

Optimización de la Estrategia de Selección de Piezas de Video en Redes P2P

Maestría en Ingeniería Matemática

Pablo Romero

Tutores:

Dr. Franco Robledo Amoza

Dr. Pablo Rodríguez-Bocca

Universidad de la República Oriental del Uruguay

16 de noviembre de 2009

Contenidos

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- 1 Motivación
- 2 Contribuciones
- 3 Modelo Matemático
- 4 Estrategias
- 5 Problema de Optimización Combinatoria (COP)
- 6 Algoritmo Principal
- 7 Resultados y Conclusiones
- 8 Publicaciones

Motivación

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- Aplicaciones para sus usuarios
- Gran porción del tráfico de Internet es P2P
- Contraste con modelo cliente-servidor (no escalable)
- Protocolos propietarios
- Cooperación:
 - Seleccionar Par
 - Seleccionar Pieza

Contribuciones

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- Déficit de previas estrategias
- Nueva Familia de estrategias de selección de piezas
- Propiedades
- Algoritmo seguidor de Estrategias ideales
- COP y Algoritmo Principal
- Aplicación de nuevas estrategias en GoalBit

Proceso de Investigación

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

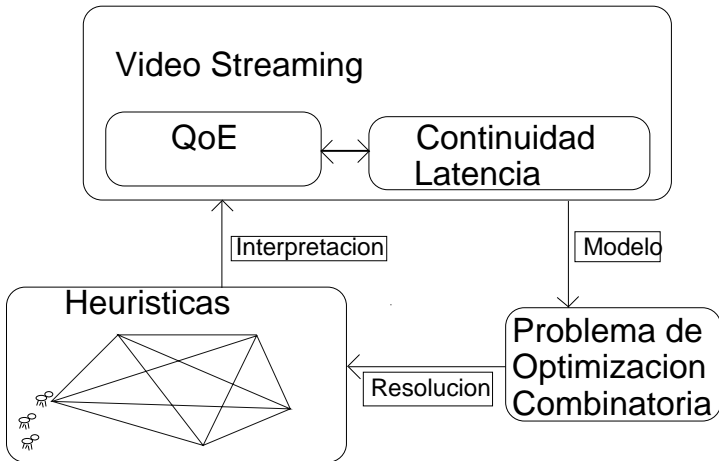
Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

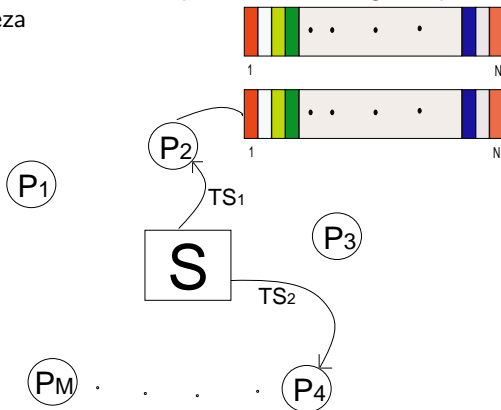
Resultados y
Conclusiones

Publicaciones



Modelo (1)

- Un servidor S en la red
- M pares idénticos con capacidades de buffer N
- El servidor corta el video en piezas (chunks)
- En cada ranura de tiempo, el servidor elige un par al azar y envía una pieza



Modelo (2)

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- p_i : probabilidad de tener la pieza correcta en la posición i
- s_i : probabilidad de elegir el índice i en la consulta
- Bajo estado estacionario, p_i es idéntico en cada par:

$$p_1 = \frac{1}{M}$$

$$p_{i+1} = p_i + (1 - p_i)p_i s_i, \quad i \in \{1, \dots, N - 1\}$$

- continuidad de reproducción: p_N
- latencia inicial: $E \{N_B\} = p_1 + \dots + p_N$

Estrategias de Selección de Piezas

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

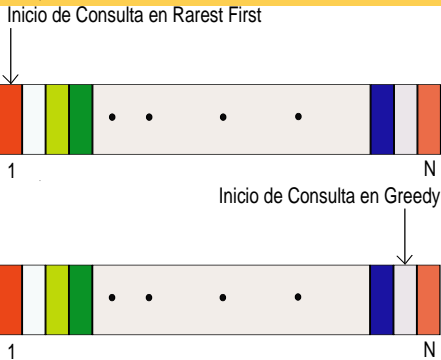
Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

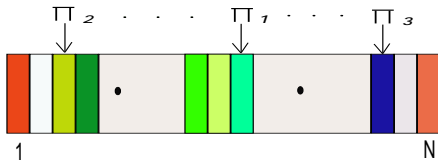


$$s_i^{RF} = \left(1 - \frac{1}{M}\right) \prod_{j=1}^{i-1} (p_j + (1 - p_j)^2)$$

$$s_i^G = \left(1 - \frac{1}{M}\right) \prod_{j=i+1}^{N-1} (p_j + (1 - p_j)^2)$$

Una nueva Familia de Estrategias

Consideremos una permutación arbitraria π de los índices $\{1, \dots, N-1\}$:



- A cada permutación π le corresponde una estrategia que cumple:

$$s_{\pi(i)} = \left(1 - \frac{1}{M}\right) \prod_{j=1}^{i-1} (1 - p_{\pi(j)}(1 - p_{\pi(j)}))$$

- Disponemos de una estrategia de selección de piezas por cada permutación
- ¿Qué estrategia es la mejor?

Propiedades de la Familia

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- Continuidad Imperfecta: $p_N < 1$
- Extendibilidad
- Monotonía de la función de selección: $s_\pi \downarrow$
- Propiedad de Aproximación de Estrategias

Propiedad de Aproximación de Estrategias (PAE)

Propiedad

Para cada secuencia inyectiva x_1, x_2, \dots, x_{N-1} , existe un miembro de la familia de estrategias de permutación s tal que

$$\forall i, j : x_i > x_j \rightarrow s_i > s_j.$$

Prueba. Toda secuencia inyectiva se puede ordenar de forma que

$$x_{\pi(1)} > x_{\pi(2)} > \dots > x_{\pi(N-1)} \quad (1)$$

Llamando s a la estrategia correspondiente a la permutación π , por la Propiedad de Monotonía sabemos que:

$$s_{\pi(1)} > s_{\pi(2)} > \dots > s_{\pi(N-1)} \quad (2)$$

QED

Sistema Seguidor de Estrategias Ideales

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

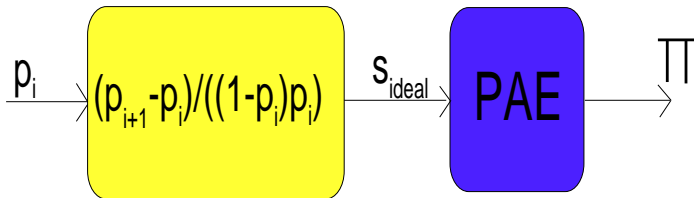
Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones



Experiencia con el Sistema Seguidor

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

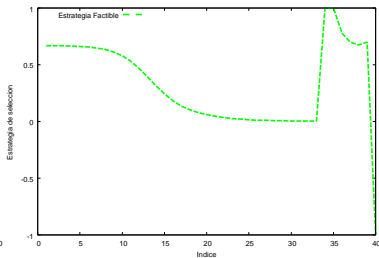
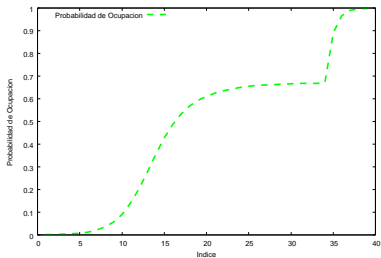
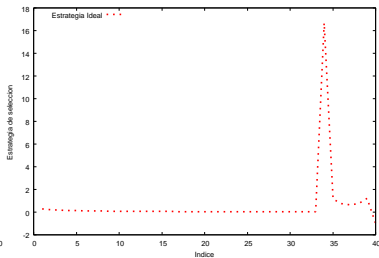
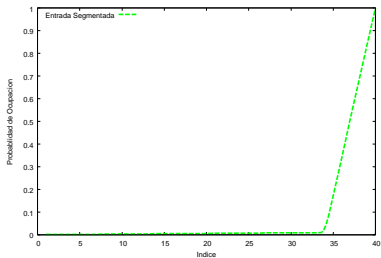
Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones



Subfamilia de Permutaciones

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

Definición

La subfamilia de permutaciones son los miembros de la familia de permutaciones cuya estrategia de selección presenta exactamente un máximo relativo (pico), que no es absoluto. Para cada par de naturales $(I, J) : I + J < N$, hay una permutación de la subfamilia que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\pi(i) = N - i, i = 1, \dots, I, \quad (3)$$

$$\pi(I + j) = j, j = 1, \dots, J \quad (4)$$

$$\pi(I + J + k) = \left\lfloor \frac{N + J - I}{2} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor (-1)^{k+1}, \quad (5)$$

$$k = 1, \dots, N - I - J - 1.$$

Medida de Optimalidad

El número esperado de pasos en una consulta es:

$$\begin{aligned} E(X_\pi) &= \sum_{i=1}^{N-1} i p_{\pi(i)} (1 - p_{\pi(i)}) \prod_{j=1}^{i-1} (p_{\pi(j)} + (1 - p_{\pi(j)})^2) \\ &= \frac{1}{1 - \frac{1}{M}} \sum_{i=1}^{N-1} i p_{\pi(i)} (1 - p_{\pi(i)}) s_{\pi(i)} \\ &= \frac{M}{M-1} \sum_{i=1}^{N-1} \pi(i) (p_{i+1} - p_i). \end{aligned}$$

Definición

La calidad de la estrategia asociada con una permutación π es el número esperado de pasos en una consulta: $E(X_\pi)$.

Problema de Optimización Combinatoria (COP)

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

$$\max_{\pi} E(X_{\pi})$$

s.a.

$$p_1 = \frac{1}{M}$$

$$s_{\pi(1)} = 1 - \frac{1}{M}$$

$$p_{i+1} = p_i + (1 - p_i)p_i s_i$$

$$s_{\pi(i+1)} = s_{\pi(i)}(p_{\pi(i)} + (1 - p_{\pi(i)})^2)$$

$$S = \{1, \dots, N - 1\}$$

$$\pi : S \rightarrow S, \quad \pi(i) \neq \pi(j) \quad \forall i \neq j$$

Algoritmo Principal

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

$$1 \text{ COP} \leftrightarrow \text{ATSP}(V_N, V_N \times V_N, d_e)$$

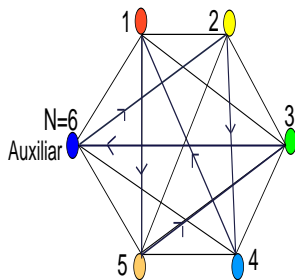
$$2 \pi_1 \leftarrow \text{ACO}(\text{ATSP})$$

$$3 \pi_{\text{out}} \leftarrow \text{Búsqueda Local}(\pi_1)$$

Etapa I

Inicialización basada en hormigas

- 1- Las hormigas visitan ciclos en un N -clique
- 2- Los enlaces e visitados se inicializan con $D(e) \propto 1/E(X_\pi)$.
- 3- Con varias hormigas se pueden inicializar todos los enlaces



$$\Pi = (2, 4, 1, 5, 3)$$

Etapa II

Optimización por Colonia de Hormigas

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- 1- Las feromonas son inicializadas en base a las subfamilias
- 2- Se invita a visitar ciclos mas cortos mediante mayores valores de feromonas
- 3- Si una hormiga se sitúa en x_j , elige x_{j+1} con probabilidad:

$$p_{x_{j+1}} = \frac{\tau(x_j, x_{j+1})^\alpha d(x_j, x_{j+1})^{-\beta}}{\sum_{\text{Posibles } y} \tau(x_j, y)^\alpha d(x_j, y)^{-\beta}}$$

donde:

$\tau(x_j, x_{j+1})$ es la cantidad de feromona en el enlace (x_j, x_{j+1}) ,

$d(x_j, x_{j+1})$ es el costo para ir de x_j a x_{j+1} , y

α y β son los exponentes de prioridad a feromonas y costos.

Etapa III

Fase de Búsqueda Local

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

Proposición

La mínima cantidad de swaps necesarios para transformar π_1 en π_2 es una métrica

Proposición

En el espacio métrico de las permutaciones, las bolas de radio 1 definen una estructura de vecindad.

Búsqueda Local

- 1- Entrada π
- 2- $\pi \leftarrow \text{MejorVecinaDe}(\pi)$
- 3- Hasta que *NoHayaMejoras*

Complejidad del Algoritmo Principal

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

Teorema

Sea N la capacidad de buffer de todos los pares presentes en la red, y llamemos $T(N)$ al tiempo computacional necesario para evaluar la calidad $E(X_\pi)$. Si admitimos que tanto la cantidad de hormigas a utilizar como el número máximo de iteraciones ingresados son del orden de N , entonces el tiempo medio total para correr el Algoritmo Principal τ , es:

$$\tau = O(N^3 T(N))$$

Resultados (1)

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

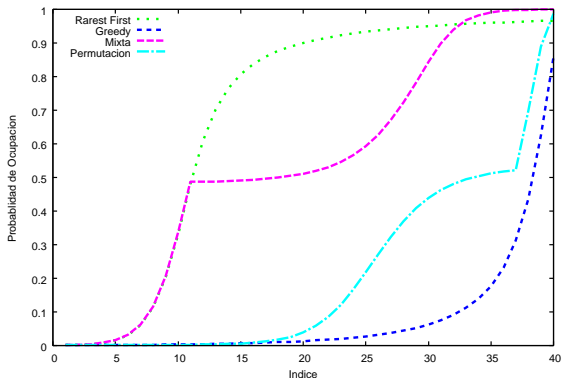
Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

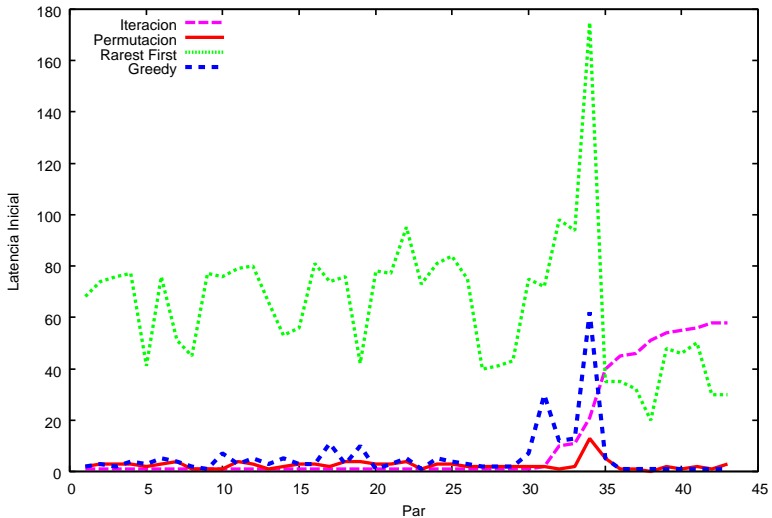
Publicaciones



Estrategias	Continuidad	Latencia
Rarest First	0.9571	21.0011
Greedy	0.9020	4.1094
Mezcla	0.9953	11.1253
Nuevo Algoritmo	0.9998	7.9821

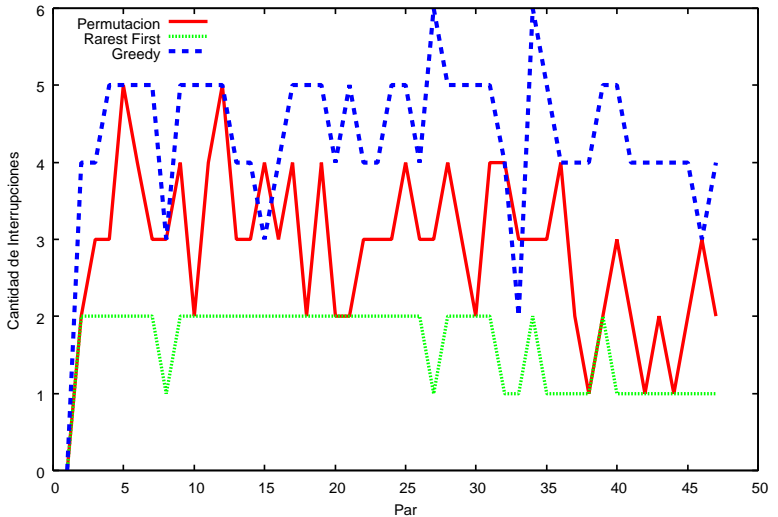
Performance en GoalBit (1)

Latencia



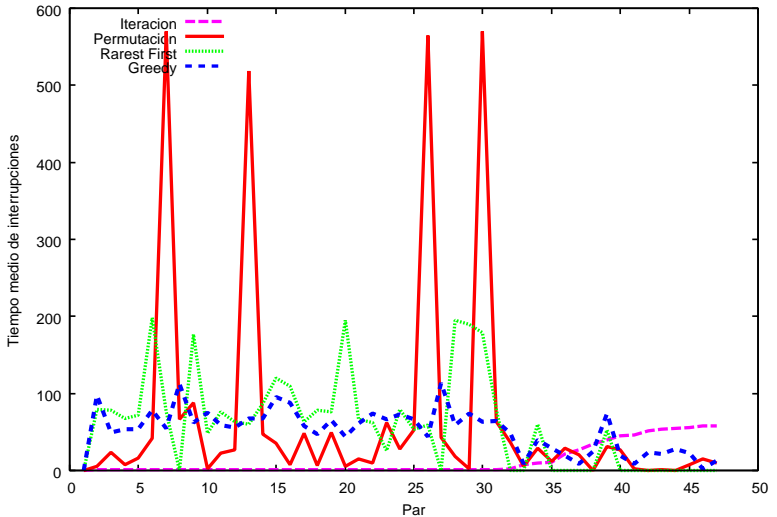
Performance en GoalBit (2)

Cantidad de cortes



Performance en GoalBit (3)

Tiempo de cortes



Conclusiones

- La deficiencia de las previas estrategias es evidente.
- Se ha propuesto un COP y un Algoritmo, que permite diseñar estrategias con mejor desempeño que las clásicas e híbridas.
- El seguimiento de estrategias ideales no es posible.
- La búsqueda de estrategias factibles es exitosa.
- El modelo matemático captura la cooperación apropiadamente.
- La política de selección de pares es otro factor determinante en el diseño de protocolos de cooperación.

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

Publicaciones

Pablo Romero

Contenidos

Motivación

Contribuciones

Modelo
Matemático

Estrategias

Problema de
Optimización
Combinatoria
(COP)

Algoritmo
Principal

Resultados y
Conclusiones

Publicaciones

- “Systematic Procedure for Improving Continuity and Latency on a P2P Streaming Protocol”, IEEE Latin-American Conference on Communications 2009. Medellín, Colombia
- “A COP for Cooperation in a P2P Streaming Protocol”, International Conference in Ultra Modern Telecommunications, Saint Petersburg, Russia
- “GoalBit: The First Free and Open Source Peer-to-Peer Streaming Network”. Latin American Networking Conference, Pelotas, Brasil
- “Estrategia de Selección de Piezas Optima para GoalBit: un sistema de streaming P2P basado en BitTorrent”, Matemática Aplicada Computacional e Industrial (MACI 2009) Rosario, Argentina
- “Optimum Piece Selection Strategies for the GoalBit Platform”. Artículo a ser enviado para publicación en la revista Computer & Optimization Research