

## Desarrollo de servicios y sistemas de comunicación sobre redes overlay peer-to-peer

JUAN PEDRO MUÑOZ GEA Y JOSÉ MARÍA MALGOSA SANAHUJA

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.  
Universidad Politécnica de Cartagena.

juanp.gea@upct.es; josem.malgosa@upct.es

### Resumen

Las redes overlay aparecen con el objetivo de hacer frente a diferentes retos que han aparecido en Internet, tales como la necesidad de proporcionar servicios heterogéneos o la de controlar una red enorme en términos de complejidad y tamaño. Durante los últimos años el Grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT ha trabajado en el estudio de los retos de un tipo específico de redes overlay, concretamente las redes P2P. Durante este tiempo se han realizado diferentes diseños con el objetivo de automatizar la gestión de este tipo de redes, proporcionar anonimato y facilitar la transmisión de contenidos multimedia en aplicaciones de video bajo demanda (VoD, Video-on-Demand).

**Proyecto/Grupo de investigación:** Grupo de Ingeniería Telemática. Plan Nacional I+D+i “Contribución a los nuevos paradigmas y tecnologías de red para las comunicaciones del mañana (CON-PARTE-1)” TEC2007-67966-C03-01/TCM.

**Líneas de investigación:** *Telemática; Redes Overlay; Aplicaciones P2P; Anonimato; VoD.*

## 1. Redes Overlay

### 1.1. Definición de red overlay

Internet, en su concepción más simple, tiene dos clases de componentes: los nodos finales (máquinas en el extremo de la red que tienen funciones de servi-

dores y máquinas de usuario) y routers (que reenvían los paquetes entre nodos finales). Con esta vista simplificada, se puede pensar en Internet como una nube de routers conectados entre sí, con los nodos finales situados en los extremos de la nube. Los nodos finales corren procesos de aplicación (por ejemplo juegos, clientes web, o servidores) que son programas que se comunican entre sí enviando paquetes de datos que son reenviados por los routers. Sin embargo, muchas aplicaciones reales son más complejas que lo que implica este simple modelo. En el caso del e-mail, por ejemplo, cuando un usuario envía un correo a otro, va a través de servidores intermedios que tienen nombres como “servidor smtp” o “servidor pop”. En el caso del web, hay cachés web y proxys. Estos dispositivos intermedios no son routers, son una forma de nodos finales. Sin embargo, estos dispositivos intermedios tienen una serie de características importantes que los distinguen de los nodos finales convencionales. Desde la perspectiva del router deben ser máquinas finales, pero desde la perspectiva de la aplicación son infraestructura. Con el objetivo de distinguir estos dispositivos de infraestructura de los nodos finales convencionales se emplea el término *overlay* para describir conjuntos organizados de dispositivos de infraestructura.

Las redes P2P (Peer-to-Peer) son un tipo concreto de red *overlay* y surgen como una alternativa al tradicional modelo cliente-servidor para aprovechar toda la capacidad de proceso, almacenamiento y ancho de banda sobrante de los ordenadores interconectados a través de Internet. Básicamente, una red P2P o “entre iguales”, se refiere a una red que no tiene clientes y servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan a la vez como clientes y como servidores de los demás nodos de la red. Así, todos los nodos se comportan igual y pueden realizar el mismo tipo de operaciones, pudiendo no obstante diferir en configuración local, velocidad de proceso, ancho de banda de su conexión a la red y capacidad de almacenamiento.

## 1.2. Objetivos

Este trabajo de investigación se centra en el estudio de un tipo específico de redes *overlay*, concretamente las redes *overlay* peer-to-peer (P2P). El primer objetivo que nos marcamos es el de proporcionar automatismos para la gestión de una propuesta original y novedosa de red *overlay* utilizada para la descarga anónima de contenidos. Por gestión automática se entiende su inicialización y regeneración de los enlaces frente a posibles fallos de los nodos. Además se pretende que se puedan utilizar patrones de búsqueda complejos, aún en presencia de los automatismos anteriores.

Por otra parte, en este tipo de escenarios los usuarios también están interesados en mantener el anonimato, que significa que ningún nodo de la red pueda saber quiénes son el origen y el destino de los mensajes. Tradicionalmente, el anonimato se obtiene mediante la conexión de los nodos fuente y destino a través de un conjunto de nodos intermedios, creando un camino multi-salto en-

tre los pares de nodos. En este trabajo se propone un algoritmo distribuido para restaurar un camino cuando un nodo falla (de forma voluntaria o no).

Por último, en los últimos tiempos se ha estudiado la conveniencia de utilizar aplicaciones P2P para la distribución de contenidos multimedia. Aunque ya se han desarrollado varios sistemas para la distribución de contenidos en directo, la pregunta de si también se pueden utilizar para la distribución de video bajo demanda (VoD, Video-on-Demand) todavía permanece abierta. En este trabajo se estudian cuáles son los principales retos de este tipo de sistemas. Su implementación en la red propuesta se desarrollará en un trabajo futuro.

## **2. Gestión automatizada de redes overlay**

### **2.1. Introducción**

En esta sección se va a diseñar un mecanismo de auto-gestión que va a permitir crear la topología de la red y mantenerla frente a posibles fallos de los nodos (situación habitual debido a que muchos de dichos nodos son terminales hogareños). Además, tal y como se dijo anteriormente, se pretende que se puedan utilizar patrones de búsqueda complejos. Por ello, se va a proponer una estructura híbrida: una red no-estructurada (que nos permitirá realizar búsqueda de ítems complejas) inmersa a su vez dentro de una estructurada que permita una gestión y mantenimiento de la red automático.

### **2.2. Modelo de gestión basado en un único nivel de superpeers**

La gestión de los superpeers, tanto durante la fase de creación de la arquitectura de red, como para proporcionar tolerancia y resistencia a fallos, se realiza utilizando un servicio de DHT [2] proporcionado por una red P2P estructurada. Todos los nodos de la red están inmersos en una red P2P estructurada. Además, los nodos se van a dividir en distintos clusters de una forma más o menos uniforme. Dentro de estos clusters se va a elegir a un superpeer, que destacará del resto de nodos de su cluster por sus prestaciones en cuanto a CPU, ancho de banda y fiabilidad. Cada uno de los nodos del cluster será capaz de establecer una conexión TCP con su superpeer y le enviarán información sobre los ficheros que desean compartir. La Figura 1 (izquierda) describe la arquitectura general del sistema.

A la hora de realizar la búsqueda de un determinado contenido, el usuario enviará a su superpeer unos parámetros de búsqueda en un lenguaje textual de alto nivel y éste le devolverá información sobre los contenidos ubicados en dicho cluster y coincidentes con esos parámetros. A su vez, los nodos superpeer de la red van a formar parte de un grupo multicast definido dentro de la misma red estructurada. De este modo, si la búsqueda falla, el superpeer reenviará la

solicitud hacia el resto de superpeers en modo multicast. Para una red de 6.400 terminales (128 de los cuales actúan como superpeers) y con un total de 12.800 contenidos diferentes, la Figura 1 (derecha) muestra la probabilidad de que un determinado contenido (catalogado como normal o muy interesante) se encuentre localizado directamente por el mismo superpeer al que se le ha hecho la consulta. Puede observarse claramente como dicha probabilidad- transcurridas unas 500 transacciones de búsqueda- converge rápidamente a la unidad; lo que demuestra la efectividad y estabilidad de esta propuesta.

### 3. Soporte de Anonimato

En algunos escenarios los usuarios también están interesados en mantener el anonimato, que significa que ningún nodo de la red pueda saber quiénes son el origen y el destino de los mensajes. Tradicionalmente, debido a la naturaleza no orientada a conexión de los datagramas IP, el anonimato se obtiene mediante la conexión de los nodos fuente y destino a través de un conjunto de nodos intermedios, creando un camino multi-salto entre los pares de nodos. Existen varios mecanismos para la proporción de anonimato que funcionan de esta forma, pero los más importantes son los mecanismos basados en Onion Routing [3] y Crowds [4].

Para alcanzar anonimato, el procedimiento anterior tiene dos inconvenientes principales. El primero es que la naturaleza peer-to-peer de la red se elimina parcialmente ya que ahora, los nodos no están conectados directamente. Por lo tanto, los costes por usar caminos multi-salto producen un consumo extra de ancho de banda y una sobrecarga adicional de los terminales, al encaminar conexiones no creadas por ellos mismos. Además, como se sabe, los peers son propensos a desconexiones imprevistas. Aunque este hecho siempre afecta negativamente al rendimiento del sistema, en una red anónima es un desastre ya que las conexiones entre los pares de nodos probablemente fallarán aunque ambos nodos estén activos. Por lo tanto, se necesita un mecanismo para restaurar los caminos cuando se presente una desconexión imprevista. Sin embargo, este tipo de mecanismos suelen añadir sobrecarga extra en la red en términos de tráfico de control.

En este sentido, se ha propuesto un mecanismo de anonimato para la red basada en un único nivel de superpeers. Este mecanismo se basa en Crowds para crear los caminos multi-salto. Para reducir la sobrecarga de los participantes, el mecanismo introduce un límite de longitud máxima (TTL) en el proceso de creación del camino. La principal contribución es un algoritmo distribuido para restaurar un camino cuando un nodo falla (de forma voluntaria o no). El algoritmo tiene en cuenta los tres costes presentados anteriormente para obtener una solución equilibrada entre el grado de anonimato y sus costes asociados. En las Figura 2 se muestra dos evaluaciones por simulación del coste que conlleva

mantener el anonimato. En la figura 2 (izquierda) se aprecia que el número medio de conexiones que debe encaminar un nodo intermedio no es alta, salvo cuando la carga de la red es cercana a la unidad. Pero incluso en ese caso, nuestra propuesta limita el número medio de conexiones a valores inferiores a 20. La Figura 2 (derecha) representa la cantidad de mensajes de control (generados durante una hora) necesarios para restaurar un camino roto debido a la desconexión de un nodo (peer) intermedio. Se observa que en régimen permanente, el número medio de paquetes de control se sitúa entorno a los 40.000. Suponiendo una longitud de dichos paquetes de 50 bytes (10 de payload y 40 de la cabecera TPC/IP) ello supone un gasto en tráfico de control de 4.4 Kbps. Esta velocidad es lo suficientemente pequeña como para considerar que el coste de nuestra propuesta es muy aceptable.

## 4. Sistemas P2P de VoD

Los servicios de VoD permiten a los usuarios ver cualquier punto de video en cualquier momento. Comparados con el streaming en directo, VoD ofrece más flexibilidad y comodidad a los usuarios y verdaderamente consigue el objetivo de ver lo que se quiera cuando se quiera. La pregunta de si la tecnología P2P puede ser usada para proporcionar servicios VoD ha permanecido abierta. Diseñar un servicio P2P VoD es más exigente que diseñar un sistema P2P de streaming en directo porque aunque un gran número de usuarios pueden estar viendo el mismo video, son asíncronos entre sí (diferentes usuarios pueden ver diferentes porciones del mismo video en cualquier momento).

Un componente fundamente de cualquier sistema P2P VoD es su estructura de red overlay, relacionada con la organización de los nodos participantes. En función de este componente, los sistemas P2P VoD pueden ser clasificados en árbol y en malla, aunque- debido al dinamismo de los nodos- ésta última topología es la que demostrado ser más eficiente para la provisión de P2P VoD. En un sistema de streaming P2P basado en malla, las relaciones entre nodos son establecidas/terminadas en función de los contenidos y la disponibilidad de ancho de banda de los nodos. Este tipo de sistemas intentan conseguir descarga rápida de ficheros mediante swarming. Con este método, un fichero se divide en segmentos de tamaño pequeño y el servidor los dispersa a diferentes usuarios. Los usuarios descargan de sus vecinos los segmentos que no tienen actualmente. Ya que en todo momento se mantienen múltiples vecinos, lo sistemas de streaming de vídeo basados en malla son altamente robustos a los fallos de los nodos.

Un componente importante de cualquier sistema P2P VoD basado en malla es la política de reenvío de contenidos, es decir el modo en que el contenido multimedia es almacenado y transmitido a cada nodo participante. Hay dos categorías principales para este elemento: las aproximaciones buffer-forwarding y las storage-forwarding. En la aproximación buffer-forwarding cada cliente almacena

un número limitado de segmentos alrededor del punto de reproducción actual. En la aproximación *storage-forwarding* cada nodo almacena un gran número de segmentos en su almacenamiento local (disco duro). Otro aspecto clave de los sistemas P2P VoD basados en malla es el diseño de mecanismos para encontrar un nodo con los segmentos necesarios. Debido a requisitos de escalabilidad estos mecanismos normalmente utilizan estructuras de búsqueda distribuidas, como el DHT (*distributed hash table*). En las aproximaciones *buffer-forwarding*, los nodos se almacenan en las estructuras de búsqueda distribuída por el punto de reproducción. Por otra parte, en las aproximaciones *storage-forwarding*, los nodos se ordenan en la estructura de búsqueda distribuida por los segmentos que almacenan. En ambos casos, cuando un cliente quiere reproducir un segmento, primero busca los nodos que proporcionan ese segmento y después envía las solicitudes a esos nodos para el servicio.

La colaboración entre los nodos para la entrega de los contenidos (*data scheduling*) es otro requisito muy importante en los sistemas P2P VoD. El esquema de *scheduling* en los sistemas P2P VoD basados en malla tiene dos componentes fundamentales: cómo enviar solicitudes a los vecinos apropiados y cómo evaluar las solicitudes recibidas de esos nodos. Para las aproximaciones *buffer-forwarding*, se han propuesto muchos heurísticos para tratar este tema, como *round robin*. Por otra parte, para las aproximaciones *storage-forwarding* se han propuesto varias modificaciones del algoritmo de selección de segmentos de BitTorrent. Además, el uso de códigos Fountain, como LT o Raptor, es una nueva alternativa para tratar este tema.

En función de la discusión anterior, se tienen que considerar los siguientes problemas dominantes de los sistemas P2P VoD: (1) Manejo adecuado de las peticiones asíncronas de los clientes: se espera que el sistema entregue el video completo a cada nodo, (2) Recuperación robusta de fallos: el protocolo de recuperación de fallos debería reorganizar rápidamente la red con los nodos disponibles y (3) Sobrecarga de control pequeña: la sobrecarga de control se debe mantener pequeña para hacer el sistema escalable.

## 5. Conclusiones

Las redes overlay aparecen con el objetivo de hacer frente a diferentes retos que han aparecido en Internet, tales como la necesidad de proporcionar servicios heterogéneos o la de controlar una red enorme en términos de complejidad y tamaño. Durante los últimos años el Grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT ha trabajado en el estudio de los retos de un tipo específico de redes overlay, concretamente las redes P2P.

Durante este tiempo nos hemos marcado varios objetivos. El primero de ellos consiste en proporcionar automatismos para la gestión de la red overlay, sobre

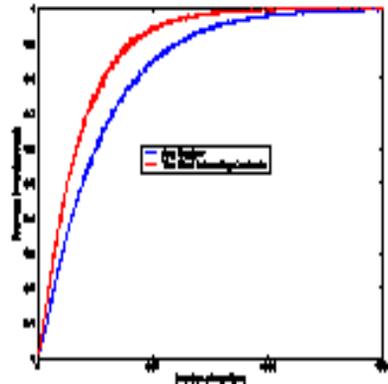
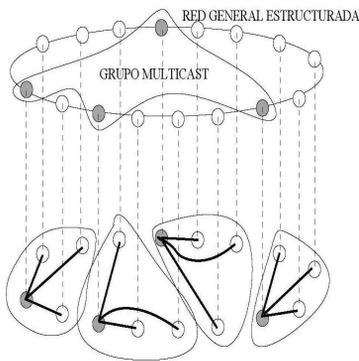


Figura 1: Izquierda: Arquitectura del sistema. Derecha: Probabilidad de que un determinado contenido (catalogado como normal o muy interesante) se encuentre localizado directamente por el mismo superpeer al que se le ha hecho la consulta.

todo durante la fase de creación y para ofrecer resistencia frente a posibles fallos de los nodos. Por otra parte, en algunos escenarios los usuarios también están interesados en mantener el anonimato, que significa que ningún nodo de la red pueda saber quiénes son el origen y el destino de los mensajes. Por último, en los últimos tiempos se ha estudiado la conveniencia de utilizar aplicaciones P2P para la distribución de contenidos multimedia. Aunque ya se han desarrollado varios sistemas para la distribución de contenidos en directo, la pregunta de si también se pueden utilizar para la distribución de video bajo demanda (VoD, Video-on-Demand) todavía permanece abierta.

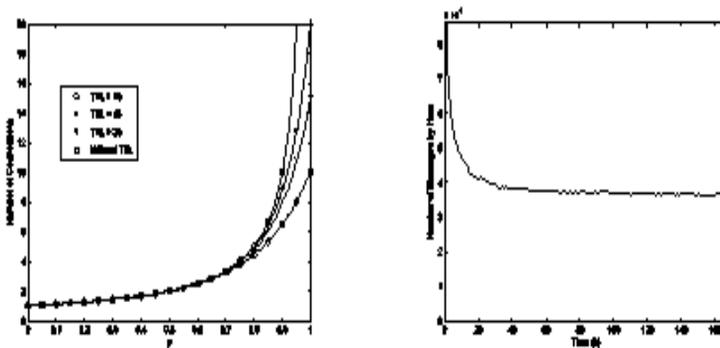


Figura 2: Izquierda: Número medio de conexiones que encamina un nodo intermedio en función de la carga de la red. Derecha: Número medio de mensajes de control a lo largo del tiempo.

## Referencias

- [1] Gnutella 0.4. The Gnutella Protocol Specification v0.4. <http://www.clip2.com>.
- [2] R. Steinmetz, K. Wehrle, Peer-to-Peer systems and applications. LNCS 3485, Springer-Verlag, (2005).
- [3] M.G. Reed, P.F. Syverson and D. M. Goldschlag, Anonymous connections and onion routing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 16(4), 482–494 (1998).
- [4] M.K. Reiter and A. D. Rubin, Crowds: Anonymity for web transactions. *Communications of the ACM* 42(2), 32–48 (1999).