

Sistemas Distribuidos y Programación Paralela
Propuesta de Trabajo Final:
Sistema distribuido de recuperación de imágenes

El siguiente texto describe la propuesta de trabajo final para la materia Sistemas Distribuidos y Programación Paralela. El mismo consiste en la implementación de un sistema distribuido de recuperación de imágenes, sustentado en una red de pares. A grandes rasgos la red es de tipo híbrida, tomando conceptos de Gnutella2 y Napster. La recuperación de imágenes por su parte se efectúa mediante la comparación de los histogramas de color de las mismas.

Recuperación de imágenes basada en el contenido

Consideraciones generales

El método propuesto consiste en computar los histogramas de cada canal RGB, obtener el vector característico y, calculando la distancia euclidiana entre dos de ellos, determinar el grado de similitud entre las imágenes que representan.

Histograma, vector característico y distancia euclidiana

El histograma (o distribución del color) se obtiene cuantificando los valores (niveles de intensidad) de cada canal y contando el número de píxeles para cada uno.

El vector característico deriva del histograma y consiste básicamente en agrupar en bloques los valores antes cuantificados, obteniendo así un arreglo del tamaño deseado. En líneas generales, cuanto mayor sea la cantidad de bloques (y por ende, menor el número de valores contenidos en cada uno) mayor será la representación que ofrecerá dicho vector.

La distancia euclidiana entre dos vectores se calcula de la siguiente manera:

$$D_{V1,V2} = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (V1_i - V2_i)^2}$$

Implementación propuesta

En esta implementación cada imagen está representada por dos vectores característicos: uno “comprimido” que permite realizar una primera selección de imágenes candidatas, y uno más representativo que realmente determina el grado de similitud:

- Vector característico comprimido: posee doce posiciones, cuatro por cada canal del color (RGB). Las cuatro primeras corresponden a los bloques 0-63, 64-127, 128-191 y 192-255 del histograma rojo, las cuatro siguientes a los mismos bloques pero del histograma verde y las cuatro últimas a los del azul.
- Vector característico: posee 765 posiciones, 255 para cada canal de color. Las primeras 255 corresponden a los valores 0 a 254 de intensidad del color rojo, las siguientes a los del color verde y las 255 restantes a los del color azul.

Para aumentar el rendimiento, el cálculo de los vectores característicos se realiza en forma paralela mediante OpenMp, repartiendo la carga de trabajo entre los núcleos disponibles en cada nodo hoja.

Concretamente, por cada canal RGB se divide la imagen en partes acordes a la cantidad de núcleos existentes, se calcula en paralelo el histograma parcial de cada una y finalmente se unifica en el vector característico de la imagen.

Podría evaluarse también la posibilidad de realizar el cálculo de similitud entre dos vectores

característicos mediante OpenMp, pues a simple vista no pareciera conveniente dado el tamaño de los mismos (255) y el overhead generado para la paralelización.

Red P2P

Consideraciones generales y componentes de la red

La red propuesta es una red de pares híbrida donde existen dos tipos de componentes: por un lado servidores encargados de responder consultas y permitir la comunicación entre nodos. Por el otro, los nodos terminales encargados del almacenamiento y manipulación de los recursos compartidos.

Como se mencionó previamente, está inspirada en dos conocidos sistemas P2P: Gnutella2 y Napster. Del primero toma la idea de hojas y supernodos, la interacción entre ambos, la propagación de las consultas entre otros conceptos. Del segundo copia el empleo de servidores centralizados funcionando a modo de directorios en los que consultar la existencia de recursos compartidos.

Los servidores son fijos (controlados por administradores) y reciben el nombre de “supernodos”. Los nodos terminales, clientes del sistema distribuido, se llaman “hojas” y son los encargados de almacenar las imágenes a compartir así como de realizar la mayor parte del procesamiento que implica la recuperación de las mismas.

A continuación se exponen algunos detalles de cada componente de la red:

- Supernodos: se enlazan con hojas y otros supernodos. Poseen un índice con todas las imágenes compartidas por las hojas conectadas a él, y un vector característico comprimido para cada una. Se encarga de recibir consultas, transmitir las a aquellas hojas con imágenes candidatas, a los supernodos vecinos y enviar las respuestas al solicitante.
- Hojas: poseen las imágenes a compartir, calculan sus vectores característicos, emiten consultas, respuestas y calculan similitud entre imágenes. Están conectadas a dos supernodos.

Topología de la red

Los nodos hoja están conectados, por redundancia, a tres supernodos con los que interactúan (emitiendo y respondiendo consultas). Los supernodos por su parte están conectados con hasta cinco supernodos además de las hojas. De esta manera conforman una subred donde propagar de manera controlada las consultas, evitando así la saturación de la misma y recuperando un mayor número de imágenes.

Consultas y mensajes intercambiados

Ciclo básico de una consulta:

- Un nodo hoja emite una consulta (solicitud de imágenes similares a la dada como referencia) a los supernodos que está conectado. La misma contiene los dos vectores característicos de la imagen de referencia.
- El supernodo que recibe una solicitud efectúa una búsqueda local: compara el vector característico comprimido de la consulta con los contenidos en su índice. Obtiene así una lista de imágenes candidatas y los nodos que las poseen. Retransmite la consulta a dichos nodos y a los supernodos vecinos.
- El supernodo que recibe una consulta retransmitida por otro verifica que no sea duplicada (retransmita previamente por un vecino en común), realiza la búsqueda local y, de ser posible, la retransmite a sus vecinos exceptuando a aquél que se la envió. Las respuestas que genere la misma serán enviadas directamente al nodo solicitante, evitando hacerlo mediante

el supernodo que la retransmitió (a fin de disminuir el tráfico en la red).

- El nodo terminal que recibe una consulta compara los vectores característicos de la imagen de referencia y aquella candidata que le indica el supernodo, determinando el grado de similitud entre ambas. Si supera el umbral de aceptación, le envía una respuesta afirmativa al supernodo.
- El supernodo recibe las respuestas de aquellos nodos que posean imágenes similares a la solicitada y las retransmite al nodo solicitante.
- El nodo solicitante recibe respuestas, donde cada una contiene una vista previa de la imagen en cuestión y la dirección del nodo que la posee. De esta manera puede elegir aquellas que desea descargar y se comunica directamente con sus dueños a fin de iniciar el intercambio.

A continuación se ejemplifica el intercambio de mensajes realizados (considerando un único supernodo) a fin de recuperar una imagen:

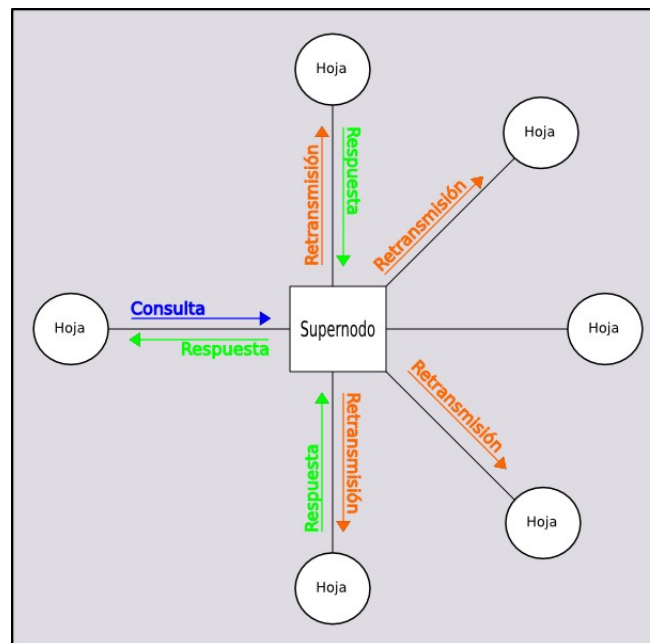


Imagen N° 1: emisión de la consulta y propagación a hojas con imágenes candidatas.

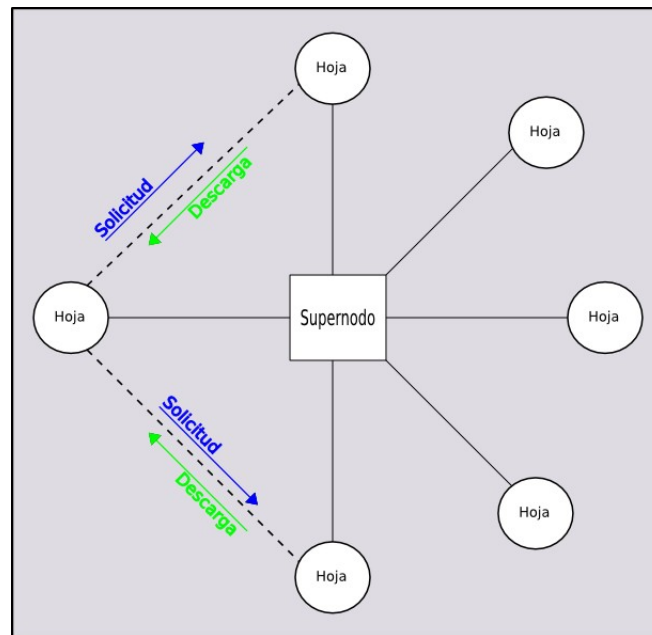


Imagen N° 2: interacción entre nodos terminales.

Mensajes intercambiados:

- Consulta: contiene la dirección del nodo emisor junto con los vectores característicos de la imagen de referencia.
- Consulta retransmitida por supernodo a nodos hoja: ídem a la anterior pero incluye el identificador de la imagen candidata a comparar en el nodo.
- Consulta retransmitida por supernodo a supernodos: ídem a la original.
- Respuesta de nodo a supernodo: contendrá una vista previa de la imagen coincidente.
- Respuesta de supernodo a nodo solicitante: contiene la vista previa de la imagen recuperada junto con la dirección del nodo que la posee.

Conexión entre supernodos

Los supernodos forman una red entre ellos donde propagan las consultas a fin de alcanzar la mayor cantidad de hojas, aumentando así la posibilidad de recuperación de imágenes.

El mecanismo definido consiste en la implementación de un TTL (tiempo de vida) para la retransmisión de las consultas, evitando así el uso de inundación y la saturación de la red que ésta puede generar. El mismo se implementa como número de saltos permitidos, decrementándose en uno por cada supernodo alcanzado. El valor inicial está comprendido entre 2 y 5, logrando de esta manera un horizonte de búsqueda considerable sin caer en la sobrecarga de la red.

En un trabajo futuro podría plantearse el uso de un TTL adaptativo en función del tamaño de la red y la saturación de la misma, lo cual traería ventajas de rendimiento y sobre todo del número de imágenes recuperadas.

A continuación se muestra un ejemplo de retransmisión de consultas entre supernodos:

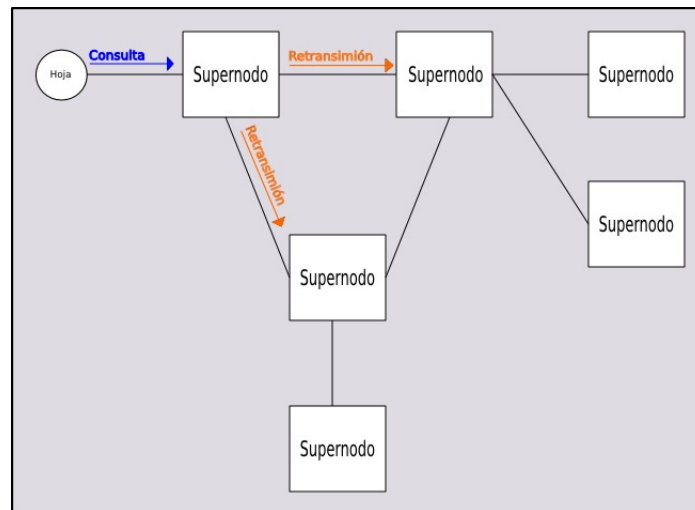


Imagen N° 3: envío de consulta a supernodo y retransmisión a supernodos vecinos.

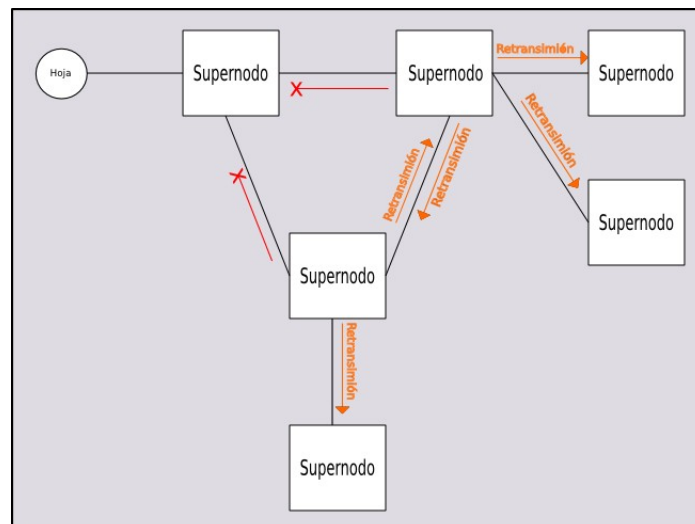


Imagen N° 4: si el TTL lo permite retransmitirán a supernodos vecinos.

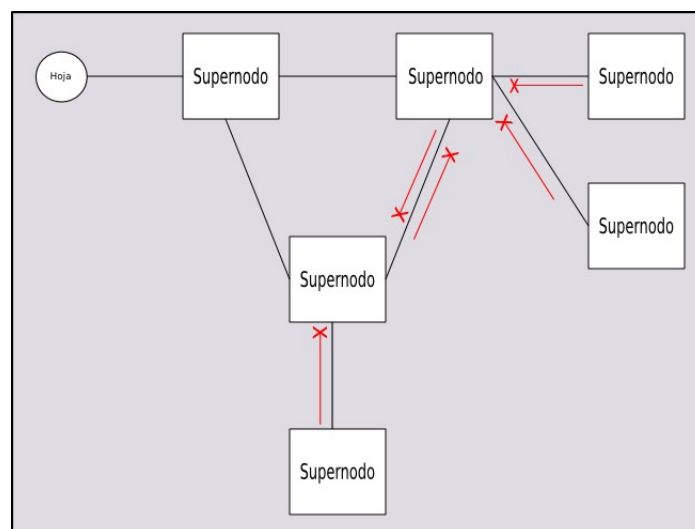


Imagen N° 5: no existen más nodos a los que propagar la retransmisión (o se agotó el TTL).

Conexión entre hojas y supernodos

Cuando una hoja se conecta a un supernodo se produce un intercambio de mensajes a fin de identificarse. El nodo terminal comunica un listado con las imágenes que planea compartir junto con el vector característico comprimido de cada una.

Como se mencionó anteriormente, una hoja está conectada a tres supernodos. De esta forma, la falla o caída de cualquiera de ellos no aísla al nodo de la red.

Uno (o más) de los supernodos actúa como “supernodo conocido”, siendo el punto de acceso a la red y determinando a que supernodos se conecta cada hoja. Podría utilizarse una asignación aleatoria o algún algoritmo de balanceo de carga. El objetivo de esto es distribuir la carga de trabajo entre supernodos, siendo relevante evitar que existan muchos nodos conectados a dos supernodos vecinos pues en dicho escenario el nodo no sólo recibirá consultas duplicadas sino que se estará limitando el acceso a sus recursos compartidos (pues recuérdese que la propagación de consultas entre supernodos vecinos no se efectúa por inundación de la red sino de manera controlada y acotada).

Sistema distribuido

Características deseables

El sistema propuesto cumple con algunas de las características deseables que todo sistema distribuido debería tener. A continuación se detallan:

- Tolerancia a fallas: se logra por redundancia.
 - Nodos: por un lado es deseable que existan más de un supernodo, por el otro, los nodos hoja se conectan a dos supernodos.
 - Imágenes: como cada nodo terminal es libre de compartir (o no) los recursos que así determine, cuanto mayor sea el número de descargas de una imagen más copias de esta habrá en distintos nodos (podría decirse que se trata replicación por popularidad).
- Escalabilidad: aumentando el número de supernodos.
- Transparencia:
 - Ubicación: los usuarios finales (hojas) se conectan a supernodos “conocidos” pero estos los enlazarán con otros según corresponda, de manera totalmente transparente.
 - Concurrencia: garantizada por el hecho de que cada nodo hoja accederá únicamente a sus propios recursos.
 - Fallas: al conectarse un nodo terminal a tres supernodos, ante la falla de uno de estos la hoja podrá seguir enviando y respondiendo consultas gracias a la conexión restante.