

# REDES MULTISERVICIO

## 4º GII

### Seminario 1: Medidas de calidad de experiencia

#### Autor:

Pablo Muñoz Luengo, Juan José Ramos, Pablo Ameigeiras  
[pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es), [jjramos@ugr.es](mailto:jjramos@ugr.es), [pameigeiras@ugr.es](mailto:pameigeiras@ugr.es)  
 Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones  
 Universidad de Granada  
 Granada, 2018 ©



## Introducción

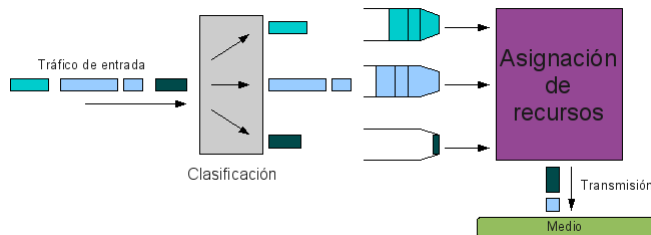
- Internet y el protocolo IP se diseñaron para proporcionar un servicio que realizara el mejor esfuerzo (*best-effort*) en la entrega
- Con el incremento del volumen de tráfico y la introducción de nuevas aplicaciones en tiempo real (tolerante a pérdidas pero no a retardos) y multimedia, los protocolos y servicios tradicionales de Internet son inadecuados
  - Se necesitan por tanto poder dar garantías sobre el servicio (provisión de la calidad de servicio, QoS)





## Introducción

- Para controlar la forma de compartir los recursos de la red, una solución consiste en permitir que los enrutadores y conmutadores de la red se comporten de forma distinta en función del tipo de servicio (voz, datos, video)



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Definición de QoS

- **Calidad de Servicio** (Quality-of-Service, QoS): “la totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio”
- Las ventajas principales de una red compatible con QoS son:
  - Capacidad de priorizar el tráfico
  - Mayor fiabilidad en la red gracias al control de la cantidad de ancho de banda

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Definición de QoE

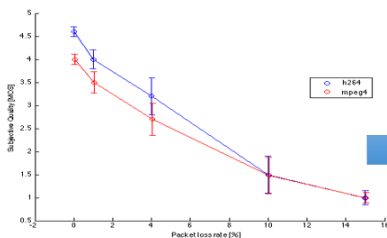
- **Calidad de Experiencia** (Quality-of-Experience, QoE): “la aceptabilidad general de una aplicación o de un servicio, conforme a la percepción subjetiva del usuario extremo”
- Incluye los efectos del sistema completo extremo a extremo (cliente, terminal, red, infraestructura de servicios, etc.)
- Puede estar influenciada por las expectativas del usuario respecto al servicio, por el contexto de aplicación, etc.
- Es una opinión subjetiva, aunque se basa en variables objetivas y medibles.



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Modelos de QoE



Modelos de QoE:  
 $MOS = f(x, y, z, \dots)$   
 combinando  
 de manera no lineal

Calidad audiovisual  
(MOS)

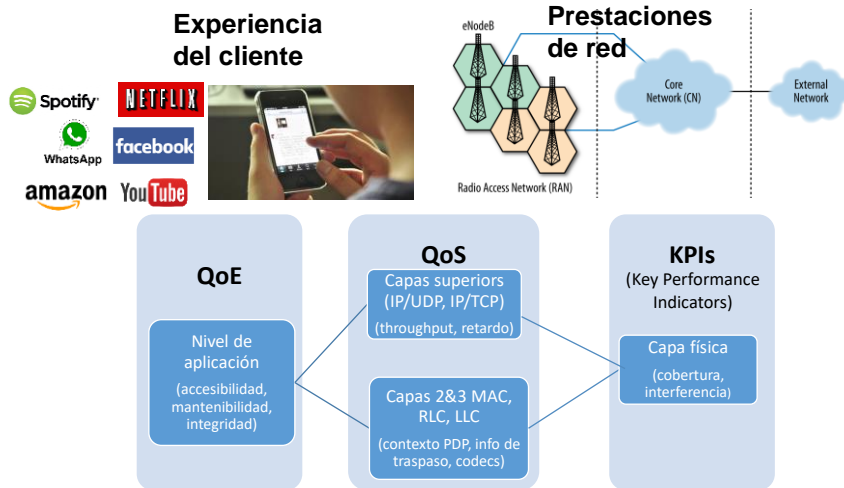
Dependencia no lineal entre la calidad percibida  
y las medidas de nivel IP y de aplicación

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





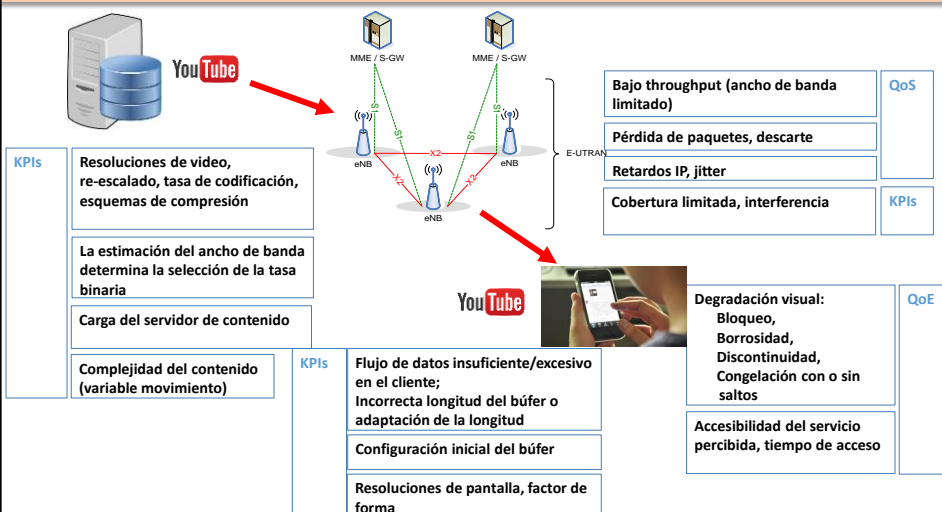
## Ejemplo en una red móvil



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Ejemplo en una red móvil



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Tipos de tráfico

### • Tráfico Elástico:

- Se puede ajustar a los cambios de retardo y throughput de una red, sin dejar de satisfacer las necesidades de sus aplicaciones
- Este es el tipo de tráfico soportado por redes basadas en TCP/IP
  - Transferencia de archivos – *Según tamaño, sensible a retardos*
  - Correo electrónico – *Bastante insensible a variaciones de retardo*
  - Conexión remota – *Sensible a retardos*
  - Gestión de Red – *Los retardos no son una preocupación*
  - Acceso a la web – *Sensible a los retardos*
- Los enrutadores gestionan a ciegas los paquetes IP entrantes, sin importarles el tipo de aplicaciones ni si un paquete forma parte de una transferencia grande o pequeña

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Tipos de tráfico

### • Tráfico No Elástico:

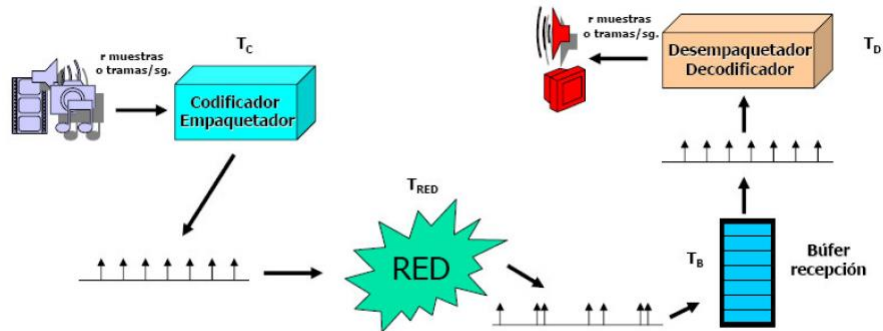
- No se adapta fácilmente a las variaciones de retardo y throughput de una red (por ejemplo, voz y audio)
- Requisitos:
  - **Throughput:** mide la cantidad de bytes de datos de usuario, transferidos por segundo, medido durante un intervalo de tiempo
  - **Retardos:** mide el tiempo entre el envío de un mensaje por el usuario de origen y su recepción por el usuario destino
  - **Variaciones de retardo (jitter):** la magnitud de las variaciones del retardo es un factor crítico en las aplicaciones en tiempo real
  - **Pérdida de paquetes:** las aplicaciones en tiempo real varían según la cantidad de paquetes perdidos, si es que se produce alguna, que puedan sufrir

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Tipos de tráfico



$$T_{\text{playout}(0)} = T'_0 = T_0 + T_C + T_{RED} + T_B + T_D$$

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Tipos de tráfico

Services	QoE Expectation	Performance Attributes
Internet	Low – best effort	Variable bandwidth consumption Latency and loss tolerant
Enterprise/Business Services	High – critical data	High bandwidth consumption Highly sensitive to latency High security
Peer-To-Peer	Low – best effort	Very-high bandwidth consumption Latency and loss tolerant
Voice	High – Low latency and jitter	Low bandwidth – 21-320 Kbps per call One-way latency < 150ms One-way jitter < 30ms
Video	High – low jitter and extremely-low packet loss	Very-high bandwidth consumption Very sensitive to packet loss
Gaming and Interactive	Services High – low packet loss	Variable bandwidth consumption One-way latency < 150ms One-way jitter < 30ms

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Medidas de calidad

- Error cuadrático medio (MSE):

$$\text{MSE}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2$$

- El vector x representa la señal original
- El vector y representa la señal distorsionada

- Relación señal a ruido de pico:

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{L^2}{\text{MSE}}$$

- L es el rango dinámico de las señales x e y

[1] Huynh-Thu, Q.; Ghanbari, M., "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment," in Electronics Letters, vol.44, no.13, pp.800-801, June 19 2008

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Medidas de calidad

- Ventajas del MSE:

- Es simple
- Cumple un conjunto de propiedades: no negatividad, identidad, simetría, etc.
- Tiene un significado físico preciso (energía de la señal error)

- Desventajas del MSE:

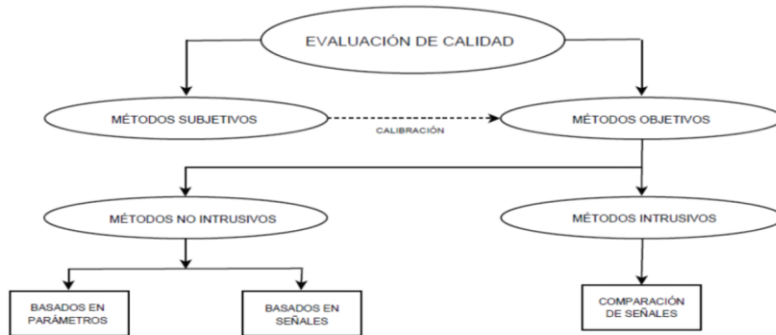
- Es independiente de las relaciones espaciales y temporales entre las muestras de la señal original
- Es independiente de cualquier relación entre la señal original y la señal de error
- Es independiente del signo de las muestras de la señal de error
- Todas las muestras son igualmente importantes

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





# Metodologías de evaluación de la calidad



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Métodos subjetivos

- Consisten en evaluar la opinión media de un grupo de personas, para ello se presentan distintas secuencias y cada individuo asigna un valor de calidad
  - Desventajas: elevado coste y tiempo de ejecución, no funcionan en tiempo real
- Están normalizados por la ITU en las recomendaciones ITU BT.500 para video e ITU P.800 para audio
- Se clasifican en:
  - Absolute Category Rating (ACR) → Mean Opinion Score (MOS)
  - Degradation Category Rating (DCR) → Degradation Mean Opinion Score (DMOS)

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)







## Métodos subjetivos

- Escala MOS:

Excelente	5
Bueno	4
Aceptable	3
Mediocre	2
Mala	1

- Escala DMOS:

La degradación es imperceptible	5
La degradación es perceptible, pero no molesta	4
La degradación es ligeramente molesta	3
La degradación es molesta	2
La degradación es muy molesta	1

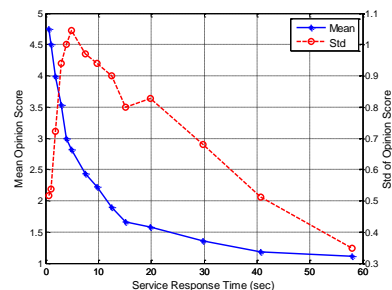
RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Métodos subjetivos

- Ejemplo: Encuesta de calidad subjetiva para WWW (año 2010) [1]

- Un total de cincuenta y dos sujetos fueron reclutados como voluntarios para participar en el experimento
- Los sujetos eran estudiantes universitarios de Ingeniería de Telecomunicaciones
- Durante el experimento, cada participante descarga un total de 14 páginas web, cada página con un tiempo de respuesta cada vez mayor (desde 600ms hasta aproximadamente 60s)
- Los participantes evaluaron la calidad subjetiva percibida según la escala MOS



[1] Ameigeiras, P., Ramos-Munoz, J. J., Navarro-Ortiz, J., Mogensen, P., & Lopez-Soler, J. M. (2010). QoE oriented cross-layer design of a resource allocation algorithm in beyond 3G systems. *Computer Communications*, 33(5). <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2009.10.016>

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Métodos objetivos

- Los métodos objetivos miden propiedades físicas de la red para prever o estimar el rendimiento percibido por los usuarios
- Se han desarrollado métodos para relacionar los diversos parámetros de red medibles con el MOS.
- No dan un resultado directamente en opinión de las personas, sino que su resultado tiene una correlación con la calidad percibida
- Por tanto, se hace necesaria su calibración en base a los resultados de los métodos subjetivos

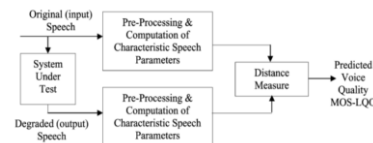
RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Métodos objetivos

### • Métodos Intrusivos:

- Emplean dos señales de entrada, la señal de referencia (original) y la señal degradada (transmitida)
- Miden la diferencia entre ambas señales y estiman la calidad empleando algoritmos concretos
- Son considerados intrusivos debido a la introducción de señales auxiliares y la utilización de la red
- Los métodos más simples son:
  - Signal to Noise Ratio (SNR), PSNR
- Existen métodos más complejos basados en la percepción humana:
  - Audio: Perceptual Speech Quality Measure (PSQM), Measuring Normalizing Blocks (MNB), Enhanced Modified Bark Spectral Distorsion (EMBSD), Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ)
  - Video/imagen: Structural Similarity Index (SSIM)



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## Métodos objetivos

- Métodos No Intrusivos:
  - Estiman la calidad basándose en la señal degradada
    - En este caso, pueden ser utilizados durante el servicio
    - Suelen ser menos costosos de evaluar
  - Métodos basados en parámetros:
    - Predicen la calidad a partir del valor de parámetros de la red IP (por ejemplo probabilidad de pérdida, jitter, retardo) y de parámetros no específicos de la red (códec utilizado, eco, tasa de bits del video, etc.) – Ejemplo: *E-model*
  - Métodos basados en señales:
    - Predicen la calidad utilizando la señal distorsionada sin necesidad de referencia. A este tipo de método se los denomina *Null Reference*

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## E-model (voz)

- Se trata de un modelo empírico matemático estandarizado por la ITU en la recomendación G.107
- Proporciona una predicción de la calidad de voz esperada, tal como la percibe un usuario de teléfono típico, para una conexión telefónica extremo a extremo
- Tiene en cuenta una amplia gama de degradaciones del servicio de telefonía, en particular la degradación debida a los codificadores de baja tasa de datos y al retardo, así como probabilidad de pérdida, ruido y eco
- Es un conjunto de fórmulas que tienen como entrada parámetros de la red tradicional de circuitos conmutados y de la red de paquetes conmutados, y tiene como salida el factor de calidad el cual se puede mapear en MOSc (*c=conversational*)
- Si bien es una herramienta para la planificación de redes, actualmente es muy utilizada para predecir calidad percibida en VoIP

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## E-model (voz)

- Abreviado de ETSI *Computational Model*, definido en el ETSI Technical Report ETR 250 y posteriormente estandarizado en la ITU-T Recommendation G.107
- Se basa en un concepto introducido por J. Allnatt:  
*“Factores psicológicos en la escala psicológica son aditivos”*
- Modela los resultados de una gran cantidad de pruebas subjetivas realizadas en el pasado en una amplia gama de parámetros de transmisión
- La salida del E-Model es el factor de clasificación de la transmisión (*transmission rating factor*) R, el cual se calcula como

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A$$

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
 Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## E-model (voz)

- El modelo emplea los siguientes factores:
  - $R_0$  (nivel de señal vocal recibida relativa al ruido): expresa la relación señal a ruido básica
  - $I_s$  (factor de simultaneidad): representa los impedimentos que ocurren más o menos simultáneamente con la señal de voz, tales como: nivel de voz demasiado alto o ruido de cuantificación del codificador
  - $I_d$  (factor de retardo): modela los impedimentos relacionados con el retardo
  - $I_{e-eff}$  (factor de equipamiento): distorsiones introducidas por el algoritmo de codificación/decodificación y por las pérdidas de paquetes
  - $A$  (factor de expectación): representa un factor de corrección que modela las deficiencias que los usuarios están dispuestos a tolerar a cambio de las ventajas de usar el servicio (por ejemplo, la movilidad)

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
 Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## E-model (voz)

- Se ha definido una simplificación en base a experimentación:

$$R \approx 94.2 - 0.024 \cdot d + 0.11 \cdot (d - 177.3) \cdot H(d - 177.3) - I_e$$

- d: retardo de extremo a extremo en milisegundos

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ 1 & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$$

- I<sub>e</sub>, para un codec PCM (G.711), con e = probabilidad de pérdidas total, sería

$$I_e(\text{G.711, random}) \approx 30 \cdot \ln(1 + 15 \cdot e)$$

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## E-model (voz)

- El valor de MOS (en base a R), sería:

$$\text{MOS} = 1 + 0.035 \cdot R + R \cdot (R - 60) \cdot (100 - R) \cdot 7 \cdot 10^{-6}$$

- Limitaciones de E-model:

- Está basado en fórmulas empíricas y por lo tanto es aplicable solamente a un cierto conjunto de códecs y condiciones de la red
- Es decir, para cada configuración es necesaria la validación del modelo de forma experimental, comparando los resultados con medidas subjetivas de calidad (costosas en tiempo y recursos)

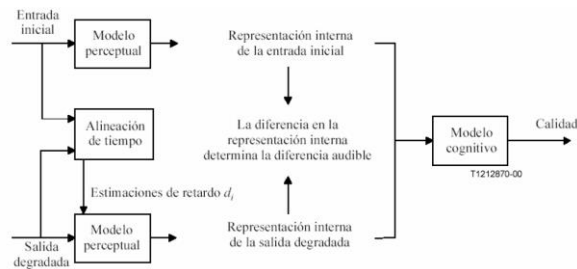
RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## PESQ (voz)

- La recomendación ITU-T P.862 describe un método intrusivo para predecir la calidad subjetiva de la voz telefónica utilizando los códecs más comunes
- El método objetivo descrito se conoce por "evaluación de la calidad vocal por percepción" (PESQ, *perceptual evaluation of evaluation of speech quality*)
  - El modelo alinea y filtra las dos señales, y posteriormente las transforma del dominio de amplitud- tiempo a un dominio de frecuencia-volumen (transformación auditiva), lo que permite recoger las distorsiones que son perceptibles por un humano



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## SSIM (imagen)

- Está diseñado para mejorar los métodos tradicionales, como el PSNR y el MSE, que han demostrado ser incompatibles con la percepción del ojo humano
- Viene dado por la siguiente expresión:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)^\alpha \cdot c(x, y)^\beta \cdot s(x, y)^\gamma]$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1}$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2}$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3}$$

- $\mu$  y  $\sigma^2$  representan la media y la varianza/covarianza de las señales  $x$  e  $y$
- $c_1$  y  $c_2$  son variables que dependen del rango dinámico de las muestras
- " $l$ "  $\rightarrow$  luminancia, " $c$ "  $\rightarrow$  contraste, " $s$ "  $\rightarrow$  estructura

[1] Zhou Wang; Bovik, A.C.; Sheikh, H.R.; Simoncelli, E.P., "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," in Image Processing, IEEE Transactions on , vol.13, no.4, pp.600-612, April 2004

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## PEVQ (video)

- Se trata de un modelo intrusivo muy robusto diseñado para predecir los efectos de las distorsiones en la transmisión de la calidad de video percibida
- Es rápido y fiable (alineamiento basado en análisis de correlación multi-dimensional)
- Se utilizan indicadores que tienen en cuenta los dominios temporal, espacial, luminancia y crominancia
- Están motivados por el propio sistema visual humano

[1] Seshadrinathan, K.; Soundararajan, R.; Bovik, A.C.; Cormack, L.K., "Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video," in Image Processing, IEEE Transactions on , vol.19, no.6, pp.1427-1441, June 2010

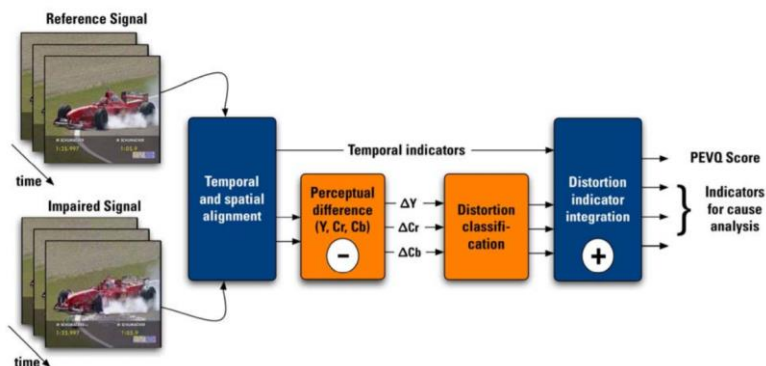
[2] Winkler, S.; Mohandas, P., "The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics," in Broadcasting, IEEE Transactions on , vol.54, no.3, pp.660-668, Sept. 2008

[3] Yanjiao Chen; Kaishun Wu; Qian Zhang, "From QoS to QoE: A Tutorial on Video Quality Assessment," in Communications Surveys & Tutorials, IEEE , vol.17, no.2, pp.1126-1165, Secondquarter 2015

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## PEVQ (video)



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)





## PEVQ (video)

- El primer bloque, la etapa de preprocesamiento, es responsable de la alineación espacial y temporal de la referencia y la señal deteriorada
- El segundo bloque calcula la diferencia perceptiva de las señales alineadas. Perceptual significa que las únicas diferencias tomadas en cuenta serían aquellas percibidas por un espectador humano. Además, la actividad del movimiento en la señal de referencia proporciona otro indicador que representa información temporal
  - El indicador de información temporal es importante ya que considera que la percepción de los detalles es mucho mayor en las series de cuadros con baja actividad, que en las series de cuadros con movimiento rápido
- El tercer bloque en la figura clasifica los indicadores calculados previamente y detecta ciertos tipos de distorsiones
- En el cuarto bloque, todos los indicadores apropiados de acuerdo con las distorsiones detectadas se agregan, formando el resultado final en términos de MOS

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## G-model (juego interactivo)

- Permite cuantificar la calidad percibida por los usuarios en juegos interactivos
- El objetivo de este modelo es determinar la relación entre la calidad percibida por los jugadores (expresada en MOS) y los parámetros de red (retardo, jitter, pérdida de paquetes)
- En el experimento realizado se distinguieron dos tipos de usuarios: iniciados y expertos

$$\text{MOS} = 0.00000587 \cdot X^3 + 0.00139 \cdot X^2 + 0.114 \cdot X + 4.37$$

- donde  $X = 0.104 \cdot r + j$ , “r” es el valor de *round-trip time* medio y “j” es el valor del *jitter* medio

[1] A. F. Wattimena, R. E. Kooij, J. M. van Vugt, and O. K. Ahmed. 2006. Predicting the perceived quality of a first person shooter: the Quake IV G-model. In Proceedings of 5th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games (NetGames '06). ACM, New York, NY, USA

RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)







## Ejercicios

**Ejercicio 1:** Encuesta de calidad subjetiva de una lista de vídeos de YouTube

- Lista de vídeos de YouTube :

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsYUeRZEcQhurtFu6MpWrIn8bmB05qwZ>

- Encuesta:

[sl.ugr.es/0aOP](http://sl.ugr.es/0aOP)

**Ejercicio 2:** Representar la dependencia del valor R con la probabilidad de pérdida de paquete para un códec determinado



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)



## Herramientas de evaluación

- Video-tester:

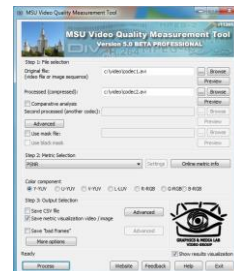
<https://github.com/Enchufa2/video-tester>

- EvalVid:

<http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>

- MSU Quality Measurement Tool:

[http://compression.ru/video/quality\\_measure/info.html](http://compression.ru/video/quality_measure/info.html)



RMS 4º GII – Universidad de Granada  
Pablo Muñoz Luengo – [pabloml@ugr.es](mailto:pabloml@ugr.es)

