

Transmisión eficiente de datos multimedia en redes inalámbricas de sensores

Jose F. Mingorance Puga, Gabriel Maciá-Fernández, António Grilo and Nestor M. C. Tiglao
Universidad de Granada - CITIC, Instituto Superior Técnico (Lisboa - Portugal)

Resumen—La transmisión de información multimedia para múltiples aplicaciones requiere prestaciones de tiempo real. Estas prestaciones implican la necesidad de recibir a tiempo la información para que ésta pueda ser útil para la capa de aplicación. La recuperación de pérdidas a través de la retransmisión de los datos perdidos es una alternativa que puede introducir retardos inaceptables. Por esta razón, muchos autores proponen transmitir la información mediante capas de transporte sin función de recuperación de errores y, en su lugar, se usan códigos de error FEC y técnicas similares para maximizar la recuperación de datos en el receptor. No obstante, en las Redes Multimedia Inalámbricas de Sensores (WMSN), debido a la alta tasa de error en el canal, estos mecanismos no son suficientes para proporcionar una calidad de señal aceptable y, por tanto, se necesitan protocolos de transporte fiables adaptados a estos requisitos. En este artículo se proponen algunos mecanismos para mejorar las transmisiones multimedia en WMSN cuando se usan protocolos de transporte fiables. Estos mecanismos consisten en asignar una cantidad de tiempo para enviar una cierta cantidad de información, estimando si las condiciones del canal permiten o no completar la transmisión. Si es improbable que se complete la transmisión, entonces se detiene la misma, ahorrando de este modo una importante cantidad de energía y recursos en los sensores y la red.

Se evalúa esta aproximación modificando el comportamiento de un protocolo fiable previamente propuesto (DTSN). La nueva aproximación, M-DTSN, mejora la flexibilidad de DTSN controlando el compromiso entre la calidad de la información transmitida y las restricciones de tiempo para datos multimedia en tiempo real, con un cierto grado de tolerancia a pérdidas. Los resultados de la simulación demuestran que las ventajas de M-DTSN para la transmisión de datos multimedia son bastante significativas cuando se comparan con el protocolo original DTSN.

Index Terms—Redes de sensores, transmisión multimedia, capa de transporte.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes multimedia de sensores (WMSN) son redes de sensores que tienen capacidad para trabajar con información multimedia. Están compuestas por sensores multimedia, capaces de capturar y transmitir información multimedia. Por ejemplo, estos sensores podrían ser cámaras trabajando en entornos de vigilancia de baja resolución. Las WMSN presentan algunos retos que son comunes a todas las redes de sensores (escasos recursos como memoria, consumo de energía, capacidad de la CPU, etc.). Debido a estas limitaciones, es esencial

maximizar el tiempo de vida de los sensores reduciendo la cantidad de información que atraviesa la red. Además, las WMSN tienen ciertas características que las hacen diferentes de las WSN tradicionales. Deben ser capaces de funcionar con ciertos requisitos de calidad de servicio que son específicos del tráfico multimedia. Más concretamente, deben ser capaces de adaptar su capacidad de transmisión a las particularidades de la información multimedia.

En este trabajo consideramos solamente aquella información multimedia que requiere prestaciones de tiempo real para su transmisión. Sin pérdida de generalidad, nos centraremos en la transmisión de vídeo, ya que constituye un flujo típico de datos en tiempo real. La información de vídeo está compuesta por una secuencia de imágenes, normalmente codificadas siguiendo un estándar (como MPEGv2). Las técnicas de codificación de vídeo escalables permiten al transmisor trabajar con múltiples resoluciones de vídeo codificando una imagen con una capa base y una o más capas adicionales. Los codificadores de vídeo son capaces de separar la información crítica de una imagen —la capa base— para presentar una imagen a baja resolución, y la información complementaria —las capas adicionales— que permiten reconstruir imágenes en alta resolución. La cantidad de información multimedia requerida por el receptor determina los parámetros usados en la transmisión por los codificadores, por ejemplo, tamaño de la imagen, resolución máxima, número de capas adicionales, periodo de muestreo de imágenes, etc.

Además de la capacidad del receptor, la capacidad de la red en el caso de WMSN también es una limitación importante en cuanto a la máxima resolución de vídeo permitida durante una transmisión. La existencia de enlaces de baja calidad, principalmente debida a los reducidos recursos de energía y potencia instalados en los sensores, supone un reto para el diseño de protocolos de transmisión en redes de sensores. Además, cuando hay información multimedia implicada, la existencia de retardos y jitter es un problema tradicional tratado por muchos investigadores. Debido a la existencia de estos entornos propensos a errores, las últimas investigaciones apuntan que es recomendable el uso de protocolos de transporte fiables para obtener una calidad aceptable [1], [2]. Estas contribuciones se han centrado principalmente en el diseño de protocolos de transporte optimizados para conseguir tasas de retransmisión y recuperación rápida de errores, ofreciendo a la capa de aplicación un mayor rendimiento, lo que permite usar una resolución más alta para la información multimedia. A pesar de ello, hasta donde llega nuestro conocimiento, todas las contribuciones consideran la capa de transporte como un sistema monolítico intentando comportarse lo mejor posible por sí misma.

J. F. Mingorance Puga (jose.mingorance@gmail.com) y G. Maciá-Fernández (gmacia@ugr.es) pertenecen a la Universidad de Granada, Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, CITIC, España. António Grilo (antonio.grilo@inesc.pt) es miembro de INESC-ID/INOV e IST, Lisboa, Portugal. Nestor M.C. Tiglaio (nmctiglaio@yahoo.com) es miembro de EEEI, Universidad de Filipinas, Diliman, Quezon City, Filipinas.

En este artículo exploramos cómo las capas de transporte en WMSN podrían hacer uso de cierta información sobre las características de los datos multimedia a ser transmitidos con el fin de mejorar la calidad de la red percibida por la capa de aplicación. En particular, analizamos algunas características útiles de la información multimedia y descubrimos que es posible explotar el conocimiento sobre la tasa de muestreo de la información multimedia para permitir un aumento considerable en la calidad observada por los receptores. La idea básica para nuestra aproximación es la siguiente. Consideremos un ejemplo simple, consistente en una transmisión entre dos nodos en una WMSN, y supongamos que la unidad de información mínima para un receptor es una imagen. El receptor es capaz de presentar la imagen si ésta llega antes de un instante dado. Entonces, si el transmisor fuera capaz de estimar si la trama no va a llegar a tiempo al receptor (antes del instante de presentar la trama al usuario) no merecería la pena seguir transmitiendo la imagen. Nuestra propuesta aprovecha esta idea y, en esta línea, se sugieren algunos mecanismos para mejorar el rendimiento de las transmisiones multimedia.

Aunque nuestra aproximación podría funcionar sobre otros protocolos de transporte fiables, hemos elegido el *Distributed Transport Protocol for Sensor Networks*, DTSN [3], con el fin de implementarla y evaluarla. Se propone, por tanto, una versión modificada de este protocolo, denominada Multimedia DTSN, M-DTSN. La razones por las que se elige DTSN es que es un protocolo de transporte fiable y está especialmente diseñado para redes inalámbricas de sensores. En el artículo se evalúa en profundidad este protocolo mediante simulación, obteniendo resultados muy prometedores.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección II proporcionamos algunos fundamentos sobre el protocolo DTSN, con el fin de clarificar las modificaciones sugeridas en nuestra aproximación. Después se describe la propuesta en la Sección III. A continuación, se evalúan y se discuten en profundidad los resultados obtenidos por M-DTSN en la sección IV. Finalmente, algunos trabajos relacionados se describen en la Sección V y las conclusiones se presentan en la Sección VI.

II. FUNDAMENTOS DE DTSN

DTSN [3] fue concebido para la transferencia de datos con fiabilidad extremo a extremo al estilo TCP. DTSN usa peticiones selectivas de retransmisiones (ARQ) y confirmaciones negativas (NACK). Las confirmaciones positivas (ACK) también se usan para evitar situaciones de bloqueo que no pueden detectarse únicamente con NACK. Los mensajes NACK y ACK se envían por el receptor únicamente si el emisor lo solicita mediante una petición explícita de confirmación, EAR. Esta solicitud puede ir insertada (piggy-backing) en un paquete de datos que envíe el emisor.

En DTSN, una sesión es una relación unívoca entre emisor/receptor identificada por la tupla <dirección emisor, dirección receptor, identificador aplicación, número de sesión>. La sesión se inicia automáticamente cuando el primer paquete se procesa, y termina cuando expira el temporizador de actividad (si no

quedan confirmaciones pendientes). Se escoge un número aleatorio para el número de sesión que diferencia sin ambigüedad sucesivas sesiones que comparten los mismos extremos e identificadores de aplicación. El procesamiento de un paquete con la misma tupla <dirección emisor, dirección receptor, identificador aplicación> pero diferente número de sesión provoca que la sesión anterior se destruya y una nueva comience.

En una sesión, los paquetes se numeran secuencialmente. La ventana de confirmación (AW) se define como el número de paquetes que la fuente transmite antes de generar un mensaje EAR. El búffer de salida en el emisor consiste en una ventana deslizante que puede albergar más de una AW. El tamaño del búffer de salida y de la AW depende de las restricciones de memoria de cada nodo. Para minimizar el número de retransmisiones extremo a extremo, los nodos intermedios son capaces de almacenar en caché un número de paquetes de acuerdo a una cierta probabilidad. Ante la recepción de un NACK, si alguno de los paquetes que se solicitan en el NACK se encuentran en la caché de un nodo intermedio, éste puede retransmitirlos hacia el receptor. Después de eliminar del NACK los números de secuencia de los paquetes retransmitidos, el NACK sigue su camino hacia el emisor.

III. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN MULTIMEDIA

En esta sección introducimos nuestra aproximación para mejorar la eficiencia durante la transmisión de información multimedia en una WMSN. Consideremos un escenario compuesto de un transmisor enviando información multimedia con destino un receptor a través de una WSN. Nuestra hipótesis es que en la capa inferior a nuestra solicitud habrá un protocolo de transporte fiable para la transmisión. Aunque hemos elegido DTSN, nuestros resultados no están ligados a él, y pueden generalizarse a otros protocolos de transporte fiables.

Se consideran tres factores en nuestro escenario de estudio: (i) los flujos multimedia tienen restricciones temporales, (ii) los sensores están limitados en cantidad de energía permitida para las transmisiones y (iii) la fiabilidad de la capa de enlace/MAC normalmente no es suficiente para asegurar el nivel requerido de entregas exitosas; incluso, el uso de códigos FEC no es una solución satisfactoria en nuestro escenario. Bajo estas hipótesis, si la capa de transporte en un sensor dado es informada sobre las necesidades de la capa de aplicación, nuestra consideración es que es posible mejorar considerablemente las transmisiones requeridas. A continuación explicamos como puede conseguirse esta mejora.

Los receptores multimedia presentan limitaciones debido a la restricción temporal inherente a la información recibida. Algunas están relacionadas con la cantidad de retardo permitido y el jitter máximo tolerado durante la transmisión. Además, el receptor debería obtener también información del transmisor como un promedio de la tasa de tráfico requerida; p.ej., considerando un streaming de vídeo, las imágenes deberían llegar a una tasa que vendrá en cierta forma determinada por la tasa de muestreo de la señal de vídeo.

Consideremos un escenario en el que un receptor de vídeo reproduce un flujo de vídeo compuesto por una secuencia de

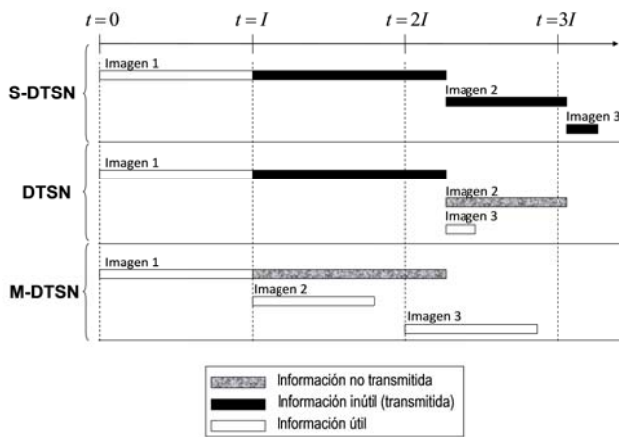


Figura 1: Diagrama mostrando la recepción de tramas en el receptor y la cantidad de información útil/inútil según la perspectiva del receptor, para tres estrategias de transmisión diferentes: S-DTSN, DTSN y M-DTSN

imágenes. Asumamos también que el tamaño de todas las imágenes es igual, y sea su valor S . Además, consideremos que el receptor necesita obtener al menos una imagen cada cierto tiempo, llamado *intervalo de imagen*, I para poder ser capaz de reproducir la secuencia de vídeo. Transmisor y receptor se encuentran localizados en una red inalámbrica de sensores separados por un cierto número de saltos H .

En este escenario, estamos interesados en un mecanismo de transmisión que mejore la efectividad alcanzada por los protocolos actuales de transporte. Para permitir una comparación de nuestra aproximación con el comportamiento de otros protocolos, nos centraremos en DTSN y clarificaremos cuáles son sus diferencias en la transmisión de información respecto a nuestra propuesta.

Consideremos el escenario de ejemplo mostrado en la Figura 1. Tres tramas consecutivas son enviadas desde un transmisor hacia un receptor. Aunque las tres tramas tienen el mismo tamaño, S , la cantidad de tiempo empleada para su transmisión no es la misma, ya que éste depende de las condiciones de la red: calidad del enlace, número de saltos, número de retransmisiones, etc. El tiempo empleado para la recepción de cada una de las tramas se muestra en las barras horizontales de la Figura 1. La misma representación se hace para tres estrategias de transmisión diferentes: S-DTSN, DTSN y M-DTSN. Estas estrategias se explican a continuación. M-DTSN es nuestra propuesta. Las otras dos se presentan para comparar M-DTSN con dos aproximaciones más sencillas.

DTSN simple, S-DTSN, es la estrategia más simple en el uso de DTSN. La capa de transporte, cada intervalo de imagen, I , recibe una imagen para enviar al receptor. Estas imágenes se envían secuencialmente, de manera que una imagen no se envía hasta que la transmisión de la anterior se completa. En la Figura 1 vemos que la Imagen 1 tarda más de I segundos. Esto implica que el receptor obtendrá alguna información considerada como útil (barra blanca), ya que se recibe durante el intervalo de tiempo reservado para la recepción de esa imagen, $t \in [0, I]$. Sin embargo, la información recibida para la imagen 1 después del instante $t = I$ es inútil, ya que la

imagen debería de haber sido presentada en el receptor en el instante $t = I$. Esta información inútil que no contribuye al flujo de vídeo, provoca al mismo tiempo que las imágenes sucesivas se retrasen, incrementando así la probabilidad de que lleguen también demasiado tarde. Una vez que la imagen 1 se ha enviado completamente, la imagen 2 comienza a enviarse. El retardo introducido por la parte inútil de la imagen 1 hace que la imagen 2 llegue después del instante en que debería presentarse en el receptor, $t = 2 \cdot I$, convirtiéndose también en una imagen inútil. Para la imagen 3 sucede exactamente lo mismo. En resumen, usando S-DTSN ninguna de las 3 imágenes transmitidas en nuestro ejemplo se presentan finalmente en el receptor, debido a que llegan con un retardo más alto del permitido por el receptor.

El comportamiento de DTSN es parecido al de S-DTSN, pero varía ligeramente. En base a la tasa de imagen requerida por el receptor, el transmisor es capaz de saber la imagen que este último espera, y por tanto, también de descartar las imágenes que se encuentran esperando ser transmitidas y ya no tiene sentido enviarlas. Vamos a clarificar este punto observando el diagrama de la Figura 1 para DTSN. El receptor experimenta la misma evolución que en S-DTSN para la imagen 1. Sin embargo, cuando el transmisor tiene que enviar la imagen 2, se da cuenta de que el instante para presentar esa imagen en el receptor ya pasó, y por tanto decide enviar la imagen 3. Esta imagen ahora llega a tiempo al receptor para ser presentada en $t = 3 \cdot I$. Este comportamiento modificado con respecto a S-DTSN presenta dos beneficios: primero, la transmisión de la imagen 2 no se hace, por lo que se ahorran recursos y, segundo, el receptor es capaz de presentar al menos una de las imágenes.

M-DTSN es nuestra propuesta para mejorar la eficiencia de la transmisión. En este caso, el transmisor asume que no debería de tardar más de I segundos en enviar una imagen, ya que considera que el receptor no sería capaz de recibir la trama completa a tiempo si se tardara más de I segundos en transmitirla. Consecuentemente, el transmisor detiene la transmisión de una imagen cuando pasan I segundos desde el inicio de la transmisión. Fijándonos en la Figura 1, vemos que la transmisión de la imagen 1 se detiene en $t = I$. Entonces, la transmisión de la imagen 2 empieza. Debido a un cambio en las condiciones de la red, esta segunda imagen llega a tiempo. Finalmente, la imagen 3 también llega exitosamente y se podrá reproducir por parte del receptor. Vemos en este ejemplo que, con esta estrategia, dos de las imágenes se reciben completamente, mientras que la recepción de la primera imagen sólo se realiza parcialmente, y por tanto, esta imagen sería inútil para el receptor.

En resumen, nuestra propuesta para mejorar la transmisión de información multimedia en redes inalámbricas de sensores consiste en adaptar la capa de transporte, de modo que sea capaz de recibir una petición de la capa de aplicación solicitando no solamente el envío de una imagen, sino también requiriendo dicho envío en un umbral de tiempo específico.

Aunque los beneficios de M-DTSN sobre las otras aproximaciones son claros en este escenario, algunos detalles deben aclararse. Primero, muchos receptores son capaces de recuperar la información completa de una imagen a partir

de información parcial. Por ejemplo, en [4] se propone un codificador capaz de recuperar la imagen completa a partir de 5/7 (72%) de la misma. En este escenario no estaría claro si los beneficios de M-DTSN se mantienen, ya que la transmisión se detiene cuando pasan I segundos. Segundo, los receptores normalmente implementan memorias intermedias para solventar el efecto del jitter. Esto significa que los receptores serán capaces de recibir información incluso después de que el plazo máximo para la transmisión se alcance. Por estas razones, se evalúa a continuación (Sección IV) el comportamiento de M-DTSN, comparándolo con el de S-DTSN y DTSN.

IV. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

En esta sección se evalúa M-DTSN en un entorno experimental. Nuestra intención es comprobar si M-DTSN sobrepasa a DTSN y S-DTSN en rendimiento, tal como se espera, y analizar si los resultados son válidos para un amplio rango de configuraciones. Para este propósito, se ha implementado M-DTSN en el simulador TOSSIM usando TinyOS 2.1.0, y se ha utilizado una versión ya implementada de DTSN, cuyos detalles se encuentran en [3].

Se ha realizado un amplio conjunto de experimentos en los cuales se varían los valores de los siguientes parámetros: tamaño de imagen, S , atenuación de todos los enlaces en la red, A , número de saltos intermedios entre el receptor y el transmisor, H , e intervalo entre imágenes para la transmisión multimedia, I . En cada simulación se fija el valor de todos los parámetros y se va variando uno de ellos para observar el comportamiento según dicho parámetro. Se repiten simulaciones cambiando el parámetro a variar. Los parámetros de configuración de la capa DTSN han sido correctamente ajustados para evitar efectos colaterales indeseados, tales como congestión de la ventana o excesivos retardos. Esta configuración se ha realizado teniendo como guía la descripción de DTSN presentada en [3]. Se ha configurado una red de 20 sensores donde todos los enlaces bidireccionales tienen una atenuación variable (esta es de hecho una de las variables de estudio) y un patrón de ruido. Se ha escogido el patrón de ruido usado comúnmente en el modelo de ruido de TOSSIM, y definido en `heavy-meyer.txt`. Respecto a la capa de aplicación, el receptor implementa una memoria intermedia que soporta un jitter de 100 ms.

A. Medida de la eficiencia de una transmisión multimedia

Estamos interesados en evaluar los resultados producidos por M-DTSN en términos de eficiencia de la transmisión. Esta eficiencia se entiende como la percepción que la capa de aplicación obtiene del servicio dado por la capa de transporte. Por tanto, nos interesa descubrir cuánta información útil la capa de aplicación va a obtener cuando se activa M-DTSN. Para una imagen enviada durante la transmisión multimedia, definimos el *porcentaje de imagen recibida*, PIR , como el porcentaje de bytes de la imagen que llegan al receptor antes del instante en el que el receptor debería presentar la imagen. También definimos, para una transmisión multimedia específica, el *porcentaje promedio de imagen recibida*, $PPIR$,

Tabla I: Valores por defecto para las simulaciones.

Parámetro	Valor
<i>Capa de aplicación</i>	
Intervalo de imagen	5 s
Jitter permitido en el receptor	100 ms
<i>Parámetros de la red</i>	
Ruido del canal	definido en heavy-meyer.txt
Número de saltos	1
<i>Parámetros de DTSN</i>	
Tamaño de la ventana de DTSN	50 paquetes
Ventana de confirmación de DTSN	12 paquetes
Máximo número de intentos de EAR	10
Timeout DTSN de actividad (transmisor)	30*250ms
Timeout DTSN de actividad (receptor)	40*250ms

como el valor medio del PIR para todas las imágenes que deberían ser enviadas durante dicha transmisión multimedia.

En una primera aproximación, los receptores solamente son capaces de reproducir aquellas imágenes que han llegado completamente al receptor cuando se alcanza el instante en el que han de presentarse, es decir, las imágenes cuyo PIR es 100%. Sin embargo, como se mencionó previamente, muchos codificadores propuestos recientemente son capaces de recuperar la información de la imagen completa cuando se recibe sólo una porción de la imagen. Por ejemplo, la codificación propuesta en [4] usando códigos FEC sobre canales con pérdidas es capaz de recuperar una imagen completa si más del 72% de su contenido se ha recibido. Por esta razón, no estamos interesados únicamente en explorar la cantidad de imágenes que se reciben completamente y a tiempo, sino en el porcentaje de la imagen que ha llegado a su destino en el instante en que debería ser reproducida. Esto último se mide, precisamente con el indicador ya definido: PIR .

B. Resultados de las simulaciones

A continuación mostramos los resultados más significativos obtenidos a partir de los experimentos. En concreto, para cada una de las cuatro variables estudiadas, S, A, H, I , se presentan los detalles y resultados para un escenario, que es diferente según la variable estudiada y que está seleccionado para poder observar valores significativos de la evolución del rendimiento de M-DTSN. En cada uno de ellos, se muestra el porcentaje promedio de trama obtenido para las tres estrategias expuestas en la Sección III, M-DTSN, DTSN y S-DTSN. Además, para una mejor visibilidad de los resultados, estudiamos algunos puntos interesantes de la simulación y obtenemos la distribución del PIR mediante un histograma.

En todos los resultados mostrados a continuación, los valores ajustados para las variables estudiadas se indicarán explícitamente y, cuando no es así, los valores configurados se corresponden con los mostrados en la Tabla I.

Dependencia del rendimiento con el tamaño de imagen.

La Figura 2(a) muestra resultados para el porcentaje promedio de imagen recibida, $PPIR$, cuando el tamaño de la imagen, S , se ha ido variando. Podemos comprobar cómo en esta figura, para tamaños de imagen mayores de $S=33\text{KB}$, el valor del $PPIR$ disminuye cuando el tamaño de imagen aumenta. Este comportamiento se debe al hecho de que un tamaño de imagen

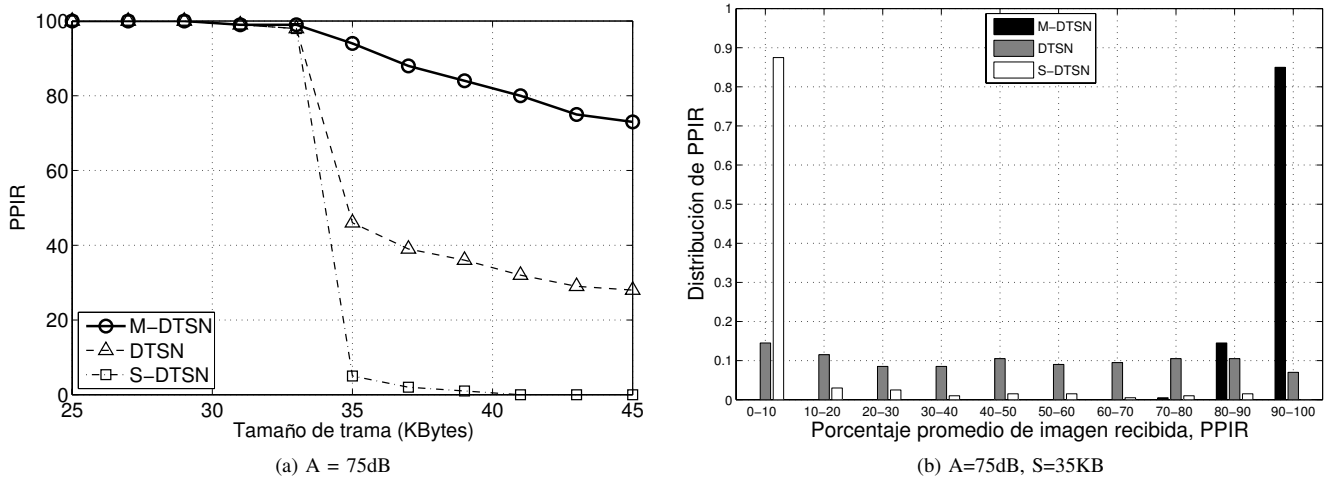


Figura 2: Comparación del rendimiento entre M-DTSN y DTSN, S-DTSN cuando el tamaño de imagen S varía: (a) porcentaje promedio de imagen recibida para una atenuación de 75 dB; (b) histograma de PPIR para una atenuación de 75 dB y $S=35$ KB.

más grande implica un tiempo mayor para enviar las imágenes y, por tanto, una reducción de su PPIR.

También es interesante determinar la cantidad de imágenes que se presentaría correctamente en el receptor. Para este propósito necesitamos primero establecer un umbral en la cantidad de información que se necesita recibir para cada imagen que se quiere presentar. Consideraremos en este caso que nuestra transmisión multimedia utiliza el codificador propuesto en [4], y que tiene por tanto un umbral del 72% del tamaño total de la imagen. Para hacer posible esta evaluación, obtenemos la distribución del porcentaje de trama recibido en un punto significativo y usamos el método del histograma. Esta distribución se muestra en la Figura 2(b). Aquí, vemos que todas las imágenes recibidas cuando usamos M-DTSN están por encima del 70%. Esto implica que el codificador sería capaz de recuperar todas las imágenes, al contrario que si usamos DTSN, donde sólo el 24% de las imágenes llegan con un PPIR mayor a 72%, siendo este porcentaje en torno al 2% para el caso de S-DTSN.

Queda claro a partir de estas figuras que el rendimiento de M-DTSN es considerablemente superior al de DTSN y S-DTSN. Además, como se esperaba, los resultados obtenidos para DTSN son superiores a los de S-DTSN, ya que S-DTSN utiliza menos inteligencia en la transmisión.

Dependencia del rendimiento con la calidad del enlace.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos cuando la atenuación del enlace varía, para un tamaño de imagen $S=10$ KB. Hasta un umbral de 75dB, las tres estrategias se comportan igual. Sin embargo, se observa que la evolución del rendimiento en M-DTSN es mucho mejor cuando las condiciones de los enlaces empeoran. En este caso, para el punto estudiado $A=80$ dB, el histograma obtenido muestra que prácticamente la mitad de las imágenes se reciben por encima del 72%.

Dependencia del rendimiento con el intervalo de imagen.

Los resultados correspondientes a la variación del intervalo

entre imágenes, I , se representan en la Figura 4(a). Claramente muestran que, tal como se esperaba, PPIR crece con el intervalo entre imágenes. Esto es debido a que se permite más tiempo para la recepción de una imagen, y por tanto se incrementa el porcentaje recibido de cada imagen.

En estos resultados confirmamos que el comportamiento de M-DTSN es mucho más adecuado que el de DTSN y S-DTSN y su rendimiento muy superior. Además podemos ver cómo M-DTSN concentra el histograma en valores más altos de distribución de PPIR -ver Figura 4(b)-, mientras que DTSN por ejemplo genera una distribución cuasi-plana. Esto implica que, cuando los valores de $PPIR > 70\%$ son aceptables para el receptor, el porcentaje de imágenes útiles será superior al 90% para M-DTSN, mientras que estará en torno al 16% para DTSN.

Dependencia del rendimiento con el número de saltos.

Como podemos ver en la Figura 5, M-DTSN es superior también en los casos en que el número de saltos es suficientemente bajo para permitir la llegada en tiempo de una parte considerable del tráfico multimedia. Nótese que los histogramas para las tres estrategias claramente indican que la cantidad de tramas potencialmente válidas para ser presentadas es mucho mayor para M-DTSN.

Dependencia del rendimiento con el jitter.

Para comprobar la influencia que el jitter tiene en los escenarios presentados, a continuación se realiza un batería de simulaciones en las que se varía el jitter permitido por el receptor.

Como se observa en la Figura 6, la influencia del jitter es prácticamente irrelevante frente al resto de parámetros. Esto nos sirve para constatar que, en efecto, el hecho de haber establecido un jitter de 100 ms no conlleva pérdida alguna de generalidad en las simulaciones realizadas sino todo lo contrario, se acerca más al comportamiento de un receptor real.

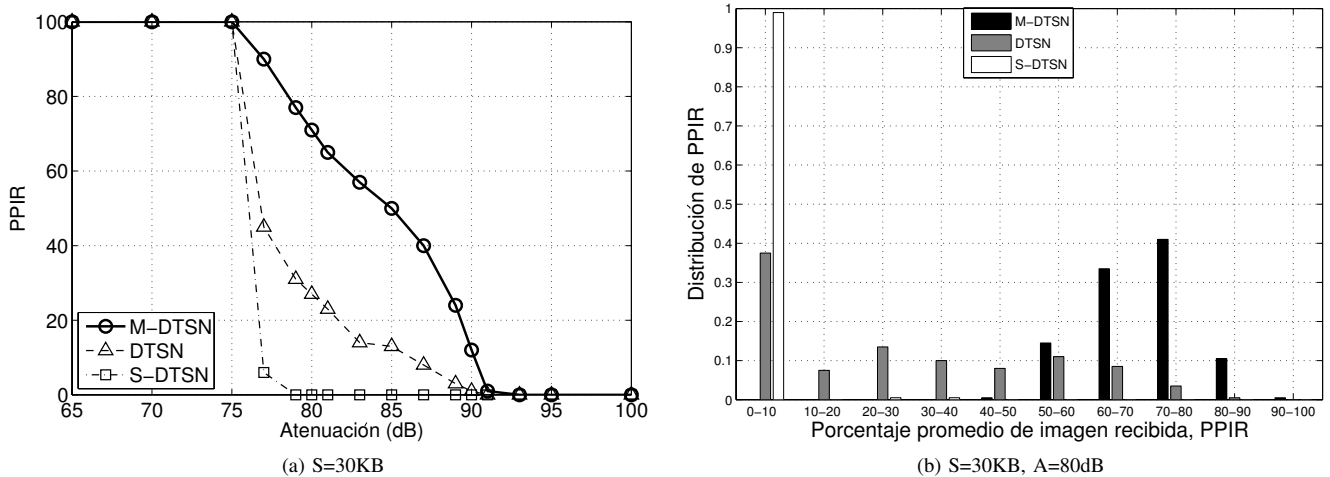


Figura 3: Comparación de rendimiento entre M-DTSN y DTSN, S-DTSN cuando varía la calidad del enlace (atenuación, A): (a) porcentaje promedio de imagen recibida para S=30KB; (b) histograma de PPIR para S=30KB y A=80dB.

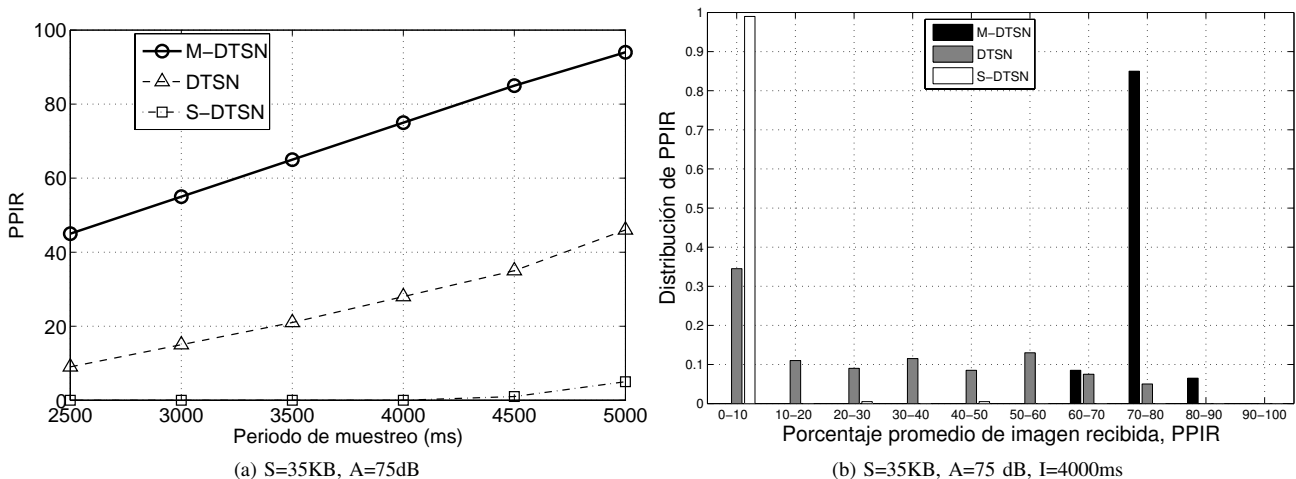


Figura 4: Comparación de rendimiento entre M-DTSN y DTSN, S-DTSN cuando variamos el intervalo de imagen, I: (a) porcentaje promedio de imagen recibida para S=35KB y A=75dB; (b) histograma de PPIR para S=35KB, A=75 dB e I=4000ms.

Dependencia del rendimiento con el tamaño de la ventana DTSN.

De la misma forma que se ha comprobado que la configuración para jitter en el receptor no influye de manera importante en los resultados obtenidos, se comprueba también si los tamaños de ventana que se han usado en las simulaciones están congestionando la transmisión y, por tanto, evitan obtener el máximo rendimiento posible en las transmisiones.

Para ello se han realizado experimentos variando el tamaño de la ventana de DTSN. En la Figura 7 se muestran algunos resultados, en los que la ventana de confirmación se ha configurado a 1/4 de la ventana DTSN. Se observa que para valores pequeños de la ventana (10 - 20 paquetes) se produce congestión y esto impide las transmisiones alcancen su máximo rendimiento. Al aumentar la ventana (30 - 60 paquetes) la curva de rendimiento obtenida converge a una asíntota. Esto se debe al hecho de que en este rango el tamaño

de ventana es suficientemente grande para que no se produzca congestión. A partir de este punto, un aumento en el tamaño de la ventana no se traduce en un incremento de PPIR, ya que éste se encuentra limitado ahora por el resto de parámetros que configuran el escenario.

V. TRABAJO RELACIONADO

Tradicionalmente, la principal función de la capa de transporte ha sido proporcionar control de congestión y garantizar la comunicación. Además, proporciona una abstracción de la red y calidad de servicio (QoS) a la capa de aplicación. Esta última especifica los parámetros de QoS y configura el servicio para alcanzar las garantías requeridas a través de la capa de transporte. Asimismo, es deseable para la capa de transporte reducir la latencia y maximizar el throughput. La transmisión de flujos de datos multimedia es un campo relativamente nuevo identificado en el exhaustivo estudio [17]. Los protocolos de

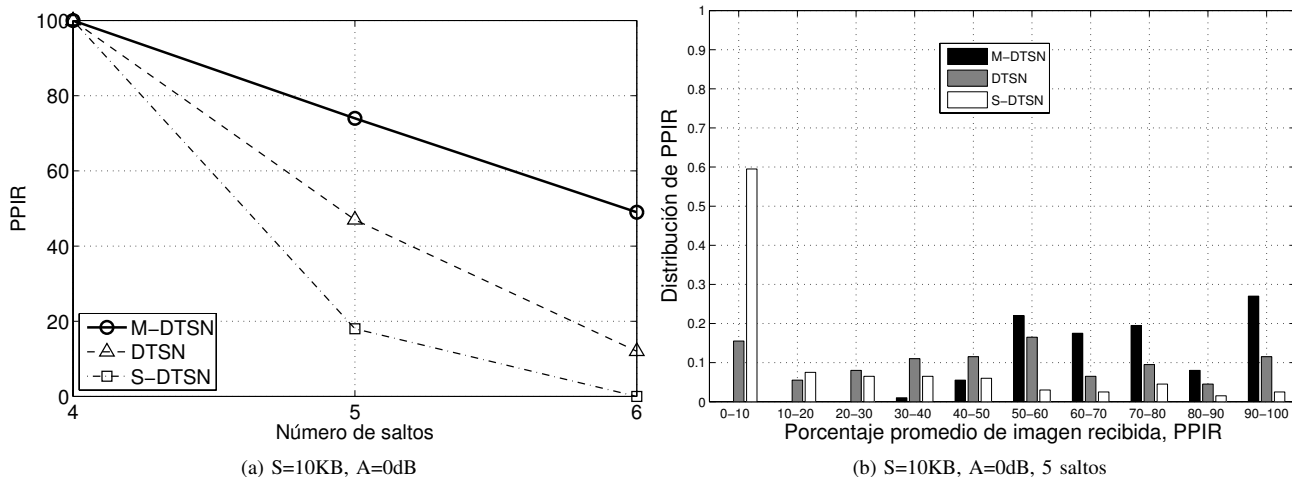


Figura 5: Comparación del rendimiento entre M-DTSN y DTSN,S-DTSN cuando varía el número de saltos: (a) porcentaje promedio de imagen recibida para S=10KB y A=0dB; (b) histograma de PPIR para S=10KB, A=0dB y 5 saltos.

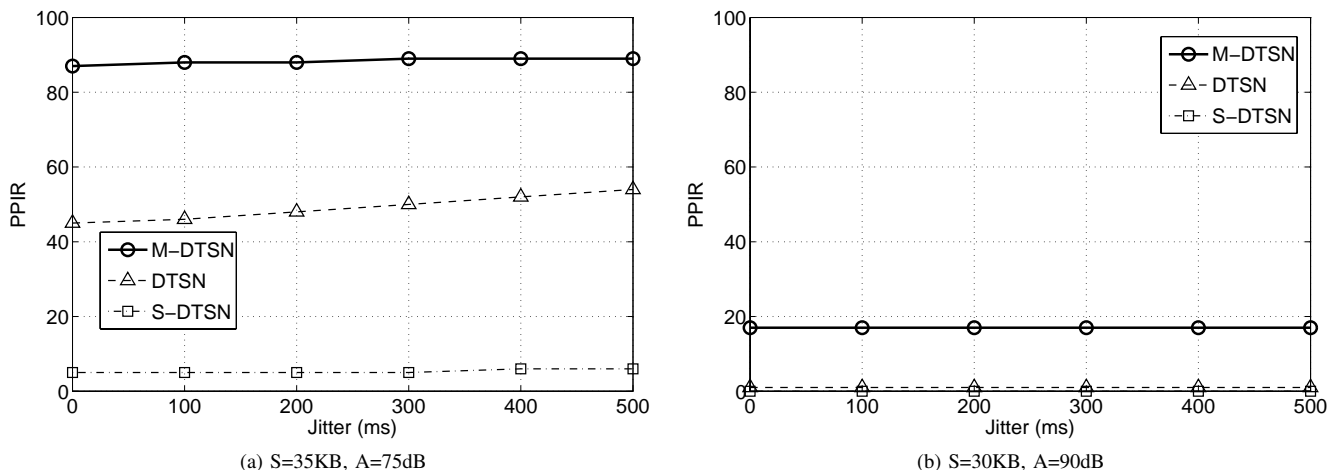


Figura 6: Comparación del rendimiento entre M-DTSN y DTSN,S-DTSN cuando se varía el jitter del receptor: (a) porcentaje promedio de trama recibido para S=35KB y A=75dB y (b) porcentaje promedio de trama recibido para S=30KB y A=90dB.

transporte usados para la transmisión multimedia a través de internet, tales como RTP/RTCP (en su versión sobre TCP) [5] y DCCP [6] no pueden aplicarse directamente a las WSN porque fueron diseñados principalmente para trabajar en redes cableadas. Sin embargo RTP sobre UDP sí ofrece características más convenientes para funcionar sobre redes inalámbricas. Por tanto, las suposiciones subyacentes no funcionan en redes inalámbricas de sensores. En particular, las redes cableadas no tienen problemas de interferencias, y las pérdidas de paquetes surgen principalmente por la congestión. Por otro lado, las redes inalámbricas sufren los impedimentos de la capa física, lo que conlleva tasas de error de bit mucho más altas. Como resultado, el uso de protocolos de transporte de internet y/o redes cableadas implica una degradación del rendimiento y enormes ineficiencias energéticas [7].

La mayoría de los protocolos de transporte más famosos desarrollados para redes inalámbricas de sensores como ESRT

[8], CODA [9], SenTCP [10], y RMST [11] proporcionan una calidad de comunicación muy pobre, porque estos protocolos no consideran los retardos extremo a extremo y, por tanto, el retardo de las tramas puede ser muy alto [12]. Por otro lado, otros trabajos recientes como DTSN [13], CTCP [14] y RCRT [15] se centran en la entrega fiable de información sin altos retardos.

A pesar de los esfuerzos realizados, se han desarrollado pocos protocolos dirigidos a los requisitos específicos del tráfico multimedia. Por ejemplo, aunque no diseñado específicamente para aplicaciones multimedia, el protocolo DART [16] concilia las restricciones de los retardos en tiempo real con la fiabilidad. Otra aproximación es el uso de protocolos de encaminamiento multitrayecto, que pueden mejorar la entrega de los datos multimedia enviando el tráfico a través de diferentes caminos. MPMPS [2] soporta múltiples prioridades de tráfico para diferenciar los flujos multimedia de otro tráfico

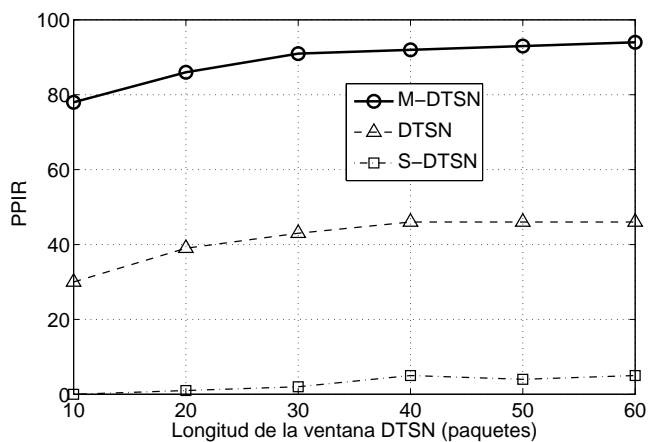


Figura 7: Comparación del rendimiento entre M-DTSN, DTSN y S-DTSN cuando varía el tamaño de la ventana DTSN: porcentaje promedio de imagen recibida para $S=35\text{KB}$ y $A=75\text{dB}$.

y elige el máximo número de caminos entre todos los posibles para maximizar el rendimiento de la transmisión multimedia.

Por último, la codificación de red ha surgido como una alternativa al enrutamiento tradicional de paquetes y ha abierto una nueva área de investigación en la que pueden desarrollarse nuevos métodos y protocolos. Un trabajo reciente [17] proporciona una visión general de los principios de la codificación de red aplicada a las transmisiones multimedia en los entornos aquí estudiados. También existen técnicas centradas en la planificación de políticas de transmisión con óptima tasa-distorsión dadas las condiciones de la red. Dichos esquemas tienen la ventaja de decidir qué paquete enviar a continuación, cuándo enviarlo, o no enviarlo (si se estima que va a llegar tarde o perderse), conociendo las características del flujo codificado (importancia relativa de los paquetes) y las condiciones de la red, de forma que se minimiza la distorsión observada en el receptor [18].

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ha estudiado si es posible desarrollar protocolos de transporte dirigidos a optimizar el compromiso entre los requerimientos de tiempo real y la fiabilidad de la información multimedia, parcialmente tolerante a pérdidas y sensible a retardos, en WMSN. Se ha propuesto un mecanismo para el transmisor que es capaz de aumentar considerablemente la eficiencia de las transmisiones multimedia. Este mecanismo ha sido evaluado adaptando el protocolo de transporte fiable DTSN. La versión adaptada, M-DTSN ha demostrado ser mucho más efectiva en la transmisión de información multimedia. Además, se ha evaluado si esta aproximación funciona cuando se aplican técnicas de codificación de red conjuntamente con protocolos de transporte fiables en la capa inferior a la de nuestra solución, obteniendo la conclusión de que nuestra aproximación es sumamente beneficiosa en estos entornos.

Como trabajo futuro planeamos optimizar este mecanismo desarrollando algoritmos adaptativos capaces de seleccionar

los valores de configuración apropiados de nuestra aproximación como una función de la evolución de la red y el receptor a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el MICINN Español bajo el proyecto TEC2008-06663-C03-02 (70% fondos FEDER), the European Community Seventh Framework Programme bajo el acuerdo de concesión no. 225186, proyecto WSN4CIP, y el Departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Filipinas a través de la concesión ERDT.

REFERENCIAS

- [1] Shiwen Mao, D. Bushmitch, S. Narayanan, and S. Panwar, "MRTP: a multiframe real-time transport protocol for ad hoc networks," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 8, 2006, pp. 356-369.
- [2] L. Zhang, M. Hauswirth, L. Shu, Z. Zhou, V. Reynolds, and G. Han, "Multi-priority Multi-path Selection for Video Streaming in Wireless Multimedia Sensor Networks," *Ubiquitous Intelligence and Computing*, 2009, pp. 439-452.
- [3] F. Rocha, A. Grilo, P. Pereira, "Performance Evaluation of DTSN in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 4th EuroNGI Workshop on Wireless and Mobility*, Barcelona, Spain, January 2008. In Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, vol. 5122, 2008.
- [4] X. Zhang, and X.-H. Peng, "A tested of erasure coding on video streaming system over lossy networks," in *Proc. IEEE 7th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, Oct. 2007.
- [5] "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," <http://tools.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>.
- [6] "Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)," <http://tools.ietf.org/rfc/rfc4340.txt>.
- [7] T. Braun, T. Voigt, and A. Dunkels, "TCP support for sensor networks," 2007 Fourth Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services, Obergurgl, Tyrol, Austria: 2007, pp. 162-169.
- [8] O. Akan and I. Akyildiz, "Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 13, 2005, pp. 1003-1016.
- [9] C. Wan, S.B. Eisenman, and A.T. Campbell, "CODA," *Proceedings of the first international conference on Embedded networked sensor systems - SenSys '03*, Los Angeles, California, USA: 2003, p. 266.
- [10] C. Wang, K. Sohaby, and B. Li, "SenTCP: a hop-by-hop congestion control protocol for wireless sensor networks," *Proc. IEEE INFOCOM 2005*, March 2005.
- [11] F. Stann and J. Heidemann, "RMST: reliable data transport in sensor networks," *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, 2003., Anchorage, AK, USA: , pp. 102-112.
- [12] O. Akan, "Performance of Transport Protocols for Multimedia Communications in Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 11, 2007, pp. 826-828.
- [13] B. Marchi, A. Grilo, and M. Nunes, "DTSN: Distributed Transport for Sensor Networks," 2007 IEEE Symposium on Computers and Communications, Santiago, Portugal: 2007, pp. 165-172.
- [14] E. Giancoli, F. Jabour, and A. Pedroza, "CTCP: Reliable Transport Control Protocol for sensor networks," 2008 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing. 2008, pp. 493-498.
- [15] M.H. Yaghmaee and D. Adjeroh, "A reliable transport protocol for Wireless Sensor Networks," 2008 International Symposium on Telecommunications, Tehran: 2008, pp. 440-445.
- [16] V.C. Gungor and Ö.B. Akan, "Delay aware reliable transport in wireless sensor networks," *International Journal of Communication Systems*, vol. 20, 2007, pp. 1155-1177.
- [17] E. Magli and P. Frossard, "An overview of network coding for multimedia streaming," 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. 2009, pp. 1488-1491.
- [18] Rate-distortion optimized scheduling for redundant video representation. *IEEE Transactions on Image Processing* archive V-18. H. Wang. A. Ortega.