

## 12. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Se ha desarrollado un algoritmo de búsqueda tabú que consigue con éxito minimizar las pérdidas en redes ATM en condiciones de tráfico CBR. El algoritmo de búsqueda tabú se implementa en un programa escrito en lenguaje C. Mediante un archivo de entrada en el que se detalla la topología de la red y el tráfico entre nodos, el programa consigue optimizar las pérdidas totales de la red. Sin cambiar de tecnología o de topología de red es posible reducir las pérdidas en la red con un buen enrutado de las comunicaciones que aproveche al máximo la distribución de los recursos.

Para tratar de optimizar las pérdidas se han realizado numerosas pruebas mediante baterías de problemas. De esta forma se ha comprobado la eficacia del algoritmo desarrollado y se calibran parámetros característicos de éste. Gracias a los ensayos también se pueden sacar conclusiones acerca de como influye la naturaleza de las redes en el resultado final y se pueden fijar valores o umbrales óptimos para sus parámetros.

Se han empleado dos baterías de redes para el estudio: una compuesta por veinticuatro redes cada una con un tamaño diferente, que van desde los diez hasta los veinticuatro nodos, y que se utiliza para analizar los resultados de la búsqueda tabú y para compararlos con los obtenidos por el algoritmo genético y por el algoritmo de ruta mínima. La otra batería de redes compuesta por una red de diez y una red de quince nodos se emplea en calibrar diversos parámetros de la red y del algoritmo.

A lo largo de los apartados de la memoria los resultados se muestran de manera gráfica utilizando el programa Matlab y tablas de datos. Así es más fácil tanto analizar y representar el problema como obtener las respectivas conclusiones.

Muchos parámetros influyen en el tiempo empleado para alcanzar la solución y en su calidad. A través de las pruebas realizadas se consigue obtener una idea precisa acerca de la manera en que afectan a la solución ciertos parámetros de topología y de algoritmo:

- A medida que el numero de nodos de una red es mayor, también lo es el tiempo necesario para computar todos los cálculos.
- Para un tráfico parecido también aumentan las pérdidas conforme las redes tienen más nodos debido a que el número de procesos de

conmutación aumenta. Con esto se demuestra que aunque aumenten los enlaces disponibles entre nodos, si el número de nodos también se eleva, las pérdidas no disminuyen (porque el número de conmutadores tiene más peso a la hora de minimizar las pérdidas que los enlaces que existen entre ellos).

- El tamaño del búfer y el grado de servicio de la red también son factores clave. Para unas colas de tamaño mayor que ocho celdas, el resultado prácticamente no cambia, si lo hace en cambio el retraso de la información por ser las colas tan largas, degradando la calidad del sistema de comunicación. El grado de servicio suele ser algo inherente a la demanda del usuario, por lo que no se puede aconsejar en principio ningún valor. Aún así se ha visto de todas maneras como afecta bastante a las pérdidas de la red.

- La solución de la búsqueda tabú depende fuertemente de los parámetros del algoritmo "tamaño de vecindad" y "número de iteraciones". Si se necesitase enrutar las llamadas en tiempo real o con pocos segundos de margen para el cálculo, aplicando un tamaño de vecindad bajo (mínimo de unos veinte vecinos y con sólo cinco o seis iteraciones) el algoritmo tabú proporciona en apenas unos segundos una solución bastante buena. De otro modo, si lo que se desea es obtener una solución casi imbatible, la búsqueda tabú puede proporcionarla, necesitando algunos minutos en el proceso. De esta manera se comprueba la flexibilidad de la búsqueda tabú en lo que a la relación tiempo de cálculo-calidad de solución se refiere.

- La búsqueda tabú ofrece una mejora muy significativa respecto del algoritmo genético tanto en cuestión de calidad de solución final como en cuestión de tiempo para redes de un tamaño superior a los veinte nodos aproximadamente. Para redes pequeñas de diez o quince nodos existen diferencias aunque no tan significativas como para redes mayores. La única ventaja del algoritmo genético es que suele ofrecer mejora en el tiempo de ejecución del programa si la red es pequeña, aunque ofreciendo una solución peor.

- Para concluir en lo que a las pruebas realizadas se refiere, se puede asegurar que se ha llevado a cabo un cuidadoso análisis tanto de las redes ATM mediante optimización, como del algoritmo de búsqueda tabú que las ejecuta en sí. Esto le confiere gran fiabilidad y robustez al modelo implementado.

El objetivo principal del proyecto se considera alcanzado pues se ha podido mediante la metaheurística ensayada obtener una solución muy

buena en un tiempo más que razonable del problema que se planteó inicialmente.

El segundo objetivo también se considera alcanzado. Se ha demostrado que la búsqueda tabú funciona mejor que el algoritmo genético para este tipo de problemas, proporcionando prácticamente siempre un resultado mejor.

Las líneas futuras de trabajo pasan por el análisis del modelo matemático y las características de las redes para desarrollar nuevas posibles implementaciones. Después de examinar las características de las redes ATM, se parte de la consideración de una serie de premisas básicas que son las que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el proyecto. Se utiliza tráfico CBR, que es el que presenta las restricciones más estrictas en cuanto a calidad, y es el tipo de tráfico elegido para el desarrollo que se realiza. Los procesadores de conmutación son con colas a la salida. Se consideran enlaces del tipo STM-1. Las redes consideradas están formadas por enlaces con capacidad de 155,52 Mb/s y por último se han contemplado dos niveles de trabajo, el nivel de célula y el nivel de conexión.

Existen una gran variedad de opciones para una futura investigación. La mayoría pasa por incorporar modelos más realistas todavía en la emulación. Así, se puede intentar realizar un proceso que simule distintos tipos de tráfico, como VBR, ABR y UBR, y no sólo CBR.

Hoy en día existe en el mercado una amplia variedad de conmutadores, muchos con colas no FIFO. Así se puede realizar un modelo que incluya distintos tipos de nodos, cada uno con colas diferentes.

Se puede intentar optimizar redes ATM que estuvieran compartiendo espacio físico con otras de manera que hubiese que negociar y programar las velocidades de cada enlace de la red.

Por otra parte ATM puede manejar en la realidad distintas prioridades para las células, lo cual no ha sido incluido aquí, también esto se podría modelar abriendo numerosas opciones.

No se ha tenido en cuenta para este modelo el retraso sufrido por los paquetes de información salvo a través de una restricción que incluía un requisito mínimo de calidad a cumplir, se puede trabajar en este campo mucho más e incluso plantear posibilidades de optimización multicriterio.

Por último y sobre la base del modelo realizado en este proyecto, también se puede intentar mejorar la búsqueda tabú para este mismo problema mediante la inclusión de otras estrategias que aquí no se han tenido en cuenta, si bien en nuestra opinión no se alcanzarían mejoras significativas a las aquí presentadas. Por ello se considera más relevante la investigación de algunos de los anteriores aspectos señalados.