

Iluminando lo invisible: nueva fuente de radiación infrarroja para la adquisición de imágenes digitales en el espectro infrarrojo

Carolina Correa Orozco

RESUMEN

La implementación de la Fotografía Digital Infrarroja (FDIR), como parte de los análisis no destructivos a los que es sometida una obra en proceso de conservación y restauración en el Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR), hizo necesario contar con una fuente de radiación más eficiente que la usada en la realización de reflectografías con cámara de video análogo. Es por ello que, aprovechando los desarrollos tecnológicos en el ámbito de la video vigilancia, se propone la utilización de iluminadores infrarrojos diseñados para el uso específico en este campo como fuente de radiación infrarroja. Como resultado de su uso, se obtienen imágenes digitales infrarrojas de calidad, alta resolución, con un tiempo de exposición menor y sin problemas de foco.

Palabras clave: fotografía digital infrarroja, iluminadores infrarrojos, reflectografía infrarroja.

ABSTRACT

The implementation of Digital Infrared Photography (DIP) as one of the non-destructive analyses available for objects that are undergoing a conservation/restoration process at the Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR), made it necessary to have a more efficient radiation source than the formerly used for analogous video camera reflectographies.

For this reason and taking advantage of the technological advances in the field of video surveillance, it is proposed the use of infrared radiation sources specially designed for security purposes. As a result, quality digital infrared images are obtained, with high resolution, shorter exposure times and no focus problems.

Key words: digital infrared photography, infrared illuminators, infrared reflectography.

Carolina Correa Orozco estudió Tecnología en Sonido en la Universidad de Chile; desde 2006 se desempeña como Perito en Sonido y Audiovisual en el Laboratorio de Criminalística de la Policía de Investigaciones de Chile. Durante el primer semestre del año 2010 fue pasante en el Laboratorio de Documentación Visual del Centro Nacional de Conservación y Restauración.

INTRODUCCIÓN

¿Qué hay más allá de lo visible?

La pregunta invita a la imaginación y la especulación; sin embargo, la respuesta es una realidad y no una ficción: las inspecciones no destructivas, realizadas con radiación infrarroja, permiten evaluar y obtener valiosa información acerca de la materialidad de las más diversas estructuras, desde el cuerpo humano hasta una gran obra de ingeniería. Estos estudios se basan en la capacidad de la radiación infrarroja de “traspasar” el límite de lo visible.

La posibilidad de registrar imágenes de lo oculto al ojo desnudo ha sido un reto para la tecnología, la que, al evolucionar, ha entregado más y mejores herramientas para explorar e ir más allá en el conocimiento de un objeto o elemento en particular.

La conservación y restauración se ha valido de la radiación infrarroja para inspeccionar y evaluar la materialidad de las obras y los objetos, para así ampliar el conocimiento que de ellos se tiene y, de esta forma, tomar importantes decisiones para su tratamiento o intervención.

En este trabajo se expone la introducción de una nueva fuente de radiación infrarroja para la adquisición de imágenes en el espectro infrarrojo (realizadas como parte de los estudios no destructivos previos a las acciones de conservación y restauración). Con esta nueva fuente se logra obtener imágenes de calidad, con mayor cantidad de información útil y a un menor costo que las obtenidas con el sistema de iluminación y adquisición de imágenes infrarrojas tradicional.

PRESENTANDO EL PROBLEMA

La obtención de imágenes en el espectro infrarrojo es una herramienta de gran utilidad en el estudio de una obra u objeto. Estas imágenes entregan datos sobre la técnica utilizada por el creador, la visualización del dibujo subyacente, los arrepentimientos, las características de los pigmentos y otros datos que permiten incrementar el conocimiento de su materialidad al momento de enfrentar el proceso de conservación y restauración.

La técnica de la captura de imágenes en el espectro infrarrojo se ha ido mejorando y complementando conjuntamente con el desarrollo de la tecnología y los avances en los sistemas de adquisición de imágenes. En sus inicios, las imágenes en el espectro infrarrojo se realizaban con una película fotográfica recubierta de una emulsión sensible a la radiación infrarroja. La visualización de las imágenes adquiridas solo era posible una vez finalizado el proceso de revelado y ampliación de

las fotografías^{1 2}. Más tarde, la introducción del vídeo, por parte de Van Asperen de Boer, permitió la visualización de los resultados “en vivo”, facilitando la realización del análisis. Sin embargo, el sistema resultaba costoso y de difícil acceso para las personas no relacionadas con la electrónica y vídeo³.

Actualmente, la adquisición de imágenes infrarrojas ha dado un salto cuantitativo y cualitativo con la introducción de la tecnología digital y el avance en los dispositivos de captura. El uso de la tecnología CMOS y CCD (cámaras de vídeo y fotográficas tanto aficionadas como profesionales) y, más recientemente, el uso de diodos fotosensibles al espectro infrarrojo han dado como resultado mejores imágenes y a un costo menor⁴.

En la captura de imágenes infrarrojas donde se utiliza la técnica de la reflectografía infrarroja análoga o en la adquisición de imágenes infrarrojas con dispositivos digitales es necesario utilizar una fuente de radiación infrarroja (conocida como lámpara o luz infrarroja). Esta fuente es necesaria para incrementar la capacidad de captura de los dispositivos de adquisición de imágenes infrarrojas y es transversal al medio de captura utilizado.

El CNCR cuenta con un sistema de captura de imágenes infrarrojas basado en una cámara de vídeo de tubo Vidicon, una lámpara de radiación infrarroja (fuente), un monitor de televisión y un sistema de captura digital. Con este equipamiento se realizan reflectografías infrarrojas mediante la captura de reflectogramas individuales, los que posteriormente se ensamblan para formar una imagen total de la obra en estudio⁵.

La lámpara de radiación infrarroja consiste en una fuente lumínica dispuesta al interior de un montaje que lleva un filtro infrarrojo (bloquea el espectro visible) y un ventilador que permite mantener fría la lámpara (Foto 1).

Durante el primer semestre del año 2010 se inició el desarrollo y puesta en marcha de la captura de imágenes infrarrojas utilizando una cámara digital del tipo



Foto 1: Fuente de luz IR Hamamatsu.

- 1 Obrutsky; Acosta, 2003: p. 2.
- 2 Gómez, 2006: p. 58.
- 3 van Asperen de Boer, 1969: pp. 96-118.
- 4 Marras, 2003: pp. 1-2.
- 5 CNCR, Donación de Equipamiento Científico y Fotográfico del Gobierno del Japón al CNCR. 13 p.

DSLR (cámara fotográfica réflex digital). La experiencia había resultado exitosa en diferentes partes del mundo, por lo que se quiso emular localmente⁶.



Foto 2: Filtros infrarrojos, opacos al paso de la luz visible.

La implementación de la fotografía digital como medio de adquisición de imágenes en el espectro infrarrojo se inició con la integración de la fuente de radiación infrarroja del sistema tradicional, una cámara digital del tipo DSLR y un set de tres filtros infrarrojos de 680 nm, 950 nm y 1000 nm, los que bloquean el espectro visible y permiten que solo la radiación infrarroja llegue hasta el dispositivo de captura de la cámara (Foto 2).

La utilización de la lámpara Hamamatsu como fuente de radiación infrarroja en la captura de imágenes con cámara digital resultó engorrosa, principalmente debido a su tamaño, fragilidad y generación de temperatura.

También se presentaron problemas en las imágenes obtenidas, ya que la iluminación no resultaba homogénea por disponerse de solo una fuente.

Sin embargo, el mayor problema se presentaba en la necesidad de realizar largas exposiciones con la cámara fotográfica digital y utilizar diafragmas muy abiertos, lo que comprometía fuertemente la calidad final de las imágenes obtenidas. Estas resultaban ruidosas (a consecuencia de la larga exposición) y con problemas de enfoque (debido a la profundidad de campo limitada y a las diferencias de foco entre la imagen visible y la imagen infrarroja) (Fotos 3 y 4) Detalle *Retrato del General José de San Martín*, José Gil de Castro, Museo Histórico Gabriel González Videla, fotografía infrarroja digital, filtro IR 680 nm).

Foto 3: Deficiencias en la iluminación con una fuente única. Detalle *Retrato del General José de San Martín*, José Gil de Castro, Museo Histórico Gabriel González Videla, fotografía infrarroja digital, filtro IR 680 nm.

Debido a las deficiencias de las imágenes resultantes se planteó la necesidad de resolver la problemática de la “iluminación” (fuente de radiación infrarroja) en la captura de imágenes infrarrojas.

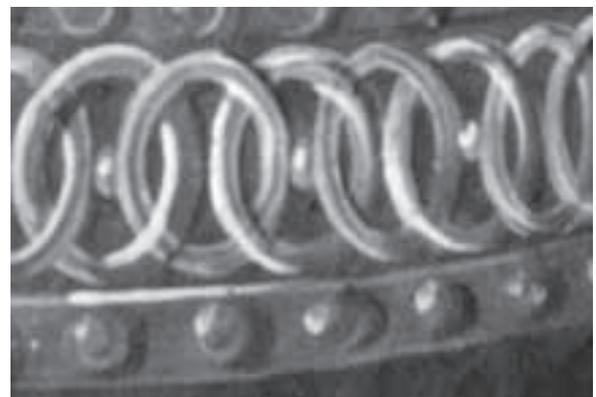


Foto 4: Imagen ruidosa producto del largo tiempo de exposición, 30 segundos.

⁶ Youn, S. et al.: pp. 128-134.

RECOGIENDO EXPERIENCIAS

La adquisición de imágenes, tanto estáticas como en movimiento, en las que se utilizan dispositivos capturadores fabricados a partir de sensores del tipo CMOS y CCD, ha provocado una revolución en el mercado de la imagen, ha masificado su uso impulsado por la miniaturización de los dispositivos electrónicos y los bajos costos de producción. Hoy no es raro enfrentarse a una cámara que registra nuestro paso por las calles, controla el tráfico o custodia nuestros bienes.

El mercado de la videovigilancia ha sido el encargado de desarrollar soluciones para la observación remota de escenas y el registro de ellas. Sin embargo, para que una cámara fuera capaz de “ver” y registrar se debía contar con iluminación, tanto la natural (proveniente del sol) o la artificial.

La necesidad de contar con iluminación limitó el actuar de los sistemas de videovigilancia: no se podía monitorear en la oscuridad sin contar con una fuente lumínica visible.

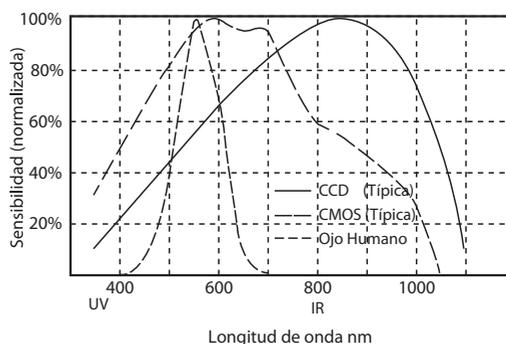
Ha sido nuevamente la tecnología la que ha permitido traspasar esa barrera. Como se vio anteriormente, los dispositivos de adquisición de imágenes basados en la tecnología CMOS o CCD son capaces de “ver” en el espectro infrarrojo cercano, más allá del espectro visible –aproximadamente hasta los 1.000 nm–, por lo que la captura de imágenes en ese rango es posible⁷ (Foto 5).

El registro de imágenes ante condiciones de luminosidad deficiente es conocido como “visión nocturna” y entrega generalmente como resultado imágenes ruidosas y con poca definición. Cuando se trata de escenas domésticas o aficionadas este es un problema menor, pero no cuando se trata de obtener datos precisos desde el registro realizado, como en el caso de las grabaciones de vida animal en condiciones naturales, donde la iluminación artificial en el rango visible no es una alternativa o cuando se quiere dar cuenta de un hecho delictivo sin que los protagonistas se enteren que están siendo grabados.

Ante la necesidad de obtener imágenes de mayor calidad sin la presencia de luz visible, surgieron los llamados “iluminadores infrarrojos”. Estos están contruidos a partir de diodos LED (Light Emitter Diode) o, mejor dicho, IRED (InfraRed Emitting Diode).

Los diodos LED son semiconductores contruidos a partir de una mezcla de gases encapsulados en un medio traslúcido. Se hace pasar una corriente eléctrica a través del semiconductor, provocando una caída de voltaje que logra excitar las moléculas del gas. Dicha excitación da como resultado una luz monocromática, la que corresponde a diferentes longitudes de onda según la mezcla de gases utilizada,

Foto 5: Sensibilidad espectral CCD y CMOS



7 Preis, W. <<http://www.fen-net.de/walter.preiss/e/slomoinf.html>>

dando como resultado luz azul, verde, naranja, roja o blanca de manera independiente del color del encapsulado. Los diodos tienen una vida útil de alrededor de 35.000 h, su consumo energético es unas 20 veces menor que una fuente lumínica incandescente, su temperatura de operación es considerablemente menor que la de los sistemas de iluminación incandescente, además son livianos y resistentes a los golpes.⁸

Si la mezcla de gases en un LED está constituida por galio y arsénico (GaAs) o aluminio, galio y arsénico (AlGaAs), la luz resultante de la excitación de ellos será en el espectro infrarrojo.

La industria de la videovigilancia ha complementado el uso de la capacidad de “ver” en el espectro infrarrojo de las cámaras fabricadas a partir de tecnología CMOS o CCD y la capacidad de “iluminar” en el espectro infrarrojo de los diodos IRED construidos con AlGaAs (Foto 6).

Un iluminador infrarrojo construido con IRED para ser utilizado en videovigilancia posee un sensor que activa el iluminador cuando la luz cae bajo el umbral de luminosidad establecido, es alimentado por una fuente continua de 12 V, 1 A y está construido considerando tres parámetros: la distancia a la que se ubica el objeto de interés, el ángulo de radiación y la longitud de onda de funcionamiento.

La distancia (medida en metros) determina la cantidad de diodos IRED con los que se construye el iluminador (mayor distancia, mayor número de IRED).

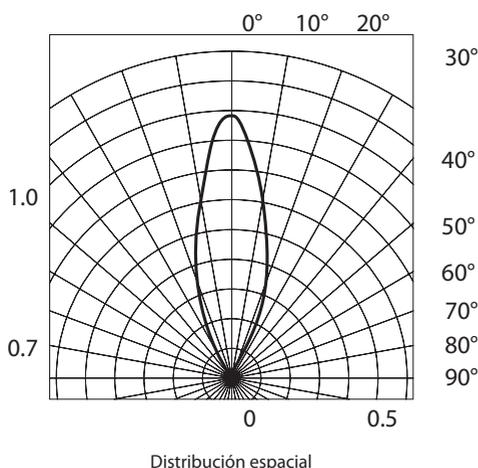
El ángulo de radiación establece el área que será cubierta con la radiación infrarroja y depende de las características constructivas de los IRED individuales y de su disposición⁹ (Foto 7).

La longitud de onda está determinada por las características constructivas de los diodos emisores de radiación infrarroja, estando centradas alrededor de los 850 nm y los 940 nm¹⁰ (Foto 8).



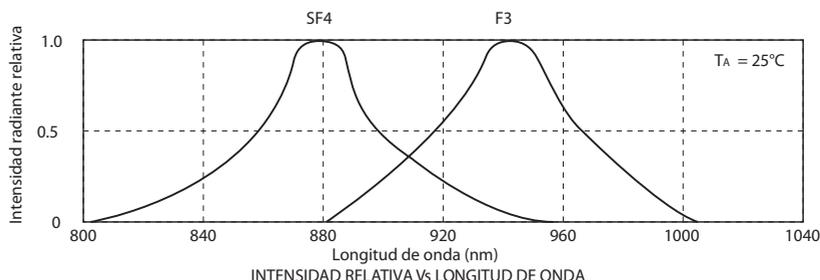
Foto 6: Cámara de videovigilancia con iluminador infrarrojo integrado.

Foto 7: Gráfico de radiación espacial de un IRED.



30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°

Distribución espacial



INTENSIDAD RELATIVA VS LONGITUD DE ONDA

Foto 8: Gráfico de la respuesta lumínica de dos diodos emisores de radiación infrarroja.

8 Osorio, J: pp. 3-7.

9 Kingbright.: p. 3.

10 Kingbright.: p. 3.

UNIENDO DOS MUNDOS

Aprovechando los desarrollos realizados en iluminación infrarroja para videovigilancia, se tomó la decisión de experimentar con la incorporación de este tipo de iluminación en la adquisición de imágenes infrarrojas con cámara digital.

En el mercado local se pueden adquirir a bajo costo iluminadores infrarrojos diseñados para trabajar en conjunto con las cámaras de videovigilancia. Se adquirieron dos iluminadores diseñados para una distancia de 10 m, con un ángulo de radiación de 80° y centrado en una longitud de onda de 850 nm. Cada uno de ellos cuenta con 18 diodos emisores de infrarrojo con encapsulado azul, dispuestos en dos filas concéntricas de 12 y 8 IRED. Al centro del iluminador se ubica un sensor de luz. Los iluminadores son de fabricación china y no cuentan con mayores datos técnicos (Foto 9).



Foto 9: Iluminador infrarrojo 850 nm, 10 m, 80°.



Foto 10: Sesión de fotografía digital infrarroja.

Se procedió a montar ambos iluminadores a cada lado de la cámara digital, sobre una barra de 42 cm y dirigirlos hacia la obra fotografiada en un ángulo de entre 60° y 45° (Foto 10).

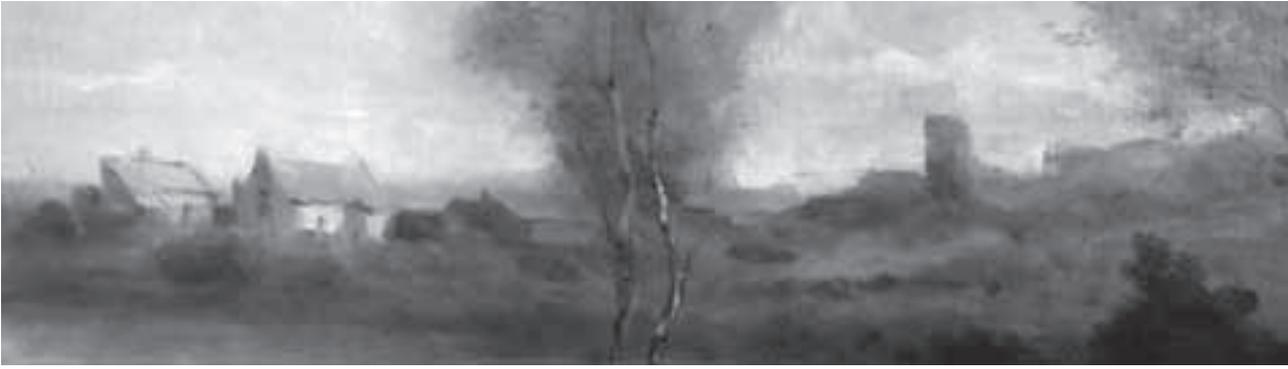


Foto 11: *Detalle Paisaje, Jean Baptiste Camille Corot, Museo de Bellas Artes (fotografía digital infrarroja, filtro IR 850 nm).*



Foto 12: *Circuito impreso con IRED de 940 nm.*



Foto 13: *Iluminador 940 nm final.*

Foto 14: *Montaje de los iluminadores y la cámara.*

Las imágenes que se obtuvieron con la utilización de esta nueva fuente de radiación infrarroja resultaron de mejor calidad que las adquiridas mediante el uso de la fuente de radiación del sistema tradicional, ya que se logró bajar los tiempos de exposición de 30 s a 3 s y utilizar un diafragma $f/5.6$ en lugar de $f/2.8$, lo que permitió, además, corregir las deficiencias de enfoque (Foto 11).

Sin embargo, debido a que la longitud de onda de operación de los iluminadores está centrada en 850 nm, presentando escasa radiación en longitudes de onda más largas, solo se lograron buenos resultados cuando se utilizó el filtro infrarrojo de 680 nm frente al lente de la cámara. No fue posible capturar imágenes utilizando los filtros de 950 nm y 1.000 nm, ya que ese espectro no estaba siendo apoyado con los iluminadores.

Para mejorar la iluminación en el rango de los 950 nm se adquirieron dos circuitos integrados por 48 IRED con encapsulado transparente, diseñados para una distancia de trabajo de 15 m a 20 m, ángulo de radiación de 60° y 940 nm de longitud de onda. Estos circuitos se montaron en carcasas que pertenecieron a focos del tipo halógeno, lográndose de esta forma dos nuevos iluminadores (Fotos 12 y 13).





Los cuatro iluminadores se montaron utilizando una barra y dos brazos articulados. Esta disposición permite corregir tanto la orientación de los iluminadores como su distancia a la obra fotografiada (Foto 14).

Con esta nueva fuente de radiación fue posible realizar fotografías utilizando hasta cinco filtros infrarrojos, 680 nm, 720 nm, 800 nm, 950 nm y 1.000 nm, tiempos de exposición que no superan los 8 s y diafragma f/5.6, lográndose de esta manera imágenes mejor enfocadas, con menos ruido e iluminación pareja.

CONCLUSIONES

La integración de los iluminadores infrarrojos (diseñados para el uso específico en sistema de videovigilancia) al registro de imágenes infrarrojas con cámara DSLR (como parte de los estudios no destructivos previos a la restauración de una obra) permitió disminuir los tiempos de exposición y la utilización de un diafragma más cerrado (mayor profundidad de campo). Gracias a esto se logró mejorar la calidad de las capturas y facilitó su adquisición.

La robustez de los iluminadores infrarrojos permite su manipulación sin grandes preocupaciones por el deterioro generado por el uso.

La temperatura generada por los iluminadores no hace necesaria la utilización de medios de disipación térmica, permitiendo su fácil manipulación y no enfrentando la obra fotografiada a altas temperaturas producidas por la fuente de radiación infrarroja.

La utilización de dos tipos de iluminadores infrarrojos permitió adquirir imágenes de calidad en cinco puntos diferentes del espectro infrarrojo cercano, entregando, de esta, forma valiosa información de las obras desde lo invisible. (Fotos 15 a 17).



Foto 15: Detalle Retrato de Felipe Casas Basterrica, Carlos Díaz, Museo Histórico Nacional, fotografía digital infrarroja, filtro IR 1.000 nm.



Foto 16: Detalle Retrato de Felipe Casas Basterrica, Carlos Díaz, Museo Histórico Nacional, Fotografía digital infrarroja, filtro IR 1000 nm.

Foto 17: Detalle Retrato de Felipe Casas Basterrica, Carlos Díaz, Museo Histórico Nacional, Fotografía digital infrarroja, filtro IR 800 nm.



BIBLIOGRAFÍA

- CNCR. *Donación de equipamiento científico y fotográfico del Gobierno del Japón al CNCR*. p. 13.
- ELEN, SH. *BeyondVisible Ultraviolet, Infrared and Luminescence Photography*. 04 enero 2010. <<http://www.beyondvisible.com>> [consulta noviembre 2010]
- FALCO, CH. High resolution digital camera for infrared reflectography. *Review of Scientific Instruments* 80, 071301, 2009.
- GÓMEZ, D. Fotografía IR con cámaras digitales. Aplicación a la Conservación-Restauración. *Pátina*. Época II, n° 13-14, 2006, p. 58.
- KINGBRIGHT. *T-1 ¾ (5mm) Infrared Emitting Diodes*. <<http://www.casaroymal.cl>> [Consulta noviembre 2010]
- MARRAS, L. *et al.* A new high resolution IR-colour scanner for the non-destructive evaluation of works of art. *Insight*, v. 45, n. 4, April 2003. pp. 276-277.
- OBRUTSKY, E. ACOSTA, D. *Infrared Reflectography, an NTD Technique for images diagnosis*. III Pan-American Conference for Nondestructive Testing. Rio de Janeiro, Brasil, 2003. p. 2.
- OSORIO, J. SCHABL, U Y MORAGA, H. *Curso: "Diseño de Focos de LEDs Eficientes"*. Proyecto: "Iluminando comunidades con tecnología LED y eficiencia energética". Chile, 2008. pp. 3-7. <<http://www.e-market.cl/paginas/newsite/energy/index.asp?id=1&cont=30&vin=3>> [Consulta noviembre 2010]
- PREIS, W. *WP's SloMo CCD and CMOS Sensor Info* <<http://www.fen-net.de/walter.preiss/e/slomoinf.html>> Update: V8.2, 2010-10-20, [consulta noviembre 2010]
- VAN ASPEREN DE BOER, J. *Reflectography of paintings using an Infrared Vidicon Television System*. *Studies in Conservation*. Vol. 14, n°3, 1969. pp. 96-118.
- YOUN, S. *et al.* *A Study on Infrared Reflectography for Underdrawing Detection Using a Digital camera*. *Internet & Multimedia Systems & Applications*. March 17-19, 2008. Innsbruck, Austria.