu, durant totes les fases anteriors al moment del problema s'havia utilitzat un Sistema Operatiu Windows 10, s'havien realitzat les operacions per les transformacions espectrals amb MATLAB, en el moment de treballar amb Kakadu per la compressió de les dades es va haver de passar a un Sistema Operatiu Linux, en el nostre cas Ubuntu, s'havia de passar a Linux per poder treballar de forma més còmoda, ja que Kakadu per Windows no es podia utilitzar de forma tan eficient, ja que Linux en tenir Shell i el sistema d'arxius permet treballar de manera més ràpida, a més una tercera màquina permet paral·lelització de processos. A més en tractar-se d'una màquina portàtil era possible treballar fora de casa. El problema però va ser voler executar Linux en la mateixa màquina en la qual s'havia estat treballant però no es podia inicialitzar Ubuntu al no poder accedir a GRUB, el boot loader de Linux, a causa de l'arquitectura UEFI dels sistemes i per tant no es podia arribar a executar Linux, més concretament Ubuntu.

Al final després d'haver provat diverses opcions i no solucionar el problema a les màquines es va decidir comprar una nova memòria RAM per un sistema Windows 7, la qual es trobava avariada. Tot això va provocar endarreriments en el desenvolupament del projecte.

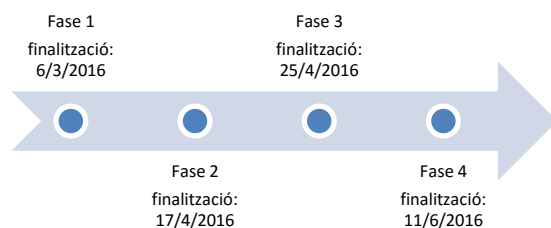


Fig. 3: Fases amb les distintes dates de finalització de la planificació

## 6 BANC DE DADES

Per realitzar el treball s'han utilitzat un conjunt d'imatges capturades pels sensors AVIRIS[12] i Hyperion[13]. Aquests sensors es troben a avió i a un satèl·lit respectivament que es troben al voltant de la Terra i que obtenen imatges de forma automàtica de la superfície d'aquesta. Les calibrades són imatges que han rebut algun tipus de correcció a causa de què pot haver-hi soroll com radiació en forma electromagnètica. Les imatges que proporcionen aquests sensors es poden obtenir a les referències que es troben al final del document.

	Imatge	Dimensions
AVIRIS Calibrated	Yellowstone 00	x=680 y=512 z =224
	Yellowstone 03	x=680 y=512 z =224
	Yellowstone 10	x=680 y=512 z =224
	Yellowstone 11	x=680 y=512 z =224
	Yellowstone 18	x=680 y=512 z =224
AVIRIS Uncalibrated	Yellowstone 00	x=677 y=512 z =224
	Yellowstone 03	x=677 y=512 z =224
	Yellowstone 10	x=677 y=512 z =224
	Yellowstone 11	x=677 y=512 z =224
	Yellowstone 18	x=677 y=512 z =224
Hyperion Uncalibrated	Erta Ale	x=256 y=3187 z =242
	Lake Monona	x=256 y=3176 z =242
	Mt. St. Helens	x=256 y=3242 z =242
Hyperion Calibrated	Agriculture	x=256 y=3129 z =242
	Coral Reef	x=256 y=3127 z =242
	Urban	x=256 y=2905 z =242

Taula 2. Informació sobre les dimensions de les imatges amb les que es treballen. Els valors de x i y corresponen a l'eix horitzontal i al vertical i per últim z al número de components espectrals.

Com podem veure les imatges del sensor Hyperion tenen una y més gran que la x això implica que per treballar amb elles s'hagin de rotar 90°, ja que RWA treballa amb cada component en forma de vector. Per fer això s'han de rotar mitjançant una transposada com si es tractessin de matrius.

Per la fase 2 s'han utilitzat el conjunt d'imatges d'AVIRIS Calibrated i el conjunt d'imatges d'AVIRIS Uncalibrated. En canvi per la fase 4 s'han utilitzat les dues Yellowstone00 (AVIRIS Calibrated i Uncalibrated), i una de cada conjunt dels restants, Erta Ale per Hyperion Uncalibrated i Agriculture per Hyperion Calibrated, s'ha decidit així pel gran volum de dades (arribava a més de 400 GB només amb aquestes dues imatges) que seria si es treballés amb totes i els problemes que comportaria, així que s'han escollit imatges que poguessin tenir un comportament semblant per particions equivalents.

## 7 INSTRUMENTALITZACIÓ

### 7.1 Hardware disponible

Per poder realitzar els diferents experiments que requeria el projecte per assolir els diferents objectius es necessita un hardware per poder executar el codi, aquest hardware estava compost per les dues màquines dels dos estudiants que realitzaven el projecte. Pels problemes esmentats a la secció de planificació es va haver de comptar amb una tercera màquina, un portàtil, que en un inici no estava prevista i es va haver de reparar per poder seguir amb la feina estipulada a la planificació. A conseqüència dels esdeveniments detallats a l'apartat 5 (Planificació), es va haver de reparar una tercera màquina que va permetre agilitzar el desenvolupament del projecte.

Sistema Operatiu	Windows 10
Processador	i7-4760
RAM	12GB

Sistema Operatiu	Windows 10
Processador	i7-4790k
RAM	16GB

Taules 3 i 4. Especificacions tècniques (Sistema Operatiu, model de procesador i quantitat de memòria RAM del dispositiu) de les dues torres amb les que s'ha portat a terme el treball.

Sistema Operatiu	Linux i Windows 7
Processador	i7-620M
RAM	8GB

Taula 5. Especificacions tècniques de la tercera amb la que s'ha portat a terme el treball, en aquest cas un portàtil.

### 7.2 MATLAB



Fig. 4: Entorn de programació MATLAB

Per la realització del treball s'ha hagut d'utilitzar diferent software per poder portar a terme les transformades i les compressions a l'espai, al tractar-se d'operacions matemàtiques, per programar el codi hem necessitat d'un llenguatge de programació que ens permeti operar matemàticament amb facilitat, per aquesta raó s'ha escollit MATLAB. MATLAB s'encarrega de les transformades que utilitza RWA a més de la regressió calculada per RWA, el treball de compressió a l'espectre el realitza completament MATLAB d'on s'obté una imatge transformada.

MATLAB és un llenguatge de programació orientat al càlcul tècnic i a càlculs amb una força elevada de còmput. MATLAB permet ser executat a multiclustering amb més facilitat que altres llenguatges com OpenCV. Una altra característica de MATLAB és que està basat en matrius, el que en el cas d'aquest projecte ens beneficia en gran manera.

### 7.3 Kakadu

Un cop s'ha obtingut la imatge transformada amb RWA mitjançant MATLAB, es passa a realitzar operacions de compressió a l'espai. Per realitzar això es passa a utilitzar el software Kakadu[9], aquest software és una implementació de JPEG2000 que retorna les imatges comprimides amb el format JPX.

## 8 PROCÉS DE COMPRESSIÓ

Per obtenir les dades comprimides primer RWA realitzar una transformació a la dimensió espectral, utilitzant l'espectre en forma de vector. Tot seguit s'aplica la compressió amb Kakadu en la dimensió espacial, aquest cop treballa amb matrius, no amb vectors, i realitza una compressió amb JPEG-2000.

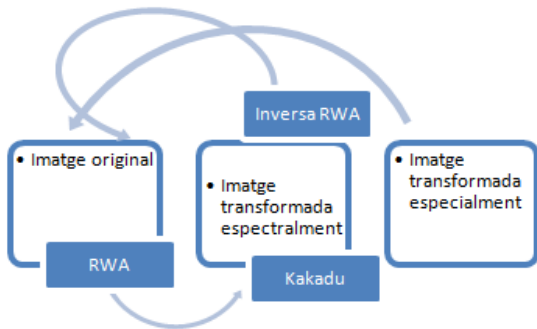


Fig. 5: Procés per obtenir les diferents compressions a través de Kakadu i MATLAB.

### 8.1 RWA

RWA s'aprofita de la redundància de les dades per poder obtenir el resultat de la transformació. Utilitza aquesta redundància per obtenir una possible predicció.

Per aquesta part, de la predicció, s'utilitzen unes tècniques que s'anomenen models de regressió, aquests models el que fan és estimar els components de detall a partir dels components d'aproximació. La finalitat d'aquest procés és la compressió, igual que durant tots els passos anteriors.

En aquest projecte mostrarem quatre models de regressió diferents per RWA. Els models són els següents:

- **Maximum:** en aquest cas s'utilitzen tots els components d'aproximació de la imatge a procesar, aquest model s'obtenen els millors valor pel que fa a bitrates.
- **Restricted:** dels components d'aproximació possibles utilitza el mínim nombre possible, per tal de preservar l'escalabilitat de la DWT original. Amb aquest model podem aconseguir un cost computacional menor que amb la resta de models de regressió esmentats en aquesta secció.
- **Fast:** per aquest model de regressió s'utilitza un subconjunt espacial d'elements  $m' = \rho \cdot m$ , on  $\rho < 1$  i per tant  $m' \ll m$  i  $m$  és el conjunt de components d'aproximació d'on s'obindrà un percentatge de

components per utilitzar amb aquest model, escollits de forma aleatòria.

- **Exogenous:** aquest últim model s'aprofita de la possibilitat de la semblança per estadística de les mostres capturades pel sensor. La regressió per algunes imatges l'obindrà a partir d'una imatge anterior i l'utilitzarà per a un nombre determinat d'imatges següents, que puguin compartir informació.

## 9 RESULTATS

En la fase 2 de la planificació s'han intentat reproduir els resultats del paper, obtenint resultats semblants als del paper, després d'haver passat per la fase 3 treballant amb Kakadu per obtenir els resultants que es poden veure a les taules 3 i 4 que es mostren a continuació.

Com s'explica anteriorment Fast utilitza un percentatge del total dels components, en aquest cas s'ha utilitzat un  $\rho$  de 0,1, el que implica un 10%.

Max	Rest	Fast	Exo	Aviris Calibrated
3,73	4,44	3,75	-	YellowStone 00
3,57	4,31	3,59	3,63	YellowStone 03
3,17	3,66	3,19	3,25	YellowStone 10
3,46	4,06	3,48	3,52	YellowStone 11
3,64	4,5	3,66	3,72	YellowStone 18

Taula 4. Bitrates expressats en bits per pixel per component de les imatges obtingudes pel sensor AVIRIS Calibrated concretament de les imatges Yellowstone 00, 03, 10, 11 i 18.

El model Exogenous per la imatge YellowStone 00 no té resultat a causa de que la resta d'imatges utilitzen YellowStone 00 per obtenir els seus resultats, per tant YellowStone 00 no pot tenir un resultat.

Max	Rest	Fast	Exo	Aviris Uncalibrated
6,06	6,68	6,08	-	YellowStone0 0
5,89	6,51	5,91	5,95	YellowStone0 3
5,45	5,82	5,48	5,55	YellowStone1 0
5,75	6,44	5,78	5,81	YellowStone1 1
5,96	6,76	5,98	6,05	YellowStone1 8

Taula 5. Bitrates expressats en bits per pixel per component de les imatges obtingudes pel sensor AVIRIS Uncalibrated concretament de les imatges Yellowstone 00, 03, 10, 11 i 18.

El model Exogenous per la imatge YellowStone 00 no té resultat a causa de que la resta d'imatges utilitzen YellowStone 00 per obtenir els seus resultats, per tant YellowStone 00 no pot tenir un resultat.

Com podem veure en aquestes dues taules, el model de regressió màxim obté un bitrate menor però sacrificant rendiment en termes de velocitat a comparació d'altres models com Fast, en el paper[] podem veure com el model de regressió Màxim per obtenir un bitrate major té un nombre força major de FLOPS (floating-point opera-

tions per second).

A la fase 4 s'han realitzat experiments amb diferents nivells de transformades espectrals i diferents nivells de transformades espacials. En concret, s'han escollit dos filtres diferents per realitzar la transformada espacial: Haar i DWT 5/3. Per ambdós models s'ha utilitzat el model de regressió Màxim, el qual utilitza tots els components possibles.

Per cadascuna de les transformades espectrals s'han escollit nivells del 0 al 8, és a dir 9 nivells diferents i per cadascun del resultat de la transformada espectral s'ha realitzat després la transformada espacial amb Kakadu pels nivells del 0 al 8 per les imatges del sensor Hyperion i pels nivells del 0 al 9 per les imatges del sensor AVIRIS. La diferència es troba en què com a màxim pel nivell  $\log(\min(x,y))$  és a dir,  $\log(512)=9$ .

Les imatges escollides per falta d'espai a les màquines i per falta de força de càmput, han estat les imatges Agriculture i ErtaAle de Hyperion, Calibrated i Uncalibrated, respectivament. I pel sensor AVIRIS, la Yellowstone00 Calibrated i la Yellowstone00 Uncalibrated.

A continuació es mostren les gràfiques amb els resultats obtinguts per les diferents imatges amb les quals s'ha treballat. A l'eix vertical es mostren els nivells utilitzats per la transformada espectral i a l'horitzontal es mostren els nivells per la transformada espacial.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,840	5,748	4,648	4,108	3,886	3,788	3,751	3,736	3,732
Clevis=1	7,202	5,456	4,533	4,080	3,900	3,822	3,794	3,785	3,783
Clevis=2	7,140	5,436	4,534	4,091	3,915	3,839	3,811	3,803	3,801
Clevis=3	7,136	5,437	4,538	4,096	3,920	3,845	3,817	3,809	3,807
Clevis=4	7,136	5,439	4,541	4,099	3,924	3,848	3,821	3,812	3,810
Clevis=5	7,137	5,440	4,542	4,100	3,925	3,850	3,822	3,814	3,812
Clevis=6	7,137	5,441	4,543	4,101	3,926	3,850	3,823	3,814	3,813
Clevis=7	7,137	5,441	4,543	4,102	3,926	3,851	3,824	3,815	3,813
Clevis=8	7,138	5,442	4,543	4,102	3,927	3,851	3,824	3,815	3,813
Clevis=9	7,138	5,442	4,544	4,102	3,927	3,851	3,824	3,815	3,814

Taula 6. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Yellowstone00 d'AVIRIS Calibrated amb el filtre Haar.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	10,616	8,276	7,058	6,459	6,216	6,117	6,083	6,067	6,064
Clevis=1	9,630	7,793	6,818	6,349	6,169	6,102	6,078	6,070	6,072
Clevis=2	9,489	7,731	6,792	6,342	6,171	6,109	6,087	6,080	6,082
Clevis=3	9,467	7,723	6,789	6,343	6,173	6,112	6,090	6,083	6,086
Clevis=4	9,463	7,721	6,788	6,343	6,174	6,112	6,090	6,084	6,086
Clevis=5	9,463	7,722	6,789	6,344	6,175	6,113	6,091	6,084	6,087
Clevis=6	9,463	7,722	6,790	6,344	6,175	6,114	6,092	6,085	6,088
Clevis=7	9,463	7,723	6,790	6,345	6,176	6,114	6,092	6,086	6,088
Clevis=8	9,464	7,723	6,790	6,345	6,176	6,115	6,093	6,086	6,089
Clevis=9	9,464	7,723	6,791	6,345	6,176	6,115	6,093	6,086	6,089

Taula 7. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Yellowstone00 d'AVIRIS Uncalibrated amb el filtre Haar.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,345	6,298	5,872	5,633	5,546	5,486	5,474	5,471	5,469
Clevis=1	6,769	5,993	5,700	5,531	5,477	5,437	5,434	5,436	5,438
Clevis=2	6,695	5,955	5,680	5,518	5,469	5,432	5,430	5,433	5,435
Clevis=3	6,684	5,950	5,677	5,517	5,468	5,431	5,430	5,433	5,435
Clevis=4	6,683	5,949	5,677	5,517	5,468	5,431	5,430	5,433	5,435
Clevis=5	6,683	5,949	5,677	5,517	5,469	5,431	5,430	5,433	5,436
Clevis=6	6,683	5,950	5,677	5,517	5,469	5,432	5,430	5,433	5,436
Clevis=7	6,683	5,950	5,677	5,517	5,469	5,432	5,430	5,433	5,436
Clevis=8	6,683	5,950	5,678	5,518	5,469	5,432	5,431	5,433	5,436

Taula 8. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Agriculture d'Hyperion Calibrated amb el filtre Haar.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,004	5,861	5,310	5,006	4,857	4,767	4,730	4,711	4,700
Clevis=1	5,400	4,945	4,725	4,609	4,551	4,521	4,508	4,503	4,500
Clevis=2	5,122	4,788	4,631	4,543	4,500	4,478	4,470	4,467	4,465
Clevis=3	5,058	4,752	4,610	4,528	4,489	4,469	4,461	4,459	4,457
Clevis=4	5,041	4,743	4,605	4,525	4,487	4,467	4,460	4,457	4,456
Clevis=5	5,037	4,740	4,604	4,525	4,487	4,467	4,460	4,457	4,456
Clevis=6	5,036	4,740	4,604	4,525	4,487	4,467	4,460	4,458	4,456
Clevis=7	5,036	4,740	4,604	4,525	4,487	4,467	4,460	4,458	4,456
Clevis=8	5,036	4,740	4,605	4,525	4,487	4,467	4,460	4,458	4,456

Taula 9. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge ErtaAle d'Hyperion Uncalibrated amb el filtre Haar.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,840	5,650	4,582	4,072	3,868	3,766	3,741	3,742	3,738
Clevis=1	7,202	5,368	4,475	4,047	3,886	3,805	3,787	3,792	3,791
Clevis=2	7,140	5,348	4,476	4,057	3,901	3,822	3,805	3,810	3,809
Clevis=3	7,136	5,350	4,480	4,062	3,907	3,828	3,811	3,817	3,815
Clevis=4	7,136	5,353	4,484	4,066	3,910	3,832	3,815	3,820	3,819
Clevis=5	7,137	5,354	4,485	4,067	3,912	3,833	3,817	3,822	3,821
Clevis=6	7,137	5,354	4,486	4,068	3,912	3,834	3,817	3,823	3,821
Clevis=7	7,137	5,355	4,486	4,069	3,913	3,835	3,818	3,823	3,822
Clevis=8	7,138	5,355	4,487	4,069	3,913	3,835	3,818	3,824	3,822
Clevis=9	7,138	5,355	4,487	4,069	3,913	3,835	3,818	3,824	3,822

Taula 10. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Yellowstone00 d'AVIRIS Calibrated amb el filtre DWT 5/3.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	10,616	8,184	6,982	6,421	6,210	6,109	6,087	6,084	6,082
Clevis=1	9,630	7,699	6,754	6,316	6,163	6,094	6,089	6,091	6,091
Clevis=2	9,489	7,636	6,730	6,310	6,165	6,100	6,099	6,101	6,102
Clevis=3	9,467	7,628	6,728	6,311	6,167	6,102	6,102	6,104	6,105
Clevis=4	9,463	7,626	6,728	6,311	6,167	6,103	6,103	6,105	6,106
Clevis=5	9,463	7,627	6,728	6,312	6,168	6,103	6,104	6,106	6,107
Clevis=6	9,463	7,627	6,729	6,312	6,169	6,104	6,104	6,107	6,108
Clevis=7	9,463	7,627	6,729	6,313	6,169	6,105	6,105	6,107	6,108
Clevis=8	9,464	7,628	6,729	6,313	6,170	6,105	6,105	6,107	6,108
Clevis=9	9,464	7,628	6,730	6,313	6,170	6,105	6,105	6,108	6,109

Taula 11. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Yellowstone00 d'AVIRIS Uncalibrated amb el filtre DWT 5/3.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,345	6,321	5,897	5,721	5,621	5,572	5,564	5,557	5,551
Clevis=1	6,769	6,017	5,728	5,620	5,556	5,524	5,525	5,524	5,521
Clevis=2	6,695	5,979	5,708	5,608	5,549	5,519	5,520	5,520	5,518
Clevis=3	6,684	5,974	5,705	5,607	5,548	5,518	5,520	5,520	5,518
Clevis=4	6,683	5,973	5,705	5,607	5,549	5,519	5,520	5,521	5,519
Clevis=5	6,683	5,973	5,705	5,607	5,549	5,519	5,520	5,521	5,519
Clevis=6	6,683	5,973	5,705	5,607	5,549	5,519	5,521	5,521	5,519
Clevis=7	6,683	5,973	5,706	5,608	5,549	5,519	5,521	5,521	5,519
Clevis=8	6,683	5,974	5,706	5,608	5,549	5,519	5,521	5,521	5,519

Taula 12. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge Agriculture d'Hyperion Calibrated amb el filtre DWT 5/3.

	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
Clevis=0	7,004	5,845	5,275	5,002	4,862	4,792	4,761	4,741	4,734
Clevis=1	5,400	4,927	4,708	4,608	4,566	4,546	4,539	4,534	4,533
Clevis=2	5,122	4,768	4,613	4,543	4,517	4,504	4,501	4,498	4,498
Clevis=3	5,058	4,732	4,592	4,528	4,506	4,494	4,492	4,490	4,490
Clevis=4	5,041	4,723	4,587	4,525	4,503	4,492	4,491	4,489	4,489
Clevis=5	5,037	4,720	4,586	4,525	4,503	4,492	4,491	4,489	4,489
Clevis=6	5,036	4,720	4,586	4,525	4,503	4,493	4,491	4,489	4,489
Clevis=7	5,036	4,720	4,586	4,525	4,503	4,493	4,491	4,489	4,489
Clevis=8	5,036	4,720	4,586	4,525	4,504	4,493	4,491	4,489	4,489

Taula 13. Bitrates expressats en bits per píxel per component de la imatge ErtaAle d'Hyperion Uncalibrated amb el filtre DWT 5/3.

En totes aquestes taules per l=0 com que no es fa transformació espectral es pot observar que té un valor molt gran comparat a la resta de nivells, i és que aquí RWA no ha intervingut.

A partir de l=1 es pot observar com descendeix força el bitrate, per tots els casos, i és que aquí sí que RWA ha processat la imatge però només ha realitzat un nivell de transformada, d'aquesta manera, es pot veure com des-

cendeix de forma logarítmica, és a dir, entre els menors nivells veiem que els valors de bitrate descendeixen de forma brusca, mentre que pels nivells més elevats de la transformada espectral, amb prou feines hi ha canvis entre els últims nivells espectrals.

Per la transformada espacial amb aquestes mostres podem veure com no es comporta per nivells igual que l'espectral, és a dir, no hi ha un canvi tan brusca entre els primers nivells, tot i que també hi ha un canvi cap a millor rendiment, però aquest fet que tal com s'augmenten els nivells de transformada espacial millora el rendiment del procés de compressió, passa amb les imatges del sensor Hyperion, on això és mantè per tots els nivells de transformada espectral. Amb les imatges d'Aviris, només millora el rendiment augmentant els nivells espacials, en el cas dels nivells baixos de transformada espectral, però amb nivells espacials fins a 1 o 2, tal i com es va augmentant el nivell de transformada espacial, fins a arribar un punt (nivell 2 en el cas de les Uncalibrated).

Es pot observar com utilitzant Haar com a filtre s'obté un rendiment lleument major que utilitzant DWT 5/3, és pot observar a tots els casos. Tot i que Haar és una transformada més senzilla sembla que obté un rendiment major que DWT 5/3 per tots els casos analitzats.

En quant als punts d'equilibri on s'obté el millor rendiment (bitrates més baixos) es pot veure com amb el màxim nivell de transformada espectral ( $\log(z)$ ), en aquest cas 8 per totes les imatges amb les quals hi ha treballat, s'ha obtingut el rendiment més gran. Per la millor combinació depenent de la imatge s'ha d'escollir un nivell espectral o un altre, en el cas de les AVIRIS seria amb el nivell 0 espacial, i en el cas de les Hyperion tant per Haar com DWT 5/3 seria per Agriculture (Calibrated) el nivell 2 espacial i per Erta Ale (Uncalibrated) el nivell 4 amb el que s'ha trobat el rendiment més gran.

## 10 Conclusions

Com a conclusió de la fase 2 podríem veure la importància d'escollir el model de regressió segons el sensor i la imatge a treballar, això pot suposar una gran diferència tenint en compte els grans volums de dades amb els que es treballa. Alhora el model de regressió s'hauria d'escollir en funció de la necessitat del procés, més o menys velocitat, més compressió...

Per la part de la comparació segons nivells espacials i espectrals de les transformades, el millor seria realitzar  $\log(z)$  nivells de RWA amb el filtre Haar abans que amb el filtre DWT 5/3, ja que Haar ha mostrat millors resultats. I el nivell de transformada espacial s'hauria d'escollir coneixent el sensor amb el qual es treballarà.

Per un futur en aquest projecte s'intentarà buscar una major relació entre les tècniques espacials i les tècniques espectrals. Alhora s'intentarà veure el comportament de RWA amb diferents paràmetres, com seria el nombre d'iteracions, i buscar quina ens podria beneficiar més. En definitiva, RWA és una tècnica força potent que després d'haver realitzat aquest treball es pot dir que

RWA supera les tècniques que existeixen actualment, però tal com passa amb la resta de les tècniques s'ha de conèixer amb profunditat per poder treure-li profit.

### 10.1 Línies futures

En funció dels objectius aconseguits dels definits a la secció 2 d'objectius es pot pensar en unes línies futures, al voltant que es podria fer a partir del punt en el qual es va arribar en el moment en el qual es va entregar aquest document. Per aquesta raó a continuació es mostren els diferents objectius amb un nivell d'acompliment d'aquests, per cadascun d'ells.

Objectiu	Compliment
Aprendre quin és el funcionament de RWA a base d'experiments amb els bancs d'imatges de diferents sensors com Hyperion o AVIRIS.	✓
Entendre els diferents models de regressió a l'espectre i veure el rendiment per cadascun d'ells.	✓
Comprendre el funcionament de les diferents transformades: Haar i DWT 5/3. Per posteriorment fer ús d'elles.	✓
Realitzar un estudi analitzant quin és el comportament de diferents transformades com a filtres per RWA mitjançant diferents nivells de transformació.	✓
Aconseguir una implementació de PLL (Progressive-Lossy-to-Lossless) per RWA.	✗

Taula 14. Objectius amb valoració.

Com es pot veure en aquesta taula tot els objectius s'han pogut assolir de major o menor manera menys l'últim objectiu que quedaria pendent per un futur, en aquest cas s'hauria de realitzar un estudi de viabilitat per veure si seria possible utilitzant com a hipòtesi aquest objectiu, però en aquest cas es canviaria una mica RWA, ja que una de les seves propietats és que és lossless, com s'explica a la introducció.

Com a possible línia futura que apareixeria a partir de l'anterior objectiu seria la possibilitat de veure el comportament de RWA amb altres filtres com seria el DWT 9/7M, a base dels mateixos procediments que s'han seguit per veure el rendiment de Haar i DWT 5/3.

Com a apunt final, RWA al tractar-se d'una tècnica de compressió de dades s'hauria d'investigar si es podria utilitzar el sistema en altres àmbits.

### 10.2 Beneficis

Després de la realització d'aquest projecte s'han obtingut un seguit de beneficis tangibles per l'estudiant:

- Aprofundiment en el funcionament de les tècniques Wavelet.
- Visió més completa de Regression Wavelet Analysis.
- Coneixement del rendiment dels diferents filtres per RWA.

- Millora en realització de projectes de llarga duració en el temps.

En general serien beneficis relacionats amb el coneixement.

Com a benefici tangible podríem tenir el cas de l'obtenció del codi, que probablement es podria arribar a utilitzar per altres aplicacions.

## AGRAÏMENTS

A l'equip docent que m'ha aconsellat i m'ha resolt dubtes que hagi pogut tenir. A la família i als amics que m'han donat suport.

En definitiva, als que han confiat en mi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] "Lossless Data Compression", *Cs.stanford.edu*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2000-01/data-compression/lossless/index.htm>. [Accessed: 4- Mar-2016].
- [2] U. Barcelona, "Treball de Fi de Grau - UAB Barcelona", *Uab.cat*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://www.uab.cat/web/estudis/treball-de-fi-de-grau-1345688899319.html>. [Accessed: 9- Feb- 2016].
- [3] "Principal Component Analysis", Principal Component Analysis. [Online]. Disponibilitat: [http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student\\_tutorials/principal\\_components.pdf](http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf) [Accessed: 17- Feb-2016].
- [4] "Eigenvector -- from Wolfram MathWorld", *Mathworld.wolfram.com*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://mathworld.wolfram.com/Eigenvector.html>. [Accessed: 17- Feb- 2016].
- [5] "SDLC - Waterfall Model", *www.tutorialspoint.com*, 2016. [Online]. Disponibilitat: [http://www.tutorialspoint.com/sdlc/sdlc\\_waterfall\\_model.htm](http://www.tutorialspoint.com/sdlc/sdlc_waterfall_model.htm). [Accessed: 14- Abr- 2016].
- [6] "Qué es SCRUM", *Proyectos Ágiles*, 2008. [Online]. Disponibilitat: <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>. [Accessed: 14- Abr- 2016].
- [7] N. Amrani, J. Serra-Sagrista, V. Laparra, M. Marcellin, J. Malo, Regression Wavelet Analysis for Lossless Coding of Remote-Sensing Data IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 54, in press, 2016.
- [8] "MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink", *Es.mathworks.com*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://es.mathworks.com/>. [Accessed: 27- Feb-2016].
- [9] "Kakadu Software", *Kakadusoftware.com*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://kakadusoftware.com/>. [Accessed: 20- Abr- 2016].
- [10] "JPEG2000", *JPEG2000*. [Online]. Disponibilitat: <http://web.stanford.edu/class/ee398a/handouts/lectures/10-JPEG2000.pdf>
- [11] "IASI - EUMETSAT", *Eumetsat.int*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/IASI/index.html>. [Accessed: 28- Feb- 2016].
- [12] "AVIRIS - Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer", *Aviris.jpl.nasa.gov*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <http://aviris.jpl.nasa.gov/>. [Accessed: 28- Feb- 2016].
- [13] "USGS EO-1 Website - <http://eo1.usgs.gov>", *Eo1.usgs.gov*, 2016. [Online]. Disponibilitat: <https://eo1.usgs.gov/sensors/hyperion>. [Accessed: 28- Feb- 2016].