

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La transformada de Fourier (FT) y la Transformada Rápida de Fourier (FFT) han sido herramientas muy útiles para el procesamiento de señales, presentando ciertas desventajas en lo referente a señales que varían en el tiempo, sin embargo se han planteado extensiones a ellas que ayudan a resolver el problema anterior tal es el caso de la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT) [HER03]. Posteriormente surge la Transformada Wavelet (WT); que es una poderosa herramienta matemática capaz de representar sin mayor problema aquellas señales no estacionarias en tiempo y escala ó frecuencia [MAL99].

Ahora bien, la forma analógica de la WT es la Transformada Wavelet Continua (CoWT) que nos representa y caracteriza más efectivamente las señales a tratar ya que presenta muchas ventajas en cuanto la detección de singularidades. La representación discreta de la CoWT es la Transformada Wavelet Discreta (DWT).

La DWT es no redundante es decir el tamaño de los datos durante la transformación es el mismo que en la CoWT. La DWT puede ser implementada empleando un banco de filtros digitales FIR (Finite Impulse Response) [MAL99], [PRO88]. Una de sus principales características es que nos permite hacer un análisis multi-resolución (MRA) de la señal en cuestión lo cual nos permite ver y procesar diferentes señales a distintos niveles de resolución.

Gracias a las múltiples ventajas que nos ofrece la sencilla implementación de la DWT y el MRA, han hecho que éste procedimiento se haya convertido en uno de los más populares para hacer procesado digital de señales desde hace ya una década. Sus aplicaciones han sido útiles en varias áreas y generalmente se relacionan con la reducción de ruido y la compresión de señales; obteniendo muy buenos resultados.

1.2 Planteamiento del Problema: el ruido en imágenes

Comencemos con la exposición del problema, de esta forma podemos tener una idea clara del contenido temático abarcado en ésta tesis y de los resultados que se esperan obtener. En primera instancia debemos dar a conocer lo que es el ruido. El ruido es una mezcla de señales aleatorias de diferente frecuencia a la de la señal de interés, pudiendo ser de mayor o menor frecuencia de la que se desea [JAL00].

Una enorme porción de las investigaciones en el área de procesamiento digital de señales son dedicadas a la restauración de imágenes. Esto incluye investigación y desarrollo de métodos y algoritmos para el procesamiento de imágenes. La restauración de una imagen consiste en remover ó reducir las degradaciones que adquiere la imagen al ser obtenida [SHU03]. El que la imagen sea borrosa o se vea con ruido, se debe a las fuentes electrónicas y fotométricas. O bien, es debido a la reducción del ancho de banda de la imagen causado por la forma imperfecta de ésta o también se debe a un movimiento relativo entre la cámara y la escena original o porque el sistema óptico se encuentra fuera de foco [LAG91]. En las fotografías aéreas tomadas con el fin de sensar remotamente los acontecimientos en la tierra, el ruido es introducido por turbulencia atmosférica, fallas en el sistema óptico o bien por el movimiento relativo entre la cámara y la tierra. Aunado a esto, la imagen se torna más borrosa aún, debido al ruido eléctrico. Algún tipo de ruido es introducido en la etapa de transmisión, debido a un canal con ruido, ó a errores durante el proceso de dimensionar o bien al cuantizar los datos para almacenarlos digitalmente. Cada elemento en la cadena que involucra el trabajar con imágenes tal como lentes, película, digitalizador, etc. contribuyen a la degradación de la imagen [DAN03].

El remover el ruido de las imágenes se emplea frecuentemente en el campo de la fotografía o en publicidad, donde las imágenes probablemente no sean de muy buena calidad, pero puedan ser retocadas antes de ser impresas. Para este tipo de aplicación necesitamos conocer sobre el proceso de degradación con la finalidad de obtener un modelo. Cuando se tiene un modelo del proceso de degradación, el proceso inverso puede ser empleado para la restauración de la imagen a su forma original. Este tipo de restauración de imágenes es usado en la exploración espacial para eliminar los elementos no deseados que se generan por la oscilación mecánica de la nave espacial o

para compensar la distorsión en el sistema óptico de un telescopio. El remover el ruido de las imágenes también tiene un lugar muy importante en la astronomía donde los límites de resolución son muy estrictos, en biomedicina donde se requiere de imágenes de muy alta calidad para analizar eventos únicos, y en ciencia forense ya que la evidencia fotográfica es potencialmente usada y lamentablemente en muchas ocasiones las imágenes obtenidas son de baja calidad [LAG91].

Consideremos la representación digital de una imagen. Una imagen de dos dimensiones, puede ser representada como un arreglo de datos de dos dimensiones $s(n,m)$, donde (n,m) representa la locación de un pixel. El valor del pixel corresponde a la brillantez de la imagen en la posición (n,m) . Algunos de los tipos de imágenes más usadas son: imágenes binarias, imágenes a escala de grises e imágenes a color [EFT98].

Las imágenes binarias son el tipo de imagen más simple y puede tomar sólo dos valores discretos, blanco y negro. El negro es representado con el valor '0' y el blanco con '1'. Una imagen binaria es generalmente creada a partir de una imagen a escala de grises. Las imágenes binarias son empleadas en la visión por computadora donde la forma general o la silueta de la imagen es el elemento requerido. A estas imágenes se les llama imágenes de 1bit/pixel [SAC99].

Las imágenes a escala de grises son conocidas como monocromáticas ó imágenes de un solo color. Las imágenes empleadas en esta tesis son todas a escala de grises. No contienen información sobre el color. Representan la brillantez de la imagen. Éstas imágenes contienen datos de 8 bits/pixel, lo cual quiere decir que podemos tener 256 (0 - 255) diferentes niveles de brillantez. Donde '0' representa al negro y '255' representa al blanco. Los valores desde 1 hasta 244 representan los diferentes niveles de gris. Ahí es donde se contiene la información sobre la intensidad de la imagen [SAC99].

Las imágenes a color se consideran imágenes monocromáticas de tres bandas, donde cada banda representa un color diferente. Cada banda provee la información de brillantez de su correspondiente espectro de banda. Los colores que intervienen típicamente en una imagen de color son rojo, verde y azul y por esto se llaman imágenes RGB (*Red, Green, Blue*). Estas imágenes contienen 24 bits/píxel [SAC99].

Tal como se describió anteriormente el ruido tiene una frecuencia indeseable que afecta la señal de interés y produce algunos problemas. De una manera más concreta de acuerdo a Tomasi en [TOM03] el ruido eléctrico se define como una energía eléctrica indeseable que aparece en la frecuencia de la señal. En la Figura 1.1, tenemos una imagen muestra de Matlab® sin ruido y su contraparte con ruido adicionado.

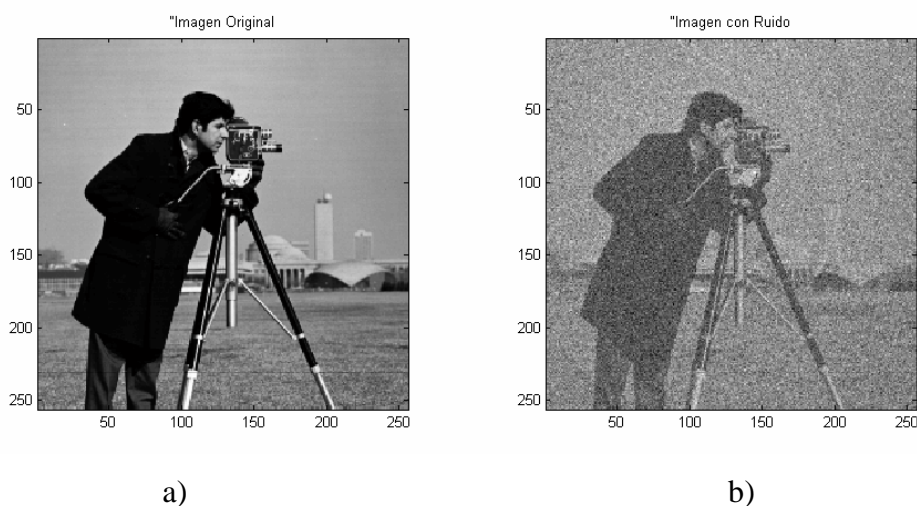


Figura 1.1. a) Imagen muestra “cameraman” pura y b) imagen muestra con ruido.

El ruido puede presentarse de muchas formas, debido al origen del mismo, es por esto que el ruido ha sido clasificado en base a su comportamiento de tal manera que puede ser: Correlacionado y No Correlacionado [TOM03]. El ruido correlacionado es aquel que se presenta sólo cuando existe una señal. El ruido no correlacionado está presente independientemente de que exista una señal o no.

El ruido correlacionado es producido principalmente por amplificaciones no lineales e incluye componentes armónicas y además distorsión de intermodulación, las cuales son dos formas de distorsión no lineal.

El ruido no correlacionado puede ser interno o externo. El ruido externo tal como su nombre lo indica se produce fuera del sistema que involucra la señal de interés, es decir puede presentarse debido a los medios de comunicación, la circuitería involucrada en el tratamiento de la señal, amplificadores, etc. Las principales fuentes de ruido externo son:

1. Ruido Atmosférico: También conocido como estática eléctrica, éste es aquel que se escucha en los aparatos receptores incluso cuando no existe alguna señal.
2. Ruido extraterrestre: Señales eléctricas que se originan fuera de la atmósfera terrestre; se divide en dos categorías solar y cósmico.
3. Ruido causado por el hombre: Su fuente principal son aquellos mecanismos que producen chispas, como lámparas fluorescentes, motores eléctricos, generadores, etc. Tiene una amplia gama de frecuencias y es en forma de pulsos.

La interferencia es una forma de ruido externo que provoca perturbaciones. Se produce cuando las señales de información de una fuente producen frecuencias que caen fuera del ancho de banda asignado. Por otra parte, el ruido interno es aquel que se genera dentro de un dispositivo o un circuito [TOM03].

Ahora que conocemos la clasificación y origen de los distintos tipos de ruido. Es conveniente mencionar que el ruido con el que se estará trabajando durante el desarrollo de éste trabajo, es Ruido Térmico mejor conocido como Ruido Blanco que posee una densidad de potencia constante para cada una de las frecuencias. Otra característica importante de éste tipo de ruido es: $N(0,1)$, lo cual denota una distribución normal o Gaussiana con media igual a cero y varianza igual a uno, lo que da como resultado una desviación estándar igual a uno.

El ruido se mide obteniendo la SNR (Signal to Noise Ratio) ó Razón Señal a Ruido que es la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. El resultado de ésta relación generalmente se expresa en decibeles, para facilitar el manejo de la información. La siguiente ecuación, define la SNR.

$$SNR(dB) = 20 \log \frac{P_s}{P_n} \quad (1)$$

Donde P_s es la potencia de la señal, y P_n es la potencia del ruido. Ahora si las resistencias de entrada y salida del amplificador, receptor o red son iguales la expresión en (2) anterior se reduce a:

$$SNR(dB) = 20 \log \frac{V_s}{V_n} \quad (2)$$

De lo anterior podemos saber que obtenemos ganancia cuando $V_s > V_n$, o pérdidas cuando $V_s < V_n$. Cabe señalar que los dB no son la única unidad de medida ya que de ésta se han derivado otras [TOM03].

Las razones para eliminar esas componentes de frecuencia de las señales de interés, se refieren a que como el ruido es un fenómeno parásito y generalmente aleatorio, produce ciertas confusiones en los sistemas detectores de las señales. Esto desencadena en el deterioro ó pérdida de la información transmitida. Lo anterior para éste particular caso se traduce a mala calidad de la imagen.

1.3 Objetivos de la tesis

Una vez que ha sido planteado el problema, se dan a conocer los objetivos de éste trabajo. Se sabe que existen diferentes métodos para la reducción de ruido en imágenes, de los cuales como se mostrará en los siguientes capítulos los que emplean la Transformada Wavelet Discreta (DWT) y sus variantes, tienen un alto desempeño y es por esto que en esta tesis se propone implementar un algoritmo óptimo aplicando la Transformada Wavelet Compleja (CWT) para la reducción de ruido en imágenes, ya que reduce las desventajas que presenta el emplear la DWT como se lleva a cabo tradicionalmente. Para lo cual debe hacerse referencia a la literatura existente y a la simulación de los algoritmos existentes dando mayor énfasis al algoritmo óptimo. Teniendo fijo el objetivo general, se pueden extraer los objetivos particulares que son:

1. Investigación de la WT. Lo cual, es indispensable para posteriormente simular sus variantes y el saber cómo y dónde se aplican los algoritmos para la reducción de ruido en imágenes.

2. Investigación de la CWT. Se expondrá su historia, clasificación y principales aplicaciones.
3. Simulación de un método que emplea filtros Wiener en base a la Transformada Discreta de Fourier (DFT) para la reducción de ruido en imágenes.
4. Implementación en Matlab de la DWT y una de sus variantes la Transformada Wavelet Estacionaria (SWT) y de la CWT: Con la finalidad de que puedan ser empleadas para reducir el ruido en imágenes.
5. Resultados: Se llevará a cabo un análisis entre las formas tradicionales de quitar el ruido y el método propuesto, empleando la CWT en conjunto con un algoritmo de umbral óptimo para la reducción de ruido.

1.4 Trabajos Previos.

Existen dos enfoques básicos para la reducción de ruido en imágenes, los métodos de filtrado espacial y los métodos en dominio de una transformada.

a. Filtrado Espacial

a.1. Filtrado No-Lineal

Con el filtrado no lineal, el ruido es removido sin la necesidad de identificarlo. Para este método se emplea filtrado pasa bajas en grupos, ya que el ruido ocupa la región de alta frecuencia. El costo de éste método es la pérdida del contorno de la imagen [HSA99].

a.2. Filtrado Lineal

Éste método es óptimo para el ruido gaussiano, en el sentido del Error Cuadrático Medio (MSE). El filtrado lineal, también atenta sobre el contorno de la imagen, destruye líneas y otros finos detalles de la imagen, y tiene un mal desempeño en señales dependientes de

ruido. Por ejemplo para emplear filtrado Wiener [JAI89] es necesario conocer el espectro del ruido y de la señal original además de que sólo es eficiente para señales suaves. La complejidad de éste filtrado radica en los cálculos matemáticos, propios del análisis de Fourier. Para acabar con las debilidades de este método, Donoho y Johnstone proponen un esquema para la reducción de ruido basado en la Transformada Wavelet [DON94], [DON01].

b. Filtrado en dominio de una transformada

Los métodos basados en transformadas pueden ser divididos de acuerdo a la elección de la función base. Las cuales se clasifican en adaptivas y no adaptivas. Las transformadas no adaptivas, son más populares que las adaptivas [MUK02].

b.1. Filtrado en el espacio de la frecuencia.

Se refiere al uso de filtros pasa bajas en conjunto con la Transformada rápida de Fourier (FFT). Con éste método la reducción de ruido es llevada a cabo diseñando un filtro que adapte su frecuencia de corte de tal forma que el ruido no correlacionado con la señal sea removido. La desventaja de éste método es que consume mucho tiempo de cómputo, es dependiente de la frecuencia de corte y del comportamiento del filtro y además produce frecuencias artificiales en la señal procesada [PRO88].

b.2. Filtrado usando la Transformada Wavelet

El filtrado usando la Transformada Wavelet, se sub-divide en: Filtrado lineal y filtrado de umbral no lineal, transformadas wavelet no ortogonales y Modelo de Coeficientes Wavelet [MAL99].

b.2.1 Filtrado lineal

El filtrado lineal en el dominio wavelet, por ejemplo el que se combina con filtros Wiener, presenta buenos resultados en lo referente a la medición del MSE pero, visualmente la señal filtrada es menos nítida que la señal con ruido, éste tipo de filtrado es empleado a cada escala, pero no en inter-escalas [MAL99].

b.2.2 Filtrado de umbral no lineal

Éste método ha sido muy eficiente, ya que se aprovechan las propiedades de la Transformada Wavelet, emplean el principio de umbral suave que en capítulos subsecuentes será expuesto. La mayor parte de la literatura basada en la reducción de ruido empleando wavelets, consisten en la selección de un umbral que sea “óptimo” que puede ser recursivo o no recursivo [MAL99].

b.2.3 Transformadas Wavelet no ortogonales

La Transformada Wavelet Estacionaria (SWT) y la Transformada Wavelet de Paquetes (WPT) son ejemplo de Transformadas Wavelet no ortogonales, han sido usadas para descomponer la imagen y obtener resultados visualmente mejores, su desventaja principal es la alta complejidad que representa computacionalmente [MAL99].

b.2.4 Modelo de Coeficientes Wavelet

Explora el Análisis Multi-Resolución (MRA). Esta técnica identifica la correlación de la señal a cada nivel de resolución. Presenta muy buenos resultados aunque computacionalmente es más complejo y costoso. Puede ser determinístico y no determinístico [BUR98].

Como puede apreciarse, la reducción de ruido en imágenes ha ocupado un lugar muy importante en el área de procesamiento de imágenes, y se han analizado muchos

métodos explotando todas las posibilidades que cada uno de ellos brinda. Aún así queda mucho por investigar; lo cual motiva y justifica el desarrollo de ésta tesis.

1.5 Organización de la tesis

En el Capítulo 1 se presenta una introducción sobre el tema central de ésta investigación. Así como una breve organización del trabajo conjunto.

En el Capítulo 2 se dará un repaso detallado sobre la base teórica de la Transformada Wavelet (WT), serán mencionadas las ventajas de ésta sobre los métodos tradicionales de procesado de señales. Además se estudiará la implementación de la DWT y de la Transformada Discreta Wavelet Inversa (IDWT). En éste capítulo también será expuesta la SWT y sus propiedades. Finalmente en éste capítulo serán enlistadas las desventajas que presenta la DWT.

En el Capítulo 3 se presenta el estudio detallado de la CWT. Se pretende abarcar la historia, su evolución y avances más recientes. Se darán a conocer sus principales variantes, así como sus más importantes aplicaciones.

En el Capítulo 4 se muestran algunos de los algoritmos para la reducción de ruido en señales. Una vez que se conozca la teoría de cada algoritmo, se pasa a un breve análisis de la metodología para llevar a cabo el procesamiento de cada imagen, hasta llegar a la reducción del ruido.

En el Capítulo 5 se expondrá detalladamente el método propuesto en esta tesis, se hará un análisis profundo del algoritmo de umbral óptimo, y posteriormente dicho algoritmo será implementado al análisis utilizando la CWT; con la finalidad de reducir el ruido en las imágenes.

En el Capítulo 6 será simulada el método que emplea filtros Wiener, la DWT, la SWT, la CWT y cada uno de los algoritmos estudiados con la ayuda de Matlab® , para posteriormente analizar y comparar los resultados obtenidos para los diferentes métodos de reducción de ruido en imágenes: en primera instancia uno de los métodos más

tradicionales que emplea filtros digitales (Wiener), posteriormente implementando dos de los métodos que emplean la WT; la DWT y la SWT con los algoritmos que comúnmente se hace que fueron expuestos en el capítulo 4 y finalmente será simulado el método propuesto, que utiliza la CWT en conjunto con el algoritmo de umbral óptimo. En éste capítulo se muestran los resultados obtenidos sólo para los dos mejores métodos en la reducción de ruido en imágenes; los cuales fueron seleccionados en base a la obtención de dos medidas de desempeño: el Error Cuadrático Medio (MSE) y la Razón Pico Señal a Ruido (PSNR). Y además en éste capítulo se muestran sólo tres de las seis imágenes que conforman el banco de filtros empleado en esta tesis.

En el Capítulo 7 se concluye sobre los resultados obtenidos, y se hace una propuesta sobre el trabajo a futuro que puede desprenderse de ésta investigación. De tal manera que el lector tenga una idea clara de la teoría de wavelets y su relevancia en aplicaciones que involucren el procesado de señales en éste caso de imágenes concretamente.

En el Apéndice A, se muestran los resultados completos de la simulación, es decir los obtenidos de simular los cuatro métodos para la reducción de ruido con los cuatro diferentes tipos de algoritmos, para las tres imágenes restantes del banco.

Para finalizar, en el Apéndice B, se presentan, diferentes códigos de funciones para Matlab®. Que fueron empleados en las simulaciones de cada uno de los métodos para reducir el ruido en imágenes.