

Neuroplanificador de ATM Inalámbrico para Predecir y Conformar los Tráficos VBR y ABR

Neural Network Based Wireless ATM Scheduler for Predicting and Shaping VBR and ABR Traffics

Omar Castañeda Trujillo¹ y Carlos Felipe García Hernández²

¹Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET
Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos
México. 62490, Tel: (777) 318-7741 Fax: (777) 312-2434
e-mail: omarcastanedat@yahoo.com

²Instituto de Investigaciones Eléctricas - IIE
Calle Reforma No. 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos,
México. 62490, Tel: (777) 362-3811 Fax: (777) 318-9854
e-mail: cfgarcia@iie.org.mx
<http://www.iie.org.mx/gci/curri30.htm>

Artículo recibido en noviembre 25, 2002; aceptado en octubre 25, 2004

Resumen

El manejo de los recursos de ancho de banda en un sistema WATM se vuelve más crítico que en ATM, debido a la escasez de estos y a lo menos confiable que es el medio de transmisión. Por lo tanto, se requieren mecanismos de control de tráfico y congestión más seguros que los usados en ATM. Este trabajo de investigación está dedicado al desarrollo de un planificador (Scheduler) de ATM Inalámbrico basado en la predicción de tráfico, usando redes neuronales artificiales, a la entrada de un *Switch* ATM para controlar y conformar el tráfico en la conexión de salida (enlace inalámbrico) del mismo *Switch* y con ello disminuir las condiciones de congestionamiento provocadas principalmente por el tráfico en forma de ráfagas de los servicios ABR y VBR de tiempo real y de tiempo no real. Se han considerado los mecanismos de Control de Admisión de Conexiones, el Control de Flujo ABR y la aplicación de retardos de celda para el manejo de la ocupación del *buffer* de la cola de salida del *Switch*; controlando y conformando el tráfico de salida, reduciendo las condiciones de congestionamiento y mejorándose la distribución de utilización de ancho de banda del enlace inalámbrico entre los servicios VBR y ABR.

Palabras clave: ATM, inalámbrico, WATM, planificador, red neuronal artificial, neuroplanificador, predicción de tráfico, conformación de tráfico, tráfico de tiempo real, VBR, ABR, control de flujo, control de tráfico, control de congestión, CAC, control de admisión de conexiones, Hydragyrum, simulación, calidad de servicio, QoS y ocupación del buffer.

Abstract

Managing of the bandwidth resources in a WATM system, it results more critical than in an ATM system, due to the resources scarcity and to the transmission medium with lesser reliability. Therefore, traffic and congestion control mechanisms, more secure than the ones used in ATM, are required. This research work is aimed at the development of a wireless ATM scheduler based on the traffic prediction, using artificial neural networks at the ATM switch entrance, in order to control and shape the traffic in the switch exit connection (wireless link). Consequently, this reduces the congestion conditions mainly originated for the bursty traffic from the real time and non-real time ABR and VBR services. Connection Admission Control and ABR Flow Control mechanisms and applying delays in cells to manage the switch exit queue's buffer occupancy, have been considered, in order to control and shape the output traffic, reducing the congestion conditions and improving the wireless-link bandwidth utilization distribution between the VBR and ABR services.

Keywords: ATM, wireless, WATM, scheduler, artificial neural network, neuroscheduler, traffic prediction, traffic shaping, real time traffic, VBR, ABR, flow control, traffic control, congestion control, CAC, connection admission control, Hydragyrum, simulation, quality of service, QoS and buffer occupancy.

1 Introducción

Una red ATM construida apropiadamente, debe manejar el tráfico equitativamente y proveer de una asignación de la capacidad de la red para diferentes clases de aplicaciones [ATM Forum, 1999]. La red debe ser capaz de adaptar patrones imprevistos de tráfico, así como descartar tráfico en ciertas condiciones, a fin de evitar o reaccionar a condiciones de congestionamiento [ATM Forum, 1994].

El control de tráfico se define como un conjunto de acciones tomadas por la red para evitar una posible congestión [Briem, et al., 1998]. También toma medidas para adaptar fluctuaciones de tráfico y otros problemas dentro de la red [Ghani, et al., 1998]. El control de congestión se refiere al conjunto de acciones tomadas por la red para minimizar la intensidad, extensión y duración de la congestión. Los objetivos del control de tráfico y congestión son proteger la red y al mismo tiempo dar al usuario el contrato de servicio establecido; mientras que una función adicional del control de tráfico es la de optimizar los recursos de la red.

No es fácil construir sistemas de control de tráfico eficientes, debido a la diversidad de las características del tráfico multimedia. Por esta razón, se han desarrollado trabajos sobre predicción de tráfico, conformadores y espaciadores de celdas a través de redes neuronales artificiales [Bromirski, 1997]. Los servicios rt-VBR (Tasa de Bit Variable de Tiempo Real) y nrt-VBR (Tiempo no Real) están relacionados con la transmisión de datos y video, y son los componentes principales del tráfico en las redes ATM. Tanto el servicio VBR como el servicio ABR (Tasa de Bit Disponible) están asignados a aplicaciones que presentan características de generación de tráfico en forma de ráfagas de celdas y no usan retardos rigurosos, aunque se establece un límite en el retardo promedio de transferencia [Kist y Petras, 1997; Cagri, et al., 2001].

La idea principal de la conformación de tráfico, es básicamente almacenar el tráfico de entrada a los *switches* ATM y controlar el flujo de celdas de salida. Básicamente, la velocidad de servicio de las celdas por la red, depende de la ocupación de las localidades en el *buffer* de conformación. El Control de Admisión de Conexiones (CAC), es el conjunto de acciones tomadas durante el establecimiento de una conexión, para determinar si se acepta o no una solicitud de conexión de canal (VC) o trayectoria virtual.

El Control por Retroalimentación, usando las celdas de manejo de recursos (RM) se define como el conjunto de acciones tomadas por la red y por el usuario para regular en la red, de acuerdo al estado de los elementos de la misma, figura 1 [Passas, et al., 1997; Qiu, et al., 1997].

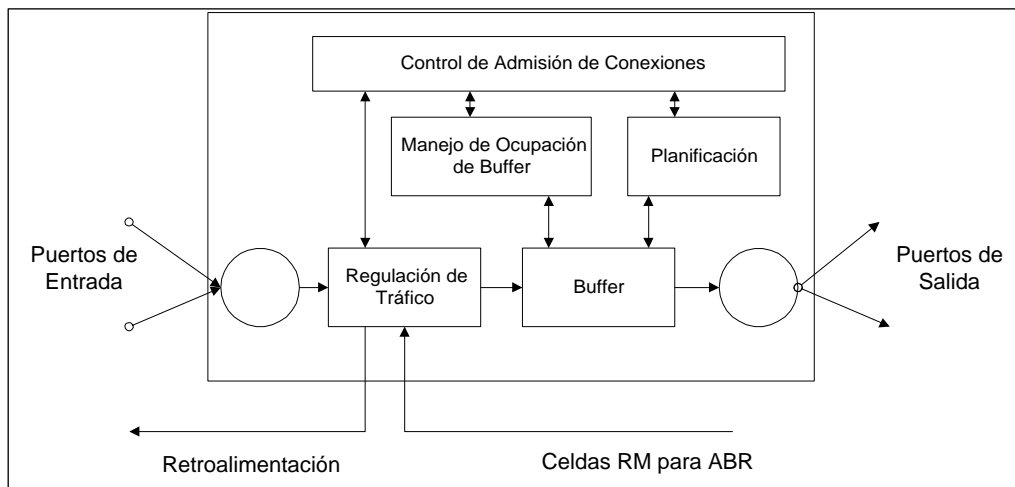


Fig. 1. Arquitectura general de un Switch ATM con capacidad de planificación de Tráfico y Manejo de Ocupación del buffer de salida

El Control de Parámetros de Uso (UPC) está definido como el conjunto de acciones tomadas para observar y controlar el tráfico en el momento en que un usuario pretende acceder a la red. Su principal propósito es el de proteger los recursos de la red de un mal funcionamiento, el cual puede afectar la Calidad de Servicio (QoS) de otras conexiones establecidas, detectando violaciones en los parámetros y tomando acciones apropiadas [Biswas, et al., 1997].

El Control de Prioridad permite al usuario generar flujos de tráfico con diferentes prioridades a través del bit de Prioridad de Pérdida de Celda [Berger, et al., 1998]. De esta manera, un elemento de la red puede descartar celdas con baja prioridad, si es necesario, para proteger como sea posible el desempeño de la red para las celdas con alta prioridad.

2 Planificador de Celdas

Los algoritmos de planificación proveen mecanismos para la asignación de ancho de banda y “multiplexaje” a nivel de paquetes [Cao, et al., 2001]. Las políticas de Control de Admisión de Conexiones y Control de Congestión, dependen por completo de las disciplinas específicas de planificación que se usen. Entonces, el objetivo de un planificador es optimizar la asignación de recursos basado en demandas pequeñas de VCs y su QoS.

Un planificador de celdas ATM en un ambiente inalámbrico, está caracterizado mediante la distribución de los *buffers* de envío entre las terminales y la estación base. El planificador ubicado en la estación base, tiene únicamente información limitada acerca del estado de los *buffers* en las terminales. Debido a la limitación del canal inalámbrico, el mecanismo de planificación debe ayudar a minimizar las transmisiones de información cuando se han presentado errores en el enlace, al mismo tiempo que debe maximizar el servicio efectivo entregado y la utilización del canal.

El diseño del planificador está completamente relacionado con el procedimiento de control de admisión de conexiones, ya que de este depende el uso eficiente que se haga de los recursos de la red. El procedimiento de conformación de tráfico también puede influir en el desempeño del algoritmo de planificación, ya que su principal objetivo es el de alterar las características de tráfico de un flujo de celdas para lograr una mejor eficiencia de la red [Kubbar, et al., 1997]. Para el control de congestión, el control de flujo ABR es una solución adecuada, ya que las fuentes ABR pueden ajustar la tasa de celdas a la que transmiten, al nivel de servicio disponible en el momento de presentarse una congestión en la red [Kalyanaraman, et al., 2000].

3 Red ATM/WATM

El planificador pertenece a la estación base y ésta provee al mismo la información necesaria sobre el estado de los enlaces ascendente y descendente (Protocolo de comunicaciones SENU.- Sondeo Exhaustivo No Uniforme) [Romero, 1999]. Esto para que el planificador sea capaz de determinar la acción a tomar en caso de un posible congestionamiento de la red y la distribución de las celdas ATM, ver figuras 2 y 3.

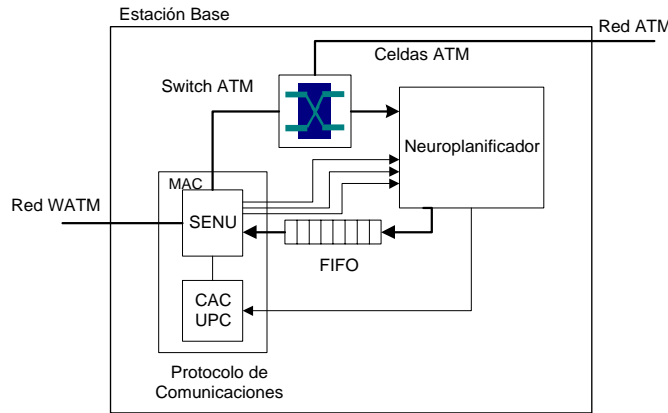


Fig. 2. Integración del Neuroplanificador de tráfico ATM/WATM a la estación base

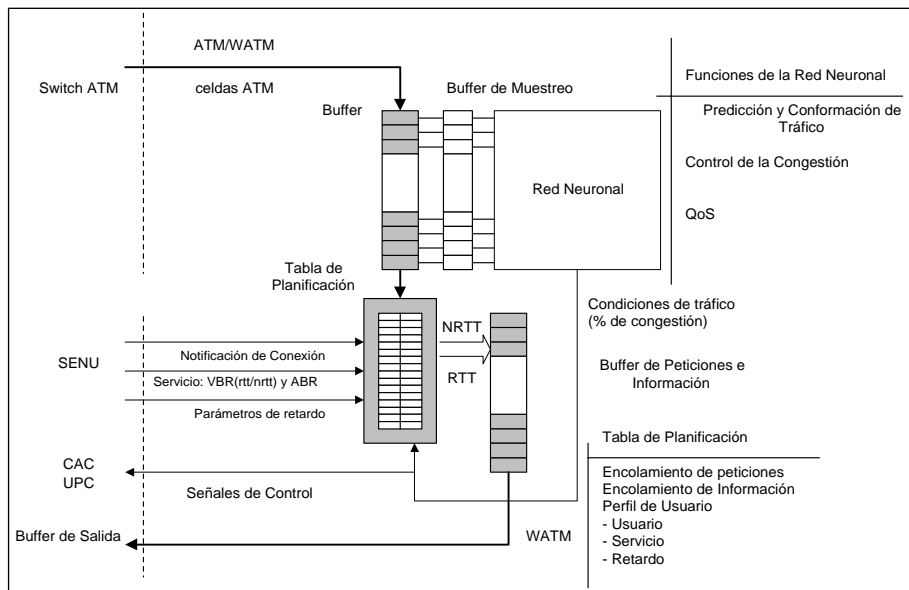


Fig. 3. Modelo del Neuroplanificador para ATM Inalámbrico

La red ATM/WATM se diseñó considerando que todo el tráfico generado por las aplicaciones inalámbricas llega a la estación base a través de la conexión de red WATM [Castañeda, 2002]. De igual manera, todo el tráfico de información que va hacia las aplicaciones inalámbricas sale de este punto de conexión. El *Switch* de la estación base, recibe en una de sus entradas la información de las aplicaciones inalámbricas (ej. a 25 Mbps máximo) mientras que en otra, recibe la información de la red ATM a una tasa de bits máxima de 155 Mbps. Finalmente la distribuye hacia la red ATM misma o bien hacia el sistema WATM.

El planificador recibe la información proveniente del *Switch* ATM, es decir, las celdas ATM, para aplicarle las funciones de predicción y conformación de tráfico antes de que sean aplicadas al *buffer* de la cola de salida.

Se requirió de un programa de software para emular redes, por lo que se utilizó el simulador de redes ATM Hydragyrum para generar el tráfico de entrada al planificador de WATM [Andrade, 1999]. Hydragyrum es un simulador basado en el paradigma de simulación manejada por eventos, caracterizada por el proceso de intercambio de eventos. El ambiente de simulación fue desarrollado como una herramienta modular, lo que permite agregar nuevos modelos sin la recompilación del kernel del sistema usando dlls Win32 (librerías de enlace dinámico). Actualmente, el ambiente de simulación de Hydragyrum está siendo usado en la simulación de redes ATM y puede ser extendido para simular otras arquitecturas de redes y protocolos, permitiendo la interacción de las redes ATM con nuevas tecnologías. Los resultados de generación de tráfico se utilizaron para su aplicación a la red neuronal usada en la predicción de tráfico ATM. Hydragyrum ofrece varios modelos de fuentes ATM en las que está incluida la fuente ON-OFF, la cuál se usa para modelar las fuentes ATM VBR y CBR (Tasa de Bit Constante). Cuenta con modelos para los nodos y el *Switch* ATM usados en la red ATM/WATM, ver figura 4.

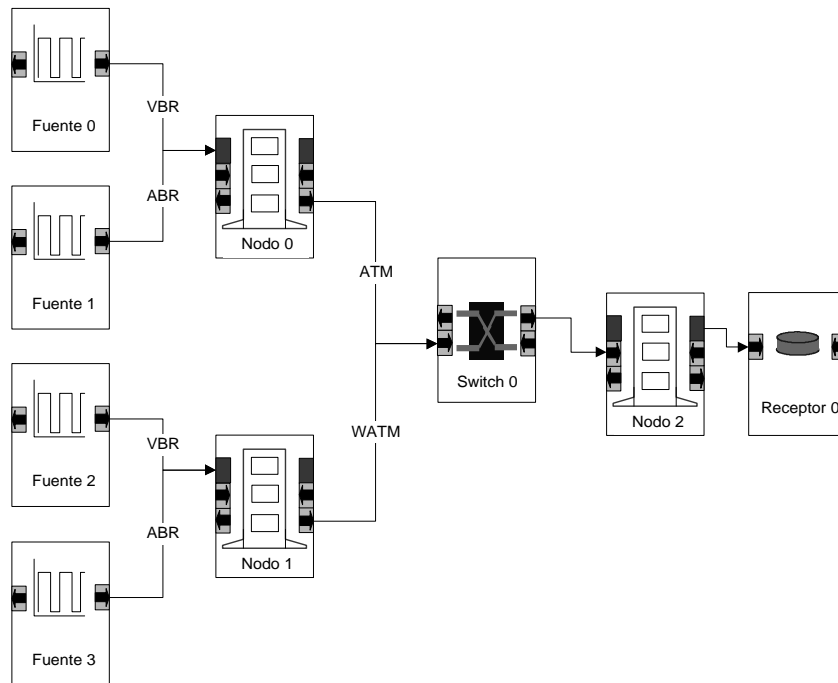


Fig. 4. Red ATM/WATM desarrollada en Hydragyrum

Con un claro diseño de redes basado en el modelo OSI/ISO, Hydragyrum es capaz de simular diferentes topologías de redes ATM. En este trabajo de investigación, se usó como simulador de una red híbrida ATM/WATM. Se consideró la cola de salida del modelo del *Switch* ATM como el enlace inalámbrico, modificando su tasa de servicio de 155 Mbps a 25 Mbps de una red WATM. Esto permitió simular la red ATM/WATM en condiciones de congestión crítica, que permitieron poner a prueba los mecanismos de control y conformación de tráfico, y control de congestión del Neuroplanificador de WATM desarrollado.

Se hizo un análisis de las celdas que llegan al *Switch* ATM, ver figura 5 (para 0.1 segundos), las celdas que son servidas desde el *Switch* ATM, las celdas almacenadas en el *buffer* del *Switch*, el análisis de retardo aplicado a las celdas y la comparación de celdas de entrada y salida en el *Switch*, ver figura 6.

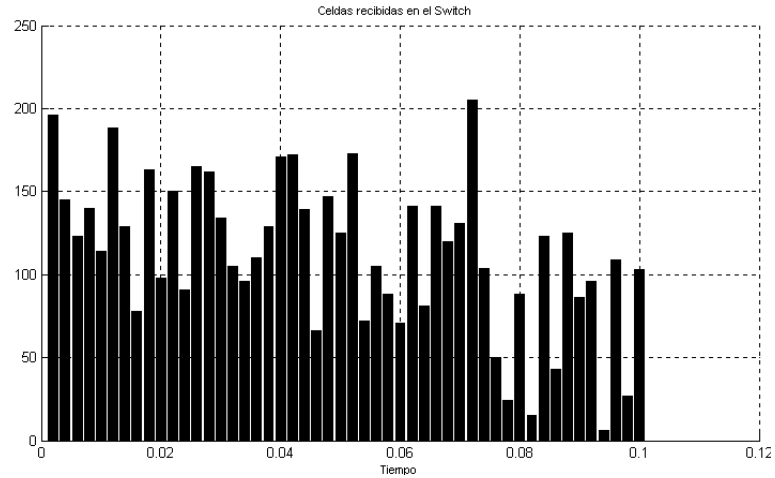


Fig. 5. Celdas recibidas a la entrada del Switch ATM

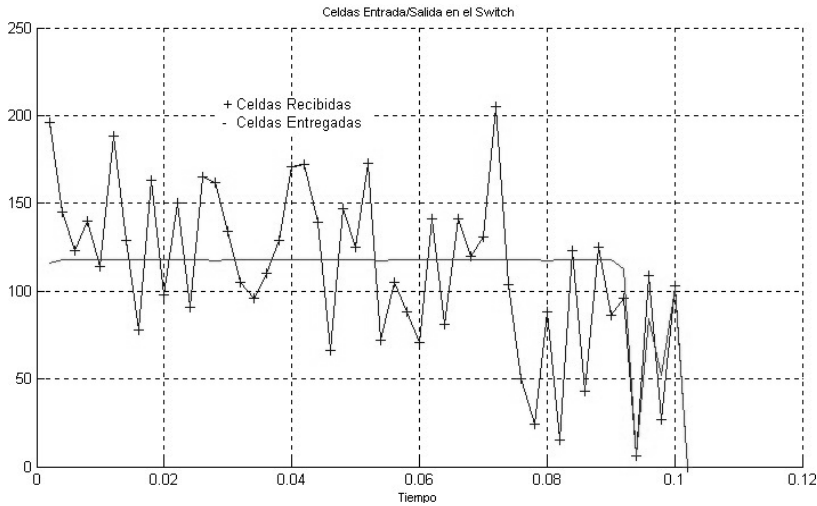


Fig. 6. Celdas de entrada y salida del Switch ATM

La comparación de celdas de entrada y salida permitió analizar las condiciones de congestión presentes en la cola de salida del *Switch* ATM.

4 Neuroplanificador de WATM

Este trabajo de investigación se enfocó al análisis de tráfico VBR y ABR, debido a su tasa de celdas variable en el tiempo y a su capacidad de realimentación de condiciones de congestión, respectivamente.

El uso de redes neuronales en el *Neuroplanificador* de ATM Inalámbrico se debe a la función de predicción de tráfico VBR (de tiempo real y de tiempo no real) y tráfico ABR. La red neuronal artificial corresponde a un proceso paralelo que es capaz de aproximar una solución óptima en problemas no lineales, lo cual podría incluir la predicción en el Sistema WATM. La red neuronal puede predecir el tráfico VBR al aprender la relación entre las variaciones del tráfico ATM.

El rol de la red neuronal es capturar la desconocida relación compleja entre los valores de tráfico pasados y futuros. La predicción precisa del tráfico de ATM es esencial para desarrollar un conjunto robusto de descriptores de tráfico. En sistemas de control de la congestión, un componente clave es la detección de condiciones de congestión o sus indicaciones tempranas. La predicción de tráfico ATM consiste de cuatro etapas: (a) La creación del histograma (ver figura 5), (b) El

diseño de la estructura de la red neuronal (ver figura 7), (c) La creación de vectores de entrenamiento (ver tabla 1), y (d) La fase de entrenamiento y prueba.

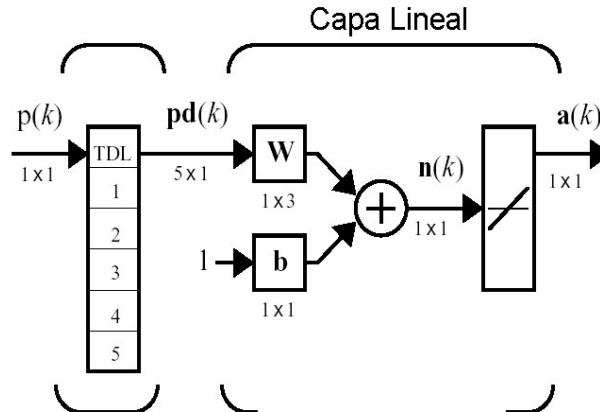


Fig. 7. Arquitectura de una Red Neuronal Lineal diseñada en Matlab

Secuencia de Entrada	Calculado
196 145 123 140 114	188
145 123 140 114 188	129
123 140 114 188 129	78
140 114 188 129 78	163
114 188 129 78 163	98
188 129 78 163 98	150
129 78 163 98 150	91
78 163 98 150 91	165
163 98 150 91 165	162
· · · · ·	·
· · · · ·	·

Tabla 1. Secuencias de celdas de entrada y valor de salida, usadas en el entrenamiento de la red neuronal

La conformación de tráfico y el control de congestión combinados con la predicción de tráfico, resulta en el desarrollo de un conjunto mucho más robusto de descriptores de tráfico requerido por el *Control de Parámetros de Uso*, definido como el conjunto de acciones tomadas por la red para monitorear y controlar el tráfico, en términos del contrato de tráfico establecido al inicio de la conexión y su principal propósito es el de proteger los recursos de la red.

También en el desarrollo del algoritmo de *Control de Admisión de Conexiones*, el cual determina que una nueva conexión es aceptada en la red si existen los recursos suficientes para proveer la QoS solicitada por la nueva conexión, sin afectar las ya existentes.

Finalmente, también es importante para el algoritmo de *Control de Congestión* (CC) que en los esquemas actuales se hace por la detección de pérdida de celdas.

Mientras mayor sea la anticipación del estado de la red que pueda hacer el Neuroplanificador de tráfico, mayor será la eficiencia de los mecanismos de control de tráfico y congestión como el CAC, el UPC y el control de flujo ABR, así como la eficiencia del planificador para encolar apropiadamente las celdas ATM.

La red neuronal tiene como tarea predecir el siguiente valor de celdas de entrada al *Switch* ATM, tomando los cinco valores anteriores de entrada presentados a la red [Wieslaw, 1997].

Con ello se determina si el *Switch ATM* tendrá la capacidad de despachar las celdas entrantes, considerando que puedan existir celdas ATM presentes aún en la cola de la conexión de salida; o bien, si la cantidad de celdas entrantes es posible despacharlas hacia la terminal ATM conectada a la salida, considerando la tasa de servicio con que cuenta éste.

El diseño de la red neuronal comienza estableciendo una red neuronal de tipo lineal. Para ello se utiliza la función *newlin*, que precisamente es una *Arquitectura de Red Neuronal Adaptable* (ADALINE de “*Adaptive Linear Neural Network Architecture*”) de Matlab (ver figura 7). La razón de utilizar una red lineal es porque a menudo es el tipo de red que se utiliza como filtros adaptables para procesamientos de señales y predicción.

Toda la información de la estructura la genera Matlab a través de un objeto conocido como *net*. Este objeto contiene toda la información de la red neuronal (una entrada, una capa, una salida, un objetivo, 5 retardos de entrada, un bias, un peso de entrada, un vector de bias, etc.).

El entrenamiento de la red neuronal se lleva a cabo utilizando el análisis de celdas de entrada al *Switch* ATM (ver figura 5). Esto es, se utiliza el archivo generado en el análisis de celdas para entrenar la red hasta el punto en que se alcanza uno de dos parámetros de entrenamiento: el número de épocas de entrenamiento, o bien, se ha alcanzado el valor especificado para el error de precisión.

La tabla 1 muestra la forma en que se han tomado las secuencias de celdas de entrada y valor de salida para el entrenamiento de la red neuronal.

La red neuronal se entrenó usando la función *adapt* [Demuth, et al., 2000; Eberhart, 1990] de Matlab para redes neuronales lineales usadas en control por predicción (ver figura 7). El algoritmo de funcionamiento es el siguiente. Dada una secuencia de entrada, con *ts* pasos, la red es actualizada como sigue. Cada paso en la secuencia de entrada se presenta a la red una por una. Los valores de pesos y bias de la red, son actualizados después de cada paso, antes de que el siguiente paso en la secuencia se presente. La figura 8 muestra la salida de la red neuronal para la predicción de celdas de entrada comparadas contra las celdas de entrada reales.

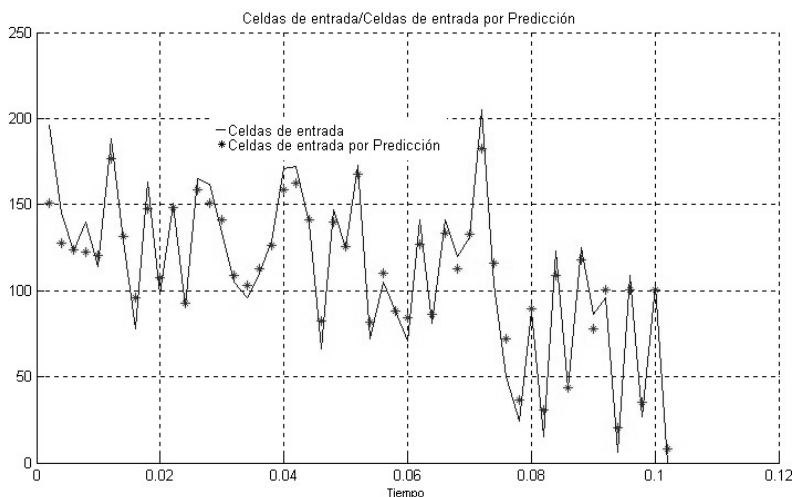


Fig. 8. Salida de la red neuronal en la predicción de celdas de entrada

Las celdas de entrada obtenidas por predicción, se utilizaron para determinar el nivel de congestión presente en el *Switch* ATM, considerando el análisis de celdas servidas por el mismo y la ocupación del *buffer* de la cola de salida.

5 Análisis de Congestionamiento

La comparación de celdas de entrada y salida mostrada en la figura 6, representa el comportamiento de la red ATM/WATM cuando se está rebasando la capacidad de servicio del *Switch* ATM, es decir, se están recibiendo más celdas a la entrada de las que se están despachando en la conexión de salida (enlace inalámbrico). Este comportamiento significa que en un momento dado se están reteniendo celdas ATM en el *buffer* de salida, lo que puede provocar la aplicación de retardos excesivos a las celdas o bien que éstas sean descartadas en la siguiente conexión. La figura 9 muestra la ocupación del *buffer* bajo este comportamiento de la red ATM/WATM.

El análisis de congestión se hizo considerando la tasa de servicio del *Switch* ATM. Debido a que la conexión de salida del *Switch* representa el enlace inalámbrico, ésta no debe tener una tasa de servicio superior a los 25 Mbps. Además, la duración de una trama para WATM de acuerdo a la estructura MAC (Control de Acceso al Medio) considerada es de 2 ms.

Con estos parámetros es claro deducir que el *Switch* ATM solamente puede servir 118 celdas por trama en la conexión inalámbrica. Este valor coincide con el análisis de entrada/salida de la figura 6.

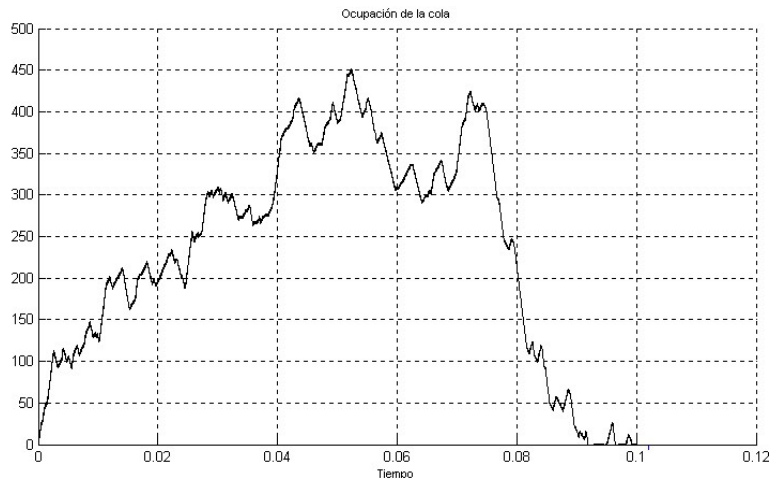


Fig. 9. Ocupación del buffer de la cola de salida del Switch ATM

La figura 10 muestra el análisis de congestión realizado considerando el análisis de celdas servidas y el análisis de celdas de entrada por predicción en el Switch ATM.

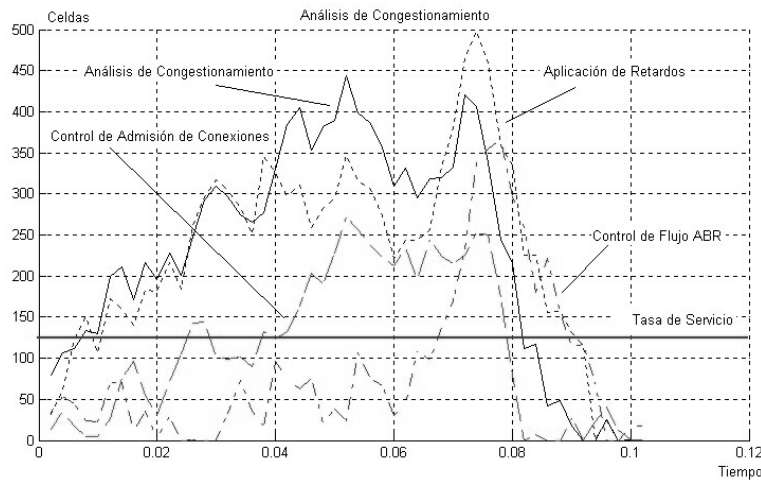


Fig. 10. Análisis de congestión usando las celdas servidas y las celdas de entrada por predicción

De la figura 10 pueden hacerse varias observaciones. La gráfica etiquetada con *Análisis de Congestionamiento* representa el comportamiento de la red sin aplicar ningún mecanismo de control de tráfico y de congestión. Puede observarse que es muy similar a la gráfica que aparece en la figura 9, con la única diferencia de que ésta se ha obtenido usando el resultado de las celdas de entrada por predicción de la red neuronal.

Cuando se aplica un único mecanismo de control de tráfico como el *Control de Flujo ABR* (gráfica de la figura 10 marcada con esta etiqueta), la reducción del nivel de congestión es clara ya que la ocupación del *buffer* de la cola de salida está por debajo de la tasa de servicio. Sin embargo, puede presentarse cierto nivel de congestión provocado por las fuentes VBR cuando las fuentes ABR dejan de estar activadas y todo el ancho de banda del canal inalámbrico se distribuye entre las fuentes VBR.

Un control de tráfico a través del mecanismo de *Control de Admisión de Conexiones*, permite reducir el nivel crítico de congestión, figura 10, el cual se presenta al excederse la tasa de servicio por encima del doble del valor permitido, lo que puede provocar que las celdas sean descartadas en la entrada del siguiente *Switch* en la red ATM/WATM.

El mecanismo de control de tráfico CAC debe aplicarse a las fuentes VBR por su naturaleza de tráfico en forma de ráfagas, permitiendo la presencia de fuentes ABR que puedan regular la conformación de tráfico en la red [Borgonovo, et al., 1999].

Como puede verse en la gráfica de la figura 10 etiquetada con *Aplicación de Retardos*, no existe una gran mejoría en el control de congestión utilizando únicamente este mecanismo. Ya que en realidad la aplicación de retardos a las celdas en el *buffer* de la cola de salida, está enfocada a la conformación de tráfico y no ayuda a la reducción de la congestión y por el contrario, puede incrementarla si la tasa de celdas de entrada sigue fluctuando tanto provocada por las fuentes VBR.

Los retardos deben ser aplicados a las celdas de los servicios VBR de tiempo no real y de tiempo real, siempre y cuando estos no excedan el valor definido en el contrato de tráfico establecido al inicio de la conexión, con los parámetros *Retardo de Transferencia de Celda Máximo (MaxCTD)* y *Variación de Retardo de Celda (CDV)*.

Un control de tráfico y congestión más eficiente es el que utiliza más de un mecanismo de control. Tal es el caso del análisis que aparece en la figura 11.

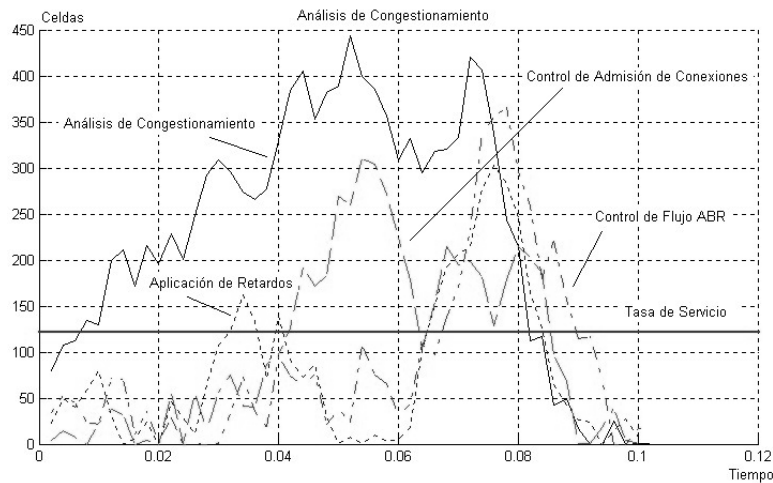


Fig. 11. Análisis de congestión usando las celdas servidas y las celdas de entrada por predicción, combinando los mecanismos de control

En la figura 11, primeramente se ha aplicado el *Control de Flujo ABR* para reducir la tasa de servicio de las fuentes ABR. En seguida se han aplicado retardos a las celdas de los servicios VBR (cuando es mayor al umbral de 60 %) y además se ha suspendido la aceptación de nuevas conexiones mientras permanezca en la red un nivel de congestión que pueda afectar el desempeño de la misma y afectar la QoS de las conexiones ya establecidas. El resultado final es un control sobre el comportamiento de la red, que reduce las condiciones de congestión a un nivel en el que se asegura no existirá una *Tasa de Pérdida de Celdas* considerable en el enlace inalámbrico y una distribución del ancho de banda adecuado entre todas las conexiones de la red. Cabe señalar que el preprocesamiento de los datos no influye los resultados, sólo se controla la congestión.

6 Conclusiones

Con el uso del Neuroplanificador de WATM, la capacidad de predecir condiciones futuras de tráfico, permitió obtener un mecanismo de Control de Admisión de Conexiones más eficiente, al anticipar posibles condiciones de congestión y con esto determinar si se permite o no una nueva conexión. El Neuroplanificador le indica al mecanismo CAC, la disponibilidad actual de ancho de banda, así como el nivel de congestión (%) que puedan provocar las terminales conectadas y pueda reducir la capacidad del mismo ancho de banda.

Aún con las limitaciones que presentó el simulador de tráfico Hydragyrum, éste proporcionó los resultados de generación de tráfico necesarios para la aplicación a la red neuronal usada en la predicción de tráfico ATM. La predicción del tráfico de entrada usando los nuevos resultados del simulador, después de la aplicación de cada mecanismo de control de tráfico, permitió evaluar satisfactoriamente dichos mecanismos y hacer ajustes en el comportamiento de la red ATM/WATM, a través del control de flujo ABR, la conformación de tráfico y el control de admisión de conexiones.

El programa *Analyzer* desarrollado en Matlab, permite al usuario del Neuroplanificador de WATM tener acceso a las herramientas del mismo, de una manera ágil y sencilla (amigable); incluyendo la creación de la red ATM/WATM, el entrenamiento de la red neuronal, el análisis de congestión y otras herramientas como la comparación con resultados anteriores de predicción de tráfico y análisis de congestión, la exportación a archivos de datos de los resultados obtenidos y la invocación directa del simulador ATM. Como trabajos futuros se proponen la consideración de otras fuentes ATM como

CBR, UBR (Tasa de Bit No Definida) y GFR (Tasa de Tramas Garantizada), así como el desarrollo de otras funciones del Neuroplanificador como la tabla de planificación de perfiles de usuario, propuesta en este trabajo de investigación.

Referencias

1. **Andrade N. Luis E.**, *Hydragyrum: Network Simulation Environment, Programming Manual*, Ver. 1.0, State University of Campinas, 1999.
2. **ATM Forum Technical Committee**, *ATM User-Network Interface Specification*, The ATM Forum, Version 3.1, September, 1994.
3. **ATM Forum Technical Committee**, *Traffic Management Specification*, The ATM Forum, Version 4.1, March, 1999.
4. **Berger W., Arthur, [et al.]**, "Extending the Effective Bandwidth Concept to Networks with Priority Classes", *IEEE Communications Magazine*, August, 1998.
5. **Biswas, S. K., [et al.]**, *User Parameter Control Based Bandwidth Allocation for VBR Video in Wireless ATM Links*, NEC USA Inc. C&C Research Laboratories, 1997.
6. **Borgonovo, Flaminio, [et al.]**, *MAC for WATM air Interface: Impact of error control schemes on protocol design*, Dipartimento di Electronica e Informazione, Politécnico di Milano, Italy, 1999.
7. **Briem, Uwe, [et al.]**, "Traffic Management for an ATM Switch with Per-VC Queuing: Concepts and Implementation", *IEEE Communications Magazine*, January, 1998.
8. **Bromirski, Marek**, *ATM Traffic Shaper with Neural Control*, Military Communication Institute, Zergze Poland, 1997.
9. **Cagri I. Orhan, [et al.]**, "Available Bit Rate Congestion Control in ATM Networks: Developing Explicit Rate Control Algorithms", *IEEE Control Systems Magazine*, February, 2001, pp. 38–56.
10. **Cao, Yaxin, [et al.]**, "Scheduling Algorithms in Broad-Band Wireless Networks", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 1, January, 2001.
11. **Castañeda T., Omar**, *Red Neuronal para el Planificador de ATM Inalámbrico para Predecir y Conformar los tráfico VBR y ABR*, Tesis de Maestría, CENIDET, 2002.
12. **Demuth, Howard, [et al.]**, *Neural Network Toolbox: For use with Matlab*, The Mathworks Inc., User's Guide, Ver. 4, USA, September, 2000.
13. **Eberhart, Russell C.**, *Neural Network PC Tools: A practical Guide*, Academy Press Inc., California USA, 1990.
14. **Ghani, Nasir, [et al.]**, "ATM Traffic Management Considerations for Facilitating Broadband Access", *IEEE Communications Magazine*, November, 1998.
15. **S. Kalyanaraman, [et al.]**, "The ERICA switch algorithm for ABR traffic management in ATM networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 8, No.1, February, 2000.
16. **Kist, Holger, and Petras, Dietmar**, "Service Strategy for VBR Services at an ATM Air Interface", *EPMCC97, The Second European Personal Mobile Communications Conference*, September, 1997.
17. **Kubbar, Osama, [et al.]**, "Multiple Access Protocols For Wireless ATM: Problems Definition and Design Objectives", *IEEE Communications Magazine*, November, 1997.
18. **Qiu, Xiaoxin, [et al.]**, *A Multiple Access Scheme for Multimedia Traffic in Wireless ATM*, Communication Sciences Institute, University of Southern California, Los Angeles CA., 1997.
19. **Passas, N., [et al.]**, "Traffic scheduling in wireless ATM networks", in *Proc. IEEE ATM Workshop*, 1997.
20. **Romero Aguirre, Eduardo**, *Análisis de la Asignación Dinámica de Ancho de Banda para Transmisión eficiente de video en redes ATM Inalámbricas*, Tesis de Maestría, CENIDET, 1999.
21. **Wieslaw Lobejko**, *VBR Traffic Prediction in ATM System*, Military Communication Institute, Zergze Poland, 1997.



Omar Castañeda Trujillo. *Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 1998. Actualmente es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el área de Sistemas Digitales en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), de Cuernavaca, Morelos, México. Ha participado en diferentes Certámenes Nacionales de creatividad de los Institutos Tecnológicos con proyectos relacionados al uso de microcontroladores en casas habitación. Fue profesor del área de Ingenierías de la Universidad del Sol en Cuernavaca, Morelos. Sus áreas de interés son en los campos de redes ATM y WATM, Bluetooth, redes inalámbricas y móviles de tercera generación y Microcontroladores. Es miembro del IEEE Communications Society. Actualmente trabaja en Netservice S.A. de C.V., en la Gerencia Técnica como Especialista en Telecomunicaciones y cuenta con las siguientes certificaciones: Cableado Estructurado y Fibras Ópticas - Systimax Structured Connectivity Solutions Certified Engineer, Redes Inalambricas 802.11 - 3Com Certified Wireless Specialist, LAN Switching, Firewall – Fortinet Certified Support Engineer, Enlaces WAN Frame Relay, VoIP, Contact Centers, Video Vigilancia, Diseño de Redes - Cisco Certified Design Associate.*



Carlos Felipe García Hernández. *Obtuvo su grado de Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica en la Universidad de Guanajuato en 1983 y su grado de Maestría en Sistemas de Telecomunicaciones en la Universidad de Essex, Inglaterra, en 1986. Ha publicado diversos artículos Nacionales e Internacionales, presentado Conferencias y dirigido varias Tesis de Licenciatura y de Maestría. Asimismo, ha recibido cursos de adiestramiento Profesional en Estados Unidos e imparte cursos Profesionales a nivel Nacional, de Licenciatura en el ITESM Campus Cuernavaca desde 1996 y de Posgrado desde 1987 en el CENIDET de la SEP. Labora como investigador y Jefe de Proyectos de Radiocomunicaciones y Telecomunicaciones en la Gerencia de Control e Instrumentación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) desde 1983 y ha dirigido varios Proyectos sobre Redes Inalámbricas y Móviles. Además, fue investigador Nacional Nivel-I de 1987 a 1993, es Miembro Senior del IEEE, del CIGRE y del CIME, y está certificado como Perito en Telecomunicaciones con registro No. 555 de la SCT y la COFETEL con la Especialidad de Radiocomunicaciones desde 1993 y ahí mismo también está certificado como Radioaficionado Clase II con registro No. 10013 desde 1999 con indicativo XE1RFG.*