

Stitching y visualización remota de imágenes mediante JPEG2000 y JPIP

Juan Pablo García Ortiz, Vicente González Ruiz

Abstract— En el presente artículo se propone el estándar JPEG2000 para el *stitching* de imágenes y su visualización remota, presentando todas las interesantes características aprovechables de este estándar para tal fin: i) uno de los sistemas de compresión de imágenes más eficientes y flexibles de los existentes en la actualidad, ii) una estructuración interna y organización del *bit-stream* comprimido que facilita y mejora el proceso de unión de imágenes, y iii) un sistema de transmisión de imágenes, centrado principalmente en el protocolo JPIP, altamente eficiente.

Index Terms— JPEG2000, JPIP, stitching.

I. INTRODUCCIÓN

EXISTEN situaciones donde es preciso generar una imagen mediante adquisición digital de un determinado objeto o situación con el máximo detalle posible. En muchas ocasiones, la resolución ofrecida por el dispositivo encargado de realizar estas adquisiciones no permite obtener el suficiente detalle para el objeto o escena completa. En este caso, es preciso dividir la digitalización en zonas contiguas, generando múltiples imágenes, una para cada zona. De esta manera se consigue una mayor resolución final, alcanzado el detalle deseado.

La unión o *stitching* de estas imágenes no es un proceso nada trivial, sobre todo si se persigue que los bordes de las uniones estén prácticamente disimulados, sin perder nada de información.

En este artículo se propone el estándar de compresión de imágenes JPEG2000, tanto para guardar las imágenes iniciales, como para generar el *stitching* de las mismas. Se mostrará como este estándar presenta varias ventajas destacadas para este proceso, sin contar con las prestaciones propias que ofrece para la compresión de imágenes.

La telemicroscopía es un ámbito donde es común este tipo de situaciones. Además, el resultado de la unión, una imagen de un tamaño inmanejable por la mayoría de los visualizadores tradicionales, suele ponerse a disposición de diversos clientes mediante un sistema de visualización remota. Así estos clientes no tienen por qué almacenar estas enormes imágenes en su computadora, sino que podrán inspeccionar las áreas que les interesen en cada momento. Para tal fin se propone el protocolo JPIP, incluido en el estándar JPEG2000, aprovechando que el *stitching* se realiza ya empleando este estándar. Aquí se muestra como ambas tecnologías consiguen dar una solución óptima.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección II se presenta el estándar JPEG2000, repasando algunos de sus principales conceptos básicos; en la Sección III se explica de forma general el protocolo de transmisión de imágenes JPIP y su funcionamiento; a continuación, en

la Sección IV se realiza un breve repaso a los últimos trabajos sobre *stitching* de imágenes, para exponer cómo pueden ser empleados, e incluso mejorados, de forma eficiente empleando el estándar JPEG2000. El artículo concluye con la Sección V de conclusiones.

II. EL ESTÁNDAR JPEG2000

JPEG2000 V es el último estándar ISO/ITU-T para la compresión de imágenes. Comparado con JPEG, este sistema obtiene mejores ratios de compresión para la misma calidad de imagen, especialmente a bajos bit-rates. Algunas de las características más importantes de este estándar son: resistencia a errores, acceso aleatorio, múltiples componentes, imágenes binarias, compresión con pérdida o sin pérdida, etc.

JPEG2000 emplea la transformada discreta wavelet (DWT) que puede ser aplicada o bien con un filtro reversible o con un filtro no-reversible, indicado para poder obtener ratios de compresión mayores. La Fig. 1 muestra como la DWT descompone la imagen de Lena en $1 + 3r$ subbandas espaciales de frecuencia, donde r es el número de etapas de transformada. Nótese que cada etapa de transformada produce cuatro subbandas, LL , HL , LH , HH , donde la L indica cuándo se aplica el filtro de paso bajo y la H cuándo se aplica el filtro de paso alto, en la dirección horizontal o vertical. La primera etapa de la DWT se aplica a la imagen completa, y las sucesivas etapas se van aplicando a la subbanda LL de la anterior. Esta transformación permite, entre otras ventajas, disponer de una representación multiresolución para una misma imagen. Así por ejemplo, en la Fig. 1 podemos observar tres niveles de resolución diferentes. El nivel de resolución más bajo corresponde siempre con la subbanda LL de la última etapa de la DWT, mientras que para generar cualquier otro nivel de resolución n , se emplearán todas las subbandas generadas en las últimas n etapas de la transformada.

Para la codificación de los coeficientes, obtenidos de la cuantificación del resultado de la transformada DWT, el estándar JPEG2000 emplea el EBCOT (*Embedded Block Coding with Optimized Truncation*) V, un codificador entrópico basado en aritmética binaria y modelado contextual. Cada subbanda es dividida en bloques rectangulares, llamados *code-blocks*, y cada uno de ellos es comprimido de forma independiente mediante el EBCOT. A su vez, los *code-blocks* se agrupan en *precincts*, de forma que para cada *precinct* se genera un bit-stream autocontenido e independiente, divisible en tantos segmentos como capas de calidad se definan a la hora de comprimir. En la Fig. 1 los *code-blocks* están identificados por las líneas discontinuas rojas, mientras que la agrupación en *precincts* está señalada mediante las líneas verdes.

Nótese que el estándar JPEG2000 ofrece una alta

escalabilidad: dependiendo del número de resoluciones y del tamaño de las *code-blocks* y *precincts*, tendremos una mayor o menor granularidad para poder extraer del contenido comprimido de la imagen (*code-stream*) sólo aquella region que nos interese, y a la calidad que queramos. Esta es una de las características que hace a este estándar el más eficiente actualmente para su empleo en sistemas de visualización remota.

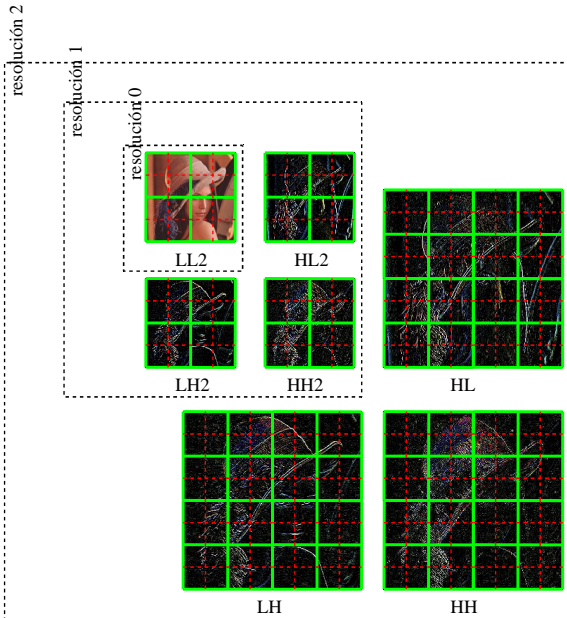


Fig. 1. Descomposición de la imagen de Lena en 3 niveles de resolución (2 etapas DWT), en *code-blocks* (rojo) y *precincts* (verde).

El estándar JPEG2000 se divide en varias partes. La Parte 1 V define el núcleo del sistema de compresión, definiendo también los formatos básicos de los archivos de imágenes.

El formato más simple para el archivo de imagen es el que contiene un único *code-stream* generado sin más. Este *code-stream* está formado tanto por los paquetes generados por la compresión y codificación de los *precincts* de la imagen, como por una serie de marcadores con información adicional y/o estructural.

Con objeto de ofrecer una mayor flexibilidad, como poder incluir metadatos o varios *code-streams* en un mismo archivo de imagen, se definió el formato JP2. Este formato de imagen es un formato extensible basado en *boxes* (cajas). El estándar define una serie de *boxes* básicas, como por ejemplo las que permiten incluir paletas de colores, metadatos o *code-streams*.

La Parte 2 V del estándar define una serie de extensiones a lo definido en la Parte 1, e introduce un nuevo formato de imagen, el JPX, basado en el JP2. Este formato permite una mayor flexibilidad a la hora de definir el resultado final de la representación de uno o varios *code-streams*, pudiendo configurar composiciones múltiples o animaciones. Tal y como se verá más adelante, el formato JPX puede ser empleado para realizar *stitching* de imágenes sin recodificación y sin perder el contenido original.

III. VISUALIZACIÓN REMOTA CON JPIP

La Parte 9 V del estándar define un conjunto de herramientas para el desarrollo de aplicaciones para la

visualización remota de imágenes JPEG2000. El componente más importante de esta parte es sin duda alguna el protocolo JPIP V.

La Fig. 2 muestra una representación del esquema de interacción entre cliente y servidor definida para JPIP. En la parte del cliente, el usuario interactúa con el browser para definir la ventana de interés o WOI (*WindowOf Interest*), es decir, qué region o zona de la imagen remota desea visualizar. Esta WOI es pasada al módulo de comunicación cliente, que construye la petición apropiada y la envía al servidor remoto. Este servidor, cuando recibe la petición, extrae de la imagen correspondiente la información que el cliente necesita, la agrupa en *data-bins*, y la envía al cliente. Gracias a la escalabilidad que ofrece JPEG2000, este proceso de extracción de la información necesaria se puede realizar rápidamente y sin necesidad de recodificación.

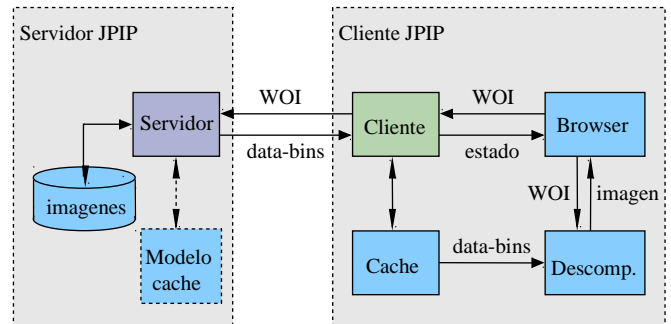


Fig. 2. Esquema de interacción cliente/servidor definida para JPIP.

Conforme el cliente va leyendo los *data-bins* del servidor, los va almacenando en una caché interna. El módulo descompresor, al cual también se le pasa la WOI definida por el usuario, está continuamente consultando esta caché y generando la imagen de la WOI con el contenido actual de la misma. De esta forma, el cliente empieza a poder observar algo en cuanto exista la suficiente información recibida en la caché.

El servidor generalmente mantiene un modelo de la caché de todos los clientes, es decir, un resumen del contenido que tienen todos los clientes actualmente conectados. Este modelo le permite al servidor no enviar información al cliente que ya le ha sido enviada antes. Por ejemplo, si un cliente, tras haber solicitado una WOI, solicita otra nueva pero solapada con la anterior, el servidor JPIP no le enviará la información correspondiente al área común entre las dos WOIs.

Dependiendo de la granularidad de la imagen (número de resoluciones, tamaño de *code-block*, etc.), el servidor enviará más o menos información redundante para una petición del cliente, es decir, cuanto mayor sea la granularidad, el servidor podrá mejor enviar al cliente sólo aquella información necesaria.

Esta comentada estructura propuesta para el protocolo JPIP es quizás el elemento más innovador de toda esta parte del estándar: el cliente ofrece la maquinaria suficiente y necesaria para gestionar la información recibida y su rápida visualización en cuanto sea posible, sirviendo de mero intermediario o vehículo entre el usuario y la imagen remota, pasando a través del servidor. Bajo esta filosofía, es el servidor el principal encargado de procurar que la navegación del usuario a través de la imagen sea lo más eficiente posible.

En contextos donde las imágenes remotas a visualizar tienen un tamaño considerable, y generalmente el usuario no siempre está interesado en visualizar la imagen completa, sino los detalles de ciertas áreas de la misma, el empleo de JPIP es sin duda actualmente la opción más eficiente.

En la Fig. 3 se puede ver un ejemplo de toda la potencia que ofrece el estándar JPEG2000 junto con JPIP en este tipo de contextos. Se desea visualizar una región determinada de una imagen médica remota de gran tamaño, tanto en resolución espacial, como en espacio en disco, empleando un canal de comunicación con un ancho de banda limitado a 4 Kbyte/s (un antiguo modem). La imagen de la izquierda, en la Fig. 3, se obtiene tan sólo recibiendo 8 KBytes, es decir, a los dos segundos aproximadamente. El usuario ya puede visualizar una primera aproximación de la imagen final. Esta imagen final se verá casi completamente nítida pasados tan sólo 10 segundos, habiendo recibido sólo 40 KBytes. El tamaño en disco de la imagen comprimida supera los 5 MBytes.

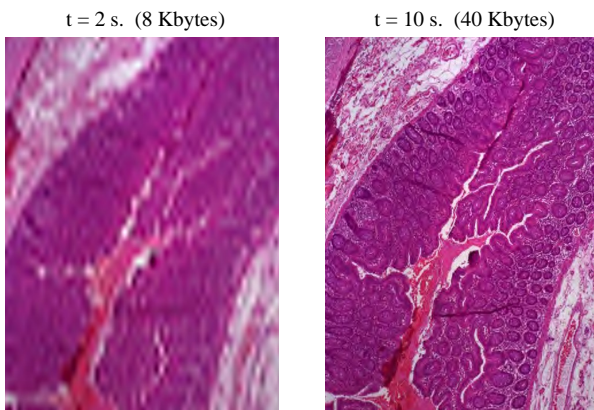


Fig. 3. Dos instantes de la reconstrucción de una imagen durante una transmisión JPIP empleado un canal con un ancho de banda de 4 Kbyte/s. Imágenes cedidas por la Dr. Olga Ferrer-Roca.

IV. STITCHING DE IMÁGENES

A. Trabajos recientes relacionados

El *stitching* de imágenes es un proceso con una complejidad considerable, que incrementa conforme menos homogéneas sean las imágenes a unir. En este artículo no se entrará en detalle en este proceso. Se expondrán algunos de los trabajos más recientes en este campo y se explicará cómo pueden ser puestos en práctica empleando el estándar JPEG2000.

El trabajo de V. Prejmerean V es un buen inicio para acercarse al mundo del *stitching*, presentando algunos métodos simples pero eficaces que ayudan en esta tarea. Por ejemplo, la ecualización del brillo de las imágenes permitirá obtener una iluminación uniforme en todas las imágenes a unir. Esto es especialmente indicado cuando la iluminación existente a la hora de realizar la adquisición no es homogénea, o bien entre imágenes, o bien dentro de la misma imagen. La otra técnica que se propone en este trabajo, consistente en la modificación del color, también ayuda a conseguir una buena uniformidad. En el resto del documento el autor se centra en el problema de determinar las zonas de unión óptimas, proponiendo un algoritmo

genético.

En este trabajo el autor aborda las dos etapas iniciales del proceso de *stitching* de imágenes: el preprocesamiento y la búsqueda de las zonas de unión. Durante el preprocesamiento se realizan las transformaciones necesarias a las imágenes para unificarlas, tanto en contenido como en geometría. En la etapa de búsqueda de los nexos de unión se determinarán los extremos óptimos por los que adherir las imágenes entre sí para generar un resultado homogéneo y no redundante. Existe sin embargo una última etapa, después o durante la unión, casi siempre necesaria, consistente en la reducción de los bordes. Por muy precisa que sea la primera etapa, en la mayoría de los casos los bordes de las uniones de las imágenes son fácilmente detectables, y suelen precisar un cierto retoque para disimularlos o casi eliminarlos. Esta etapa suele realizarse a la misma vez que se fusionan las imágenes, por ejemplo, solapando un porcentaje de los bordes y realizando el promediado.

B. Appleton, A. P. Bradley, y M. Wildermorth V se centran en dar una solución para el desarrollo de la segunda etapa, la búsqueda de las zonas de unión, mediante un algoritmo basado en programación dinámica. Enfocan aquí el trabajo especialmente al campo de la microscopía virtual. También en esta segunda etapa del proceso se centran Y. Linhong y and M. Hirakawa V, pero en este caso presentan un algoritmo especialmente indicado para imágenes generadas a partir de una traslación de cámara. Está basado en la búsqueda de patrones comunes entre las imágenes una vez segmentadas.

Jiaya Jia y Chi-Keung Tang V aportan una solución que incluye tanto la determinación de la zona de unión como el suavizado de los bordes asociados. En esta solución, la región de unión no siempre es recta, ya que se basa en el contenido estructural de las imágenes. El suavizado de los bordes es más complejo y se basa en la propagación vectorial de las deformaciones de la región de unión en las imágenes mediante suavizado.

A. Zomet, A. Levin, S. Peleg, y Y. Weiss V también proponen una solución para las últimas etapas del *stitching*, aunque en este caso las zona de unión son siempre rectangulares.

Uno de los trabajos más completos realizados actualmente sobre el *stitching* de imágenes es el de M. Brown and D. Lowe V. En él proponen una solución completa y eficiente para este proceso, cubriendo todas las etapas. Aborda al detalle la búsqueda de las zona de unión y solape de las imágenes, permitiendo además algo que el resto de los autores casi ni mencionan: las transformaciones geométricas de las imágenes. Si las zonas a unir de las diferentes imágenes presentan una perspectiva diferente, será necesaria cierta transformación geométrica para unificarla. Esto es especialmente necesario con imágenes panorámicas.

B. El *stitching* con JPEG2000

El estándar JPEG2000 puede ser empleado como un mero sistema de compresión en el proceso de *stitching* de imágenes, sirviendo simplemente para comprimir y almacenar las imágenes resultantes. Ya sólo los altos ratios de compresión que consigue hacen de él una buena

elección. Sin embargo, este estándar presenta unas características adicionales que pueden ser muy interesantes en este contexto, suponiendo un valor añadido importante a la hora de su elección por encima de otros sistemas.

Tal y como se comentó en la Sección II, la Parte 2 del estándar define el formato de archivo de imagen JPX. Este formato permite, al igual que el formato JP2, incluir en el mismo archivo varios *code-streams* de imagen. Pero permite además incluir una serie de indicaciones que definen la composición que realizará el visualizador a la hora de representar la imagen final.

Con JPX se define un *canvas* o zona de dibujo donde serán dibujados los diferentes *code-streams* incluidos. De cada *code-stream* o imagen se puede dibujar una o más componentes, totalmente o una region determinada, e incluso indicando un cierto escalado. Es decir, si se tienen cuatro imágenes diferentes a unir, tal y como se muestra en la Fig. 4, de cada una de ellas se puede definir una determinada región rectangular, para formar la visualización final, dentro del *canvas* de la imagen JPX. Se podría además indicar si, por ejemplo, la región necesaria de una imagen se debería escalar un cierto porcentaje antes de ser representada en el *canvas*.

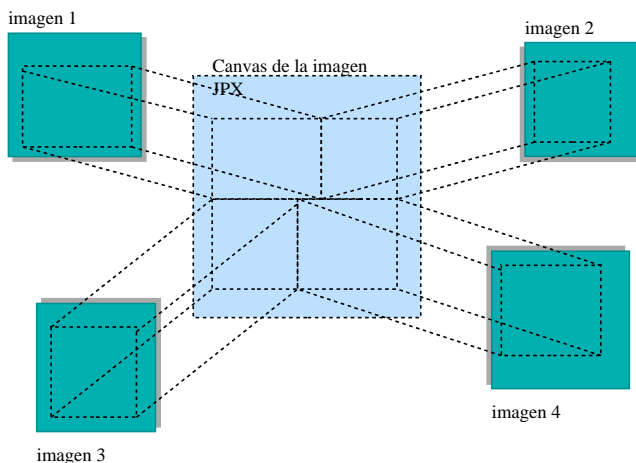


Fig. 4. Composición para la representación de una imagen JPX, basada en la unión de diferentes regiones de las imágenes contenidas.

Como ejemplo práctico imaginemos que queremos unir las cuatro imágenes mostradas en la Fig. 5. Estas imágenes no necesitan ninguna transformación geométrica para su unión, y presentan bastante uniformidad.

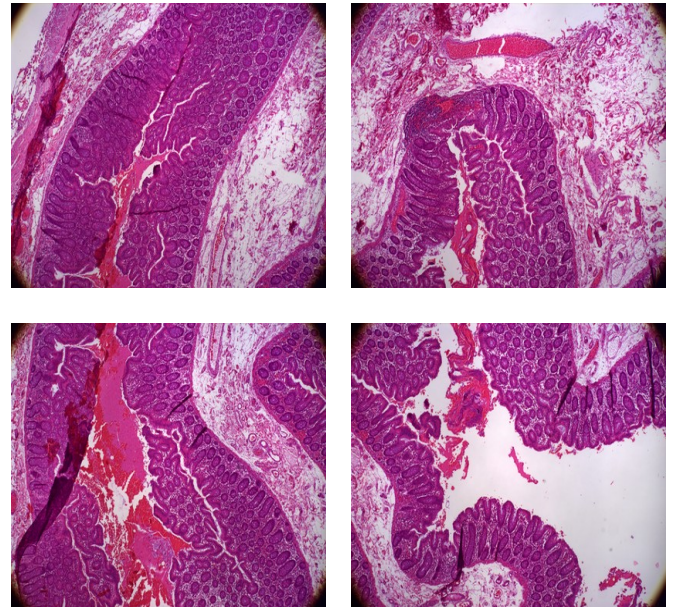


Fig. 5. Cuatro imágenes médicas que sirven de ejemplo para el artículo. Imágenes cedidas por la Dr. Olga Ferrer-Roca.

Serían comprimidas inicialmente por separado, en archivos JP2 por ejemplo, y posteriormente incluidas en un archivo JPX, en donde se incluiría también la definición de composición apropiada, similar a la esquematizada en la Fig. 4. Al visualizar la imagen JPX resultante en cualquier programa compatible, se vería un resultado como el mostrado en la Fig. 6. Se puede observar como la unión es bastante buena, aunque se vea una pequeña discontinuidad en el centro debido a que la iluminación no es completamente uniforme.

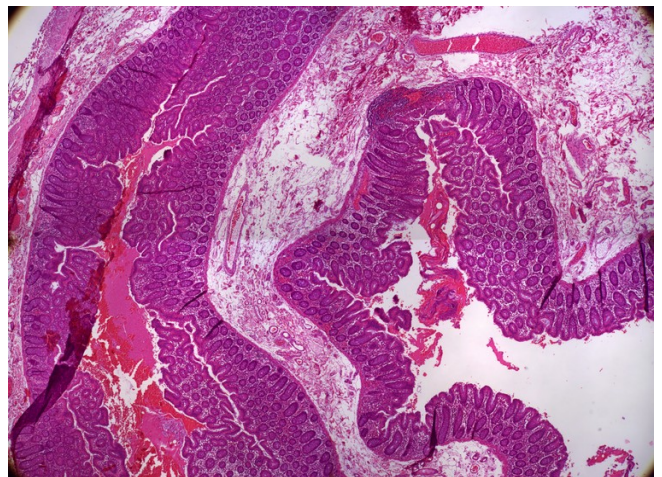


Fig. 6. Resultado del *stitching* simple de las imágenes de ejemplo mediante composición JPX. Imágenes cedidas por la Dr. Olga Ferrer-Roca.

Las principales ventajas de usar el formato JPX son: i) no se requiere procesamiento adicional para la unión de las imágenes ni recodificación, ii) el contenido original de cada imagen unida se conserva intacto, pudiéndose recuperar en cualquier momento, y iii) las imágenes resultantes son directamente compatibles con el protocolo JPIP. Si se persigue un método de *stitching* sencillo, que emplee imágenes muy homogéneas, que sea rápido y sin carga computacional, el uso del formato JPX es el más indicado. Además, el hecho de poder conservar el contenido original de las imágenes a unir permite que, por ejemplo, tener éstas

clasificadas e identificadas por separado, con diferentes meta-datos asociados, y además tener la posibilidad de visualizarlas todas unidas de una determinada forma tanto localmente como remotamente a través de JPIP.

El formato JPX permite una composición de imágenes limitada. Muchos de los trabajos comentados en la subsección anterior podrían ser aplicados sin mayor problema empleando este formato de archivo, siempre y cuando la unión se pueda realizar en términos de una composición JPX. Las imágenes serían preprocesadas antes de ser incluidas en el archivo compuesto, con objeto de aplicar por ejemplo las pertinentes correcciones de intensidad y/o color, o incluso el suavizado de bordes. Evidentemente ya sí sería necesaria cierta carga computacional para dicho procesamiento, además de recodificación, aunque si sigue siendo posible dividirla de forma independiente para cada una de las imágenes a unir, se conservan todas las ventajas mencionadas para este formato.

Puede darse el caso que la unión de las imágenes no se realiza mediante regiones rectangulares, como en V, o incluso que sea necesario aplicar ciertas transformaciones geométricas a dichas imágenes antes de su unión, como ocurre en V. En estos casos el uso de JPX no es posible. Aquí, los bordes de las uniones suelen acentuarse, al definir formas irregulares y/o delimitar zonas poco contiguas. El proceso de suavizado de bordes es bastante más complejo en estas situaciones.

Tal y como se explicó en la Sección II, JPEG2000 está basado en la DWT. Este dominio de frecuencia es empleado en muchas soluciones en la codificación de vídeo para realizar la compensación del movimiento por bloques. Es decir, entre frames, el movimiento es identificado dividiendo a estos en bloques de tamaño único, y calculando el movimiento temporal de cada uno de ellos. De esta forma se puede predecir un frame, generando una imagen con una composición de los bloques del frame anterior. En esta composición, los bloques se pueden solapar y/o hacer coincidir regiones poco homogéneas. Con el fin de suavizar los bordes de estos bloques, la composición se realiza en el dominio DWT. Su carácter frecuencial y multiresolución elimina de forma natural las altas frecuencias de los bordes de unión. Teniendo en cuenta que la DWT es una etapa propia del proceso de compresión JPEG2000, emplear este dominio para el *stitching* de imágenes reduce la carga computacional necesaria, además de proporcionar un suavizado inherente para los bordes de unión.

A cada una de las imágenes a unir se le aplicaría la DWT. Si estuviesen ya comprimidas usando JPEG2000, esto ya estaría hecho, siendo necesaria únicamente la decodificación inicial. Se extraería de cada subbanda de frecuencia de cada imagen la región a unir, formando la matriz DWT de la imagen compuesta. Nótese nuevamente que para generar por ejemplo el archivo JP2 comprimido con el resultado, la etapa previa de la transformada *wavelet* tampoco sería necesaria.

La extracción de las regiones de las subbandas es un proceso multiresolución, es decir, el tamaño de estas regiones será dividido por dos cuando pasemos de las subbandas de un nivel de resolución a las del siguiente nivel inferior. Este proceso es quizás algo complejo conceptualmente, pero no necesita apenas carga computacional. En la Fig. 7 se muestra un ejemplo

esquemático de dicho proceso, pero uniendo horizontalmente sólo dos imágenes. Este ejemplo se puede extrapolar fácilmente a un número mayor de imágenes.

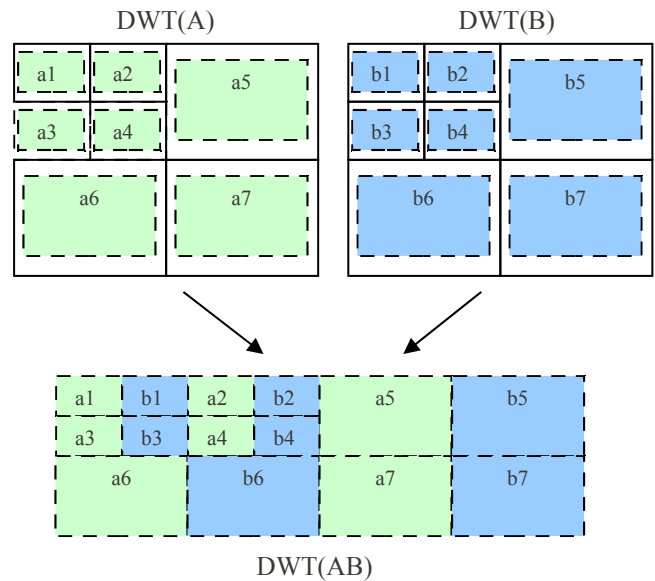


Fig. 7. Ejemplo de unión horizontal de dos imágenes en el dominio DWT.

Es necesario tener en cuenta que las imágenes a unir deben tener zonas solapadas, es decir, no pueden ser imágenes totalmente contiguas, sin regiones comunes, ya que entonces no se producirá ningún suavizado de bordes.

El suavizado de los bordes será más pronunciado cuantos más niveles de resolución haya. Es necesario tener en cuenta esto a la hora de realizar el *stitching*, dependiendo del nivel de detalle que se permita perder en los bordes a causa del suavizado.

Aunque en el ejemplo se han empleado nuevamente regiones rectangulares para una mayor facilidad de comprensión, en el dominio DWT es posible emplear cualquier tipo de figura geométrica para definir las regiones de corte y unión. Lo único que habría que hacer sería unir dichas regiones en una subbanda rectangular mínima que las englobe, poniendo los huecos resultantes a cero.

En la Fig. 8 se puede observar el resultado de unir las imágenes de ejemplo mostradas en la Fig. 5 en el dominio DWT empleando dos niveles de resolución. Se puede ver como el borde horizontal que antes se diferenciaba claramente aparece ahora difuminado.

Figura....

Para todos los ejemplos aquí mostrados se ha empleado el *software* comercial Kakadu V, que incluye herramientas para la compresión/descompresión de imágenes JPEG2000, visualización, generación de archivos JPX compuestos, etc. También incluye una solución cliente/servidor JPIP completa.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el estándar JPEG2000 para la comprensión de imágenes. También se ha presentado el protocolo JPIP para el desarrollo de sistemas de visualización remota de imágenes generadas usando este estándar. Finalmente, se ha realizado un breve repaso a los trabajos más recientes sobre *stitching* de imágenes, analizando las posibilidades que ofrece el estándar JPEG2000 para esta tarea. En definitiva, en este trabajo se propone una solución completa para el *stitching* de imágenes y la visualización remota del resultado mediante JPEG2000 y JPIP.

REFERENCES

- [1] Majid Rabbani and Rajan Joshi, "An overview of the JPEG2000 still image compression standard," *Signal Processing: Image Processing*, vol. 17, 2002, pp. 3-48.
- [2] D. Taubman, "High performance scalable image compression with EBCOT," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 7, Jul. 2000, pp. 1158-1170.
- [3] ISO/IEC 15444, *Information Technology – JPEG2000 Image Coding System – Part 1: Core coding system*, 2000.
- [4] ISO/IEC 15444, *Information Technology – JPEG2000 Image Coding System – Part 2: Extensions*, 2000.
- [5] ISO/IEC 15444, *Information Technology – JPEG2000 Image Coding System – Part 9: Interactive tools, APIs and protocols*, 2003.
- [6] D. Taubman and R. Prandolini, "Architecture, Philosophy and Performance of JPIP: Internet Protocol Standard for JPEG2000," *Visual Communications and Image Processing*, 2003, pp. 791-805.
- [7] <http://www.kakadusoftware.com>, *Kakadu, a comprehensive framework for JPEG2000*.
- [8] A. Zomet, A. Levin, S. Peleg, and Y. Weiss, "Seamless image stitching by minimizing false edges," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 4, Apr. 2006, pp. 969-977.
- [9] Y. Linhong and M. Hirakawa, "A stitching algorithm of still pictures with camera translation," *First International Symposium on Cyber Worlds*, Nov. 2002, pp. 176-182.
- [10] Jiaya Jia and Chi-Keung Tang, "Eliminating structure and intensity misalignment in image stitching," *IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 2, Oct. 2005, pp. 1651-1658.
- [11] V. Prejmerean, "The Stitching of Images," *IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing*, vol. 2, May 2006, pp. 386-391.
- [12] B. Appleton, A.P. Bradley, and M. Wildermorth, "Towards Optimal Image Stitching for Virtual Microscopy," *Digital Image Computing: Techniques and Applications*, Dec. 2005, pp. 299-306.
- [13] M. Brown and D. Lowe, "Automatic Panoramic Image Stitching Using Invariant Features," *International Journal of Computer Vision*, accepted for publication.

Las imágenes médicas representadas en este artículo son propiedad de la Dr. Olga Ferrer-Roca, por lo que queda prohibida su copia o reproducción total o parcial sin su expreso consentimiento.