

Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes

Martha Milena Cuellar Chaves

**Análisis de series de tiempo
con métodos econométricos
para el control de congestión
en redes de telecomunicaciones**



Fundación Universitaria
SAN MATEO

Editorial

Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes

Martha Milena Cuellar Chaves

**Análisis de series de tiempo
con métodos econométricos
para el control de congestión
en redes de telecomunicaciones**



Fundación Universitaria
SAN MATEO

Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes
Martha Milena Cuellar Chaves
Análisis de series de tiempo con métodos econométricos para el control de congestión en
redes de telecomunicaciones
Registro No. 978-958-56900-4-2
Bogotá D.C.; Fundación Universitaria San Mateo, 2018.
95 p., 28 x 21.5 cm.
Palabras clave: Econometría, redes, telecomunicaciones.
© Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes
© Martha Milena Cuellar Chaves
© Fundación Universitaria San Mateo

CONSEJO SUPERIOR UNIVERSITARIO

Presidente

Carlos Orlando Ferreira Pinzón

Rector

Juan Carlos Cadavid

Asesor Rectoría

Richard Rangel

Secretaria General

Melba Ferreira de Meza

Secretaria Consejo Superior

Liliana Tamayo Ortiz

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Vicerrectora Académica

María Luisa Acosta Triviño

Vicerrector Virtualidad

Luis Rodrigo Ferreira

Vicerrectora Gestión y Calidad

Vivian Janeth Ferreira Díaz

Vicerrectora de Servicios Académicos

Andrea Meza Ferreira

Decana Facultad Administración

Elizabeth Araque Elaica

Decana Facultad Ingenierías

Gloria Andrea Avelino

Director de Investigación

Ricardo Acosta Triviño

CRÉDITOS

Autor

Joaquín Fernando Sánchez Cifuentes

Martha Milena Cuellar Chaves

Coordinador de publicaciones

Carlos Eduardo Daza Orozco

Diagramador

Nicolás Alejandro Jiménez Daza

Grupo de investigación



Este libro es resultado en proceso de investigación y ha sido evaluado por pares ciegos.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	11
Series de tiempo como herramienta de análisis.....	23
Congestión en redes de datos.....	47
Modelo para toma de decisiones.....	69
Conclusiones.....	83
Referencias.....	89

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1	33
Concepto de variación	
Imagen 2	34
Tendencia de precios	
Imagen 3	35
Gráfica del comportamiento de una acción	
Imagen 4	48
Concepto de congestión	
Imagen 5	54
Diagrama de estado de una conexión TCP	
Imagen 6	71
Imagen del simulador con la representación del mercado y los agentes	
Imagen 7	74
Resultado del modelo B	
Imagen 8	74
Resultado del modelo C	
Imagen 9	75
Resultado del modelo C2	
Imagen 10	76
Resultado del modelo D	
Imagen 11	76
Resultado del modelo E	
Imagen 12	78
Modelo matemático agente de software	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	73
Parámetros de la simulación.	





Introducción

A continuación, se relata las ideas que se desarrollan en el transcurso de este texto, en donde el propósito general es generar modelos de control de congestión en redes de comunicaciones a partir de modelos económicos aplicados al comportamiento del mercado bursátil. Las ideas son las siguientes:

En las ciencias de la computación, específicamente en las telecomunicaciones se usan varias herramientas matemáticas para realizar el análisis y diseño de sistemas que permitan mejorar el desempeño de las redes de comunicaciones. Un ejemplo en particular son las series de tiempo, que se usan en varios campos de la investigación y de la industria.

Al hacer una revisión de las aplicaciones que se tiene para las series de tiempo como en (You & Chandra, 1999), (Rossi, Muscariello, & Mellia, 2004), (Sang & Li, 2002), (Granger, 2001) se ha encontrado que el análisis de las bolsas de valores tienen una similitud con el campo de las telecomunicaciones. Después de revisar las trazas que deja una red de datos como se hace en (Sánchez & Cobo, 2014), (Nino, Ardila, & Sánchez, 2013) se observa que el comportamiento del tráfico cursado por la red se parece mucho a las gráficas de la variación de las acciones en la bolsa de valores.

Tomando como referencia esta observación, en este texto se pretende llegar a un punto en común entre los dos campos (El estudio de los mercados bursátiles y las redes de datos) para tener una herramienta más en el análisis del tráfico en redes de datos y proponer un modelo de control de congestión basado en un modelo econométrico.

Es así que las series de tiempo son herramientas adecuadas para evaluar la situación de un movimiento de desempeño de la variable a analizar, en este caso la congestión de datos en las redes de telecomunicaciones.

Este tipo de series son indicadas para detectar la tendencia más inmediata o el error en cuanto al desplazamiento y volumen de participación, brindando posibilidades, correctivos y tendencias de importancia para la gestión de canales de datos y de esta manera proporcionar pronósticos de ocurrencia para la toma de decisiones.

El análisis en cuanto a la congestión en las redes de datos, puede realizarse bajo diferentes parámetros y tendencias, obteniendo estimaciones para el control y la aplicación de medidas estadísticas en la toma de decisiones, orientando los pronósticos de las variables a contemplar dentro de un modelo dado, con sus históricos, características y estadísticas dando la oportunidad a valorar el nivel de ocurrencia en el futuro (Diebold, 1998).

Los datos del pasado o histórico pueden dar lugar a predecir los movimientos de los valores futuros. En cuanto se establezcan los datos y se evalúen mediante gráficas e indicadores dados inherentemente por la tendencia positiva o negativa de las variables. Para este texto las variables que se toman son los tiempos de retardo y el ancho de banda en las redes de datos.

De manera que se quiere estimar uno o varios modelos que se puede contextualizar, dentro del análisis técnico de cotización de acciones de bolsa, los cuales brindan la posibilidad de evaluar tendencias, variables, relaciones de influencia, históricos dentro de la oferta y demanda del mercado accionario.

Por lo general la variable dentro de la acción de más relevancia es el precio, el cual determina el movimiento

de la acción a la alza o a la baja, a lo largo de la apertura o cierre, los máximos, los mínimos, los tiempos, lo volátil, volumen de negociación en el horizonte del promedio evaluado, como día, semana, mes, año en el periodo que se quiera aplicar.

Es de esta manera que se refleja la información del mercado global y sus necesidades, estableciendo tendencias de negociación con patrones a lo largo del tiempo permitiendo que la información sea cíclica y que se repita por las características propias del mercado.

Teniendo en cuenta las ideas anteriormente mencionados, se va a presentar el procedimiento para la construcción de un modelo de control de congestión en redes de comunicaciones, partiendo de un modelo econométrico el cual este centrado en el análisis de las acciones de una empresa. Para lograr este objetivo primero se dedica una sección en donde se sientan las bases de la investigación que se ha realizado para llegar al modelo de control de congestión.

En el siguiente capítulo se hace una exposición de las series de tiempo como herramienta en la construcción de modelo econométricos y cuáles son sus principales características enfocadas en la búsqueda del control de congestión. Otro capítulo que se tiene en este texto, son las notas sobre el control de congestión. Este capítulo es soportado desde el libro titulado "Aproximación a las interfaces de telecomunicaciones para sistemas de transporte inteligente". Aquí, se pretende mostrar los aspectos relevantes del control de congestión desde el protocolo TCP y como se aplica en la elaboración final del modelo de gestión de la congestión.

El capítulo titulado "Modelo de toma de decisiones" tiene como finalidad presentar otro ejemplo de la construcción de mecanismos para la realización de políticas de gestión de redes de comunicaciones,

basados en modelos matemáticos aplicados a las ciencias económicas. En esta sección se utiliza un modelo de juegos de señalización entre agentes para realizar la toma de decisiones para transacciones en mercados financieros.

Por último, se hace la presentación de los resultados obtenidos con el modelo construido para el control de congestión. Hay que resaltar que se ha considerado el control del ancho de banda como la estrategia dominante para la realización del control de congestión y los resultados indican que funciona la aplicación de estas políticas para mantener un desempeño aceptable de la red.

Los autores esperan que este libro sea un manual de referencia para generar nuevas propuestas de investigación que impulse el trabajo mancomunado de diferentes disciplinas para la consecución de un objetivo común. En este caso, ha sido el desarrollo de técnicas para la gestión de redes de datos basadas en modelos y estrategias de análisis económicos persiguiendo encontrar un equilibrio en el funcionamiento de la red y generar bienestar en los usuarios.

Problema de investigación

Las redes de telecomunicaciones tienen comportamientos complejos, debido a la gran heterogeneidad que existe en la actualidad. La penetración de dispositivos móviles ha generado un crecimiento exponencial de tráfico de datos que circula a diario en las diferentes redes de comunicaciones. Debido a esto, un fenómeno que también ha crecido es la congestión. Las estrategias para controlar esta congestión han sido de variadas fuentes, realizando diseños y configuración de nuevos protocolos de transporte. Resulta interesante ver que el comportamiento de las redes puede colocarse en

series de tiempo, que son expresiones matemáticas que describen el comportamiento de diferentes fenómenos. En economía las series de tiempo se usan para predecir el comportamiento del precio de las acciones y saber cuándo comprar y cuando vender. De manera que se puede acomodar esta filosofía para realizar el análisis en el comportamiento de las redes de telecomunicaciones y de este modo saber cuándo realizar el control de congestión, haciendo operaciones como modificar el ancho de banda o retrasar las tasas de transmisión.

La pregunta de investigación es la siguiente:

¿Cómo se implementan las técnicas econométricas para realizar la gestión de los elementos de una red LAN?

Objetivo general

Hacer un estudio de técnicas econométricas para realizar estrategias de control de congestión en las redes de datos.

Objetivos específicos

- Documentar las diferentes técnicas econométricas para el análisis de series de tiempo.
- Adecuar los análisis económicos en el ambiente de las redes de telecomunicaciones.
- Simular el funcionamiento de redes de telecomunicaciones para generar series de tiempo acordes a los parámetros de las técnicas econométricas.

- Proponer estrategias de control de congestión basados en los resultados de los análisis de las series de tiempo.

Al conseguir estos objetivos de la presente investigación, se tiene una base conceptual para el desarrollo de un modelo de control de congestión en redes de datos, este modelo estará basado en series de tiempo, pero será el punto de partida para la generación de nuevas políticas de gestión en red, que logren una calidad de servicio aceptable a los usuarios.

Ambiente de desarrollo de la investigación

Para realizar las pruebas de este texto, se toman dos ambientes de funcionamiento de las redes de datos. Por un lado, hay una red LAN fija. Esta red cuenta con una infraestructura de varias jerarquías de funcionamiento. Se divide en varias subredes, las cuales dan servicio a diferentes grupos de usuarios. El comportamiento de estos usuarios hace que los valores de las variables varíen de una subred a otra, existen diferentes números de host y consumos de canal. Por otro lado, se presentan pruebas sobre una red inalámbrica, la cual se conforma de varios nodos móviles con recursos limitados y propósitos diferentes a la red fija.

Las consecuencias de la congestión son bien conocidos, por ejemplo, la percepción de lentitud en los canales de datos. Sin embargo, el concepto de lentitud queda corto como medida de congestión. Las características de los canales de datos tales como ancho de banda, retardo del canal y tiempos de transmisión, son variables que están presentes en el desempeño de la red. Una forma para comprobar cuáles son las consecuencias de la congestión puede ser analizando las variables que definen el comportamiento de la red de datos.

En resumen, se puede decir que la principal consecuencia de la congestión en una red de datos es el rendimiento o desempeño de la red; este desempeño se puede cuantificar de varias formas, pero la principal es el *throughput* que es el nivel de utilización del enlace o la capacidad de información que un elemento de red puede transportar en un periodo de tiempo.

Efectos de la congestión sobre la red de datos

Como se ha mencionado en apartados anteriores, los efectos de la congestión en las redes de datos afectan el desempeño, de modo que los parámetros de la calidad de servicio (QoS, por su sigla en inglés) también se ven afectados. En la una red de datos, se puede cuantificar este fenómeno, haciendo énfasis en las variables de interés de dicha red.

Los efectos que se perciben en la red una red de datos cuando hay congestión se pueden cuantificar por las siguientes variables:

TR: cuando hay presencia de congestión, los tiempos de respuesta aumentan, de modo que la percepción de lentitud sobre los usuarios finales se presenta y el *throughput* se ve afectado.

PU: cuando hay presencia de congestión, este porcentaje de utilización de entrada como el de salida empieza a aumentar; la percepción de lentitud de los usuarios finales también se presenta; el *throughput* se ve afectado ya que los bits por segundo transmitidos disminuyen. El umbral para decidir si el PU es alto lo define el administrador de la red basándose en la capacidad de operación de los elementos de la red. Usualmente, después del 80% de utilización de un canal se dice que el canal está saturado.

EC: la cantidad de equipos conectados es una variable que depende de las condiciones aleatorias de una red de datos. De manera que al aumentar EC, los recursos de la red deben empezar a dar mayores prestaciones, así que el ancho de banda, los tamaños de los buffers de los enrutadores, las velocidades de procesamiento de los diferentes elementos también aumentan. Por consiguiente, variables como TR y PU empiezan a aumentar y esto hace que el throughput empiece a verse afectado, disminuyendo conforme los recursos lo permitan.

PP: está es una de las variables más sensibles que determina si una red LAN está congestionada o no, ya que los requerimientos de QoS hace que no se permita la pérdida de paquetes; entonces se puede hacer la anotación de que cuando hay más de un paquete perdido, la red está congestionada. La pérdida de paquetes también se puede presentar por factores externos a los comportamientos de los actores de la red, un ejemplo claro puede ser un corte de un medio de transmisión o el daño de un equipo o elemento de red, lo cual puede contribuir a dar al administrador de la red pistas muy certeras de que se están presentado fallas a nivel físico y no lógico.

Detección de la congestión

En trabajos anteriores como en (Nino et al., 2013) se hace un proceso de detección de la congestión sobre una red LAN. Con la información que se obtiene de la detección y el control de congestión que se diseña, los trabajos se complementan para formar un sistema de gestión de red que ayude a mejorar el desempeño de la red.

En la descripción de los métodos de detección de la congestión sobre redes IP, se nombran las desventajas de las herramientas que se encuentran en el mercado.

La primera es que requieren de la instalación de sondas distribuidas por la red. Dichas sondas son algunas veces equipos especializados de alto costo y en otras ocasiones son programas que se instalan en equipos servidores o de escritorio en la red. Esto implica que los administradores de red deben estar constantemente instalando nuevas sondas a medida que la red cambia. La segunda desventaja es que toda la información recolectada por las sondas debe ser analizada manualmente por los administradores de red con el fin de establecer si estos datos representan o no un comportamiento normal del desempeño de la red y con base en esto definir las estrategias a seguir para solucionar los problemas encontrados (Calyam P.; Krymskiy, 2005).

Las mediciones activas requieren inyectar paquetes de prueba en la red. Tradicionalmente, las herramientas de medición activa tales como ping y traceroute, se utilizaron para determinar los RTT y las topologías de red utilizando paquetes ICMP. En comparación con las mediciones activas, las mediciones pasivas no inyectan paquetes de prueba en la red. Se realizan mediante la captura de paquetes y sus correspondientes marcas de tiempo de transmisión, desde aplicaciones que se ejecutan en dispositivos conectados a la red. Algunas de las técnicas de medición pasiva populares incluyen la recolección de datos de SNMP, datos de log de eventos y datos de NetFlow de los conmutadores y routers de la red.

Una idea novedosa en (Nino et al., 2013) es incorporar el aprovechamiento del usuario final como parte de la arquitectura para la detección de la congestión. Los sistemas de medición tanto activos como pasivos, utilizan un programa sensor central para los sistemas activos o programas sensores instalados en los dispositivos críticos de la red para los sistemas pasivos. Para cualquiera de los dos sistemas el costo de instalación y mantenimiento es alto, no solo tomando en cuenta el costo de los programas, sino los costos asociados a la utilización de la red.

Para lograr el objetivo de incorporar a los usuarios final se pensó en un sistema multi-agente. En una red que posea gran número de host o nodos, la información generada de las pruebas de medición de congestión puede generar un alto tráfico hacia un solo servidor central. Una forma de solucionar este problema es realizar un análisis segmentado de la red mediante un sistema distribuido, el cual puede ser construido utilizando sistemas multiagentes. Éstos permiten realizar un trabajo cooperativo y adaptativo, ajustándose a las necesidades de análisis de congestión de red.

Dado que la red de datos corporativa puede ser de tamaño considerable, se hace necesario subdividir la red en grupos que permitan realizar un mejor análisis de la congestión. La propuesta es subdividir en segmentos la red y cada segmento tendrá asignados varios agentes. Al realizar análisis segmentados, es posible identificar de forma más clara zonas o segmentos con congestión. Dentro de cada segmento de la red existirán tres tipos de agentes de campo: agente consolidador o agente supervisor, agentes recolectores, agentes sensores.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el sistema multiagente propuesto se establecen las siguientes reglas:

- En un segmento de red solo puede existir un agente consolidador o supervisor.
- En un segmento de red pueden existir uno o más agentes recolectores.
- En un segmento de red pueden existir uno o más agentes sensores.
- En toda la red o en todo el sistema solamente puede existir un agente supervisor.

La comunicación entre segmentos se realiza entre los agentes consolidadores y el agente supervisor, por lo tanto, los agentes recolectores y sensores en un segmento de red solo tienen comunicación con su agente consolidador.

Una vez implementada la plataforma de los sistemas multiagentes y se haga la detección de la congestión en alguna de las subredes, es ejecutar la acción de control sobre la congestión. La parte de control es la que se muestra en esta investigación, en donde se recibirá la información de cuál es la subred congestionada y se ejecutara el control haciendo una asignación de ancho de banda.





Series de tiempo como herramienta de análisis

Uno de los usos de las series de tiempo es realizar algún tipo de pronósticos sobre mercados bursátiles. El pronóstico implica El uso de la información disponible para hacer declaraciones sobre el curso probable de eventos futuros. En términos técnicos, condicionado a lo que uno sabe, ¿qué se puede decir sobre el futuro? Las técnicas de pronóstico incluyen análisis univariante, multi-variante y cualitativo. Las series temporales utilizadas para pronosticar las tendencias futuras incluyen suavización exponencial, ARIMA (promedio móvil autorregresivo integrado) y análisis de tendencias. Los métodos de predicción multivariantes incluyen el modelo de regresión múltiple, la econometría y el espacio de estado. La investigación de mercado de Delphi, el análisis situacional y el análogo histórico pertenecen a metodologías cualitativas. Estos métodos de pronóstico pronostican tendencias en diferentes horizontes de tiempo. Existen diferencias significativas en la duración del tiempo que se considera al usar estos métodos de pronóstico. Básicamente, los métodos univariantes en el pronóstico a corto plazo generalmente generan mayor precisión que los multivariantes (Box, Jenkins, Reinsel, & Ljung, 2015).

Los pronósticos de económica son las acciones de hacer predicciones sobre la economía como un todo. Es la predicción de cualquiera de los elementos de la actividad económica. Tales pronósticos pueden hacerse en gran detalle o pueden ser muy generales. En cualquier caso, describen el comportamiento futuro esperado de la economía y ayudan a formar la base de la planificación. Las previsiones económicas se derivan de modelos, generalmente de la economía agregada nacional o mundial, pero a veces, de algunas partes

de esas economías: sectores industriales particulares, regiones o incluso productos o empresas individuales. Los enfoques básicos para pronosticar simplemente extrapolan el pasado; ¿los modelos más sofisticados intentan comprender las fuentes de los cambios pasados? y construirlos en sus pronósticos. Este último requiere el conocimiento de la historia económica y los principios económicos, aunque, incluso entonces, la previsión no es en absoluto una ciencia exacta. Gran parte de la producción de los modelos de mercado financiero es, naturalmente, vigilada con la esperanza de que pueda ser ventajosa para sus propietarios y sus clientes. Pero, al mismo tiempo, a los economistas de inversión les gusta mantener un perfil público con fines de mercadotecnia, y los medios de comunicación a menudo piden su opinión sobre los últimos desarrollos macro económicos.

Hay muchos tipos de técnicas de pronóstico económico. Estas técnicas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Predicción con modelos de regresión lineal y no lineal.
- Predicción con intervalos de confianza, series temporales incluidas estacional, ARIMA, exponencial y estocástica.

Durante algunas décadas, han surgido técnicas de pronóstico de inteligencia artificial, incluyendo modelos difusos, modelos de redes neuronales, sistemas expertos, modelos metaheurísticos, modelos de teoría gris y modelos integrados de estos.

Realizar Pronósticos del comportamiento de un sistema complejo ha sido un amplio dominio de aplicación para redes neuronales. En particular, como el pronóstico de carga eléctrica (Connor, Martin, & Atlas, 1994), (Park et al., 1991), el pronóstico en economía (Refenes & Azema-Barac, 1994), fenómenos físicos naturales (Weigend, 2018), predicción del flujo de un río (Atiya, El-Shoura,

Shaheen, & El-Sherif, 1999), y el pronóstico de la admisión de estudiantes en universidades (Puri & Kohli, 2007) han sido ampliamente estudiados.

Además de la predicción basada en redes neuronales, el pronóstico de series temporales difusas surgió como un enfoque para predecir los valores futuros en una situación en la que no se visualiza una tendencia ni se visualiza un patrón en variaciones de series temporales, además la información (datos) es imprecisa. A pesar de la subjetividad de establecer las variables descriptivas, las aplicaciones del modelo de lógica difusa han sido ampliamente exitosas en muchos campos de la ingeniería, particularmente en situaciones donde hay mucha incertidumbre en las relaciones entre las variables de entrada y los resultados de salida. Por ejemplo, (Song & Chissom, 1993) aplicaron sus modelos de variante de tiempo e invariante de tiempo desarrollado en los datos históricos de series de tiempo de inscripciones de estudiantes de la universidad de Alabama. (Chen, 1996) aplicó el modelo de serie de tiempo difuso de alto orden para pronosticar las inscripciones y encontró algunos puntos de ambigüedad respecto de las tendencias en el pronóstico y sugirió usar lógica difusa para tratar la ambigüedad Joshi, (2006) aplicó los modelos de series temporales difusas para la predicción de la producción agrícola.

A continuación, se hace una exposición de varias técnicas para hacer predicción usando diferentes enfoques:

Pronóstico utilizando redes neuronales

En (Azadeh & Tarverdian, 2007) presentaron un enfoque de red neuronal artificial integrada para predecir la radiación solar global por variables climatológicas.

La red neuronal entrena y prueba datos con un enfoque de percepción de múltiples capas que tiene el menor error de porcentaje absoluto medio. El enfoque propuesto es particularmente útil para ubicaciones donde no hay equipos de medición disponibles. Además, considera todos los parámetros climatológicos y meteorológicos relacionados como variables de entrada.

En (Sedki, Ouazar, & El Mazoudi, 2009) investigaron la efectividad del algoritmo genético desarrollado por la red neuronal para el pronóstico de agua de lluvia y su aplicación para predecir la escorrentía en una cuenca situada en un clima semiárido en Marruecos. Para predecir la escorrentía en un momento dado, las variables de entrada son la lluvia y los valores de escorrentía observados en el período de tiempo anterior. Su metodología adopta una estrategia real de algoritmo genético codificado e híbrida con un algoritmo de propagación de retorno.

En (Uwamahoro, McKinnell, & Cilliers, 2009) presentaron el desarrollo de un modelo para predecir el ciclo solar usando una red neuronal. El modelo se proporciona con los parámetros de entrada de tiempo que definen el año y el mes de un ciclo solar particular, con el fin de caracterizar el comportamiento temporal de las manchas solares como se observó en los últimos 10 ciclos solares.

En (Lee & Ou-Yang, 2009) desarrollaron un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales con la aplicación de pronosticar los precios de oferta del proveedor en el proceso de negociación de selección de proveedores.

En (Tsai, Lee, & Wei, 2009) propusieron dos nuevas estructuras de redes neuronales para el pronóstico de demanda de pasajeros ferroviarios a corto plazo. La primera estructura de red propuesta es una red neuronal de unidades temporales múltiples, que trata con

información de entrada distintiva a través de conexiones designadas en la red. La segunda estructura de red propuesta es una red neuronal de conjunto paralelo, que trata con información de entrada diferente en varios modelos individuales.

En (Xiao, Ye, Zhong, & Sun, 2009) presentaron un enfoque de red neuronal de propagación hacia atrás con un conjunto aproximado de pronósticos complicados de carga a corto plazo con factores dinámicos y no lineales para desarrollar la precisión de las predicciones.

Pronóstico utilizando Teoría Gray

(Hamzaçebi, Akay, & Kutay, 2009) realizaron pronósticos usando métodos directos e iterativos, y los resultados de los métodos se compararon utilizando un análisis relacional gris para encontrar el método que da un mejor resultado.

(Hsu & Wen, 1998) propuso un modelo Gray con técnicas de análisis factorial para tratar los problemas de predicción de factores múltiples. En el modelado de grises, el uso de algoritmo genético tiene la capacidad de buscar una solución óptima global para construir dos modelos mejorados de predicción de grises multivariados que fueron AGAGM (1, N) y GAGM (1, N). Estos dos modelos se aplicaron para pronosticar la salida del circuito integrado.

(Zhou, Ang, & Poh, 2006) presentan un enfoque de predicción gris trigonométrica combinando el modelo gris tradicional GM (1, 1) con la técnica de modificación residual trigonométrica para pronosticar la demanda de electricidad.

(Yao, Chi, & Chen, 2003) presentan un algoritmo de predicción basado en teoría Gray mejorado para pronosticar una demanda de energía eléctrica a muy corto plazo para el control de la demanda de electricidad.

Adoptan la predicción de Gray como un medio de pronóstico.

Pronóstico utilizando la teoría de conjuntos difusos

(Liu, 2009) desarrolló un sistema integrado de pronóstico de series difusas en el que el valor pronosticado sería un número difuso trapezoidal en lugar de un valor de un solo punto. Además, este sistema podría tratar eficazmente con series temporales estacionarias, de tendencia y estacionales y aumentaría la precisión del pronóstico. Se seleccionaron dos conjuntos de datos numéricos para ilustrar el método propuesto y se comparó la precisión del pronóstico con cuatro métodos de series temporales difusas. Los resultados de la comparación mostraron que el sistema podría producir valores pronosticados más precisos que los de cuatro métodos.

(Leu, Lee, & Jou, 2009) propusieron un nuevo modelo de serie temporal difusa denominado series de tiempo difusas basadas en la distancia para predecir el tipo de cambio. A diferencia de los modelos de serie temporal difusa existentes que requieren una correspondencia exacta de las relaciones de lógica difusa, el modelo de serie temporal fuzzy basada en la distancia utiliza la distancia entre dos relaciones de lógica difusa al seleccionar las reglas de predicción.

(Yao et al., 2003) presentó un nuevo método para pronosticar inscripciones basadas en técnicas de agrupación automática y relaciones lógicas difusas.

Lu y Wang (2009) propusieron un modelo mejorado de regresión difusa lineal, en el que los márgenes de las variables dependientes estimadas pudieron ajustarse a los márgenes de las variables dependientes observadas, independientemente de si los márgenes de las variables dependientes observadas se incrementaron, disminuyeron o no se modificaron a medida que cambian las magnitudes y los márgenes de las variables independientes.

(Lai, Fan, Huang, & Chang, 2009) estableció un novedoso modelo financiero de series de tiempo financieras mediante la evolución y agrupamiento del árbol de decisiones borrosas para acciones en la Corporación de Bolsa de Valores de Taiwán. El modelo de pronóstico integró una técnica de agrupamiento de datos, un árbol de decisiones difusas (FDT) y GA para construir un sistema de toma de decisiones basado en datos históricos e índices técnico.

Técnicas de pronóstico económico

Dos tipos de métodos de pronóstico son:

- Métodos cuantitativos que incluyen regresión simple, regresión múltiple, tendencias de tiempo y promedios móviles.
- Métodos cualitativos que incluyen el método Delphi, la técnica de grupo nominal y otros.

Pronóstico por regresión

Un modelo de regresión simple es una fórmula que describe la relación entre una variable descriptiva y una variable de respuesta. Estas fórmulas son fáciles de explicar; sin embargo, el análisis es sensible a cualquier valor atípico en los datos (Devore, 2007). La regresión

múltiple es un método estadístico para estudiar la relación entre una sola variable dependiente y una o más variables independientes. Es la técnica estadística más utilizada en las ciencias sociales. También es ampliamente utilizado en las ciencias biológicas y físicas (Allison, 1999).

A continuación, se presentan técnicas de pronóstico por análisis de regresión.

Supongamos que tenemos algunos datos (x_i, y_i) , $1 \leq i \leq n$ en dos variables x e y . Los valores de x se conocen de antemano e y es una variable aleatoria. Suponemos que no hay incertidumbre en los datos x . El valor futuro de y con certeza no se puede predecir, por lo que nos centramos en la media de y , $E(y)$. Tenemos una suposición de que $E(y)$ es una función lineal de x . Se puede formular de la siguiente manera (Buckley, 2005):

$$E(y) = a + b(x - \bar{x})$$

En esta fórmula, \bar{x} es el valor medio de la x y no es un conjunto difuso. El modelo de regresión es como se muestra en:

$$y_i = a + b(x_i - \bar{x}) + \epsilon_i$$

Donde ϵ_i es independientes y $N(0, \sigma^2)$ con σ^2 son desconocidos. La ecuación de regresión básica para la media de y es $y = a + b(x - \bar{x})$ y deseamos estimar los valores a y b . Necesitaremos el $(1 - \beta)$ intervalo de confianza del 100% para a y b . Deberíamos determinar los estimadores de puntos rizados de a , b y σ^2 .

El estimador de rizado de a es: $\hat{a} = \bar{y}$, la media de los valores de y_i . Para b es B_1/B_2 , donde:

$$B_1 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})$$

$$B_2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Finalmente:

$$\sigma^2 = (1/n) \sum_{i=1}^n (y_i - a - b(x_i - x))^2$$

Predicción por series de tiempo

Las series de tiempo se pueden definir como una secuencia ordenada de valores de una variable a intervalos de tiempo igualmente espaciados. El análisis de series de tiempo se usa para muchas aplicaciones tales como: pronóstico económico, pronóstico de ventas, análisis presupuestario, análisis bursátil, proyecciones de rendimiento, control de procesos y calidad, estudios de inventario, proyecciones de cargas de trabajo, estudios de utilidad, análisis censales, entre otras. ¿Qué intentan comprender tales series de tiempo? A menudo para comprender el contexto subyacente de los puntos de datos (¿de dónde vienen? ¿qué los generó?), o para hacer pronósticos (predicciones). La previsión de series temporales es el uso de un modelo para pronosticar eventos futuros basados en eventos pasados conocidos: pronosticar puntos de datos futuros antes de que se midan. Un ejemplo estándar en econometría es el precio de apertura de una acción en acciones basada en su desempeño pasado.

Métodos de suavizado

Promedios móviles: el modelo de promedio móvil para suavizar la demanda histórica, como su nombre lo indica, al promediar un número seleccionado de períodos pasados de datos. El promedio se mueve porque se puede calcular un nuevo promedio cada vez que se determina la demanda de un nuevo período. Cada vez que se necesita un pronóstico, se usa el historial de demanda más reciente para hacer el promedio (Vollmann, Berry, & Whybark, 1988).

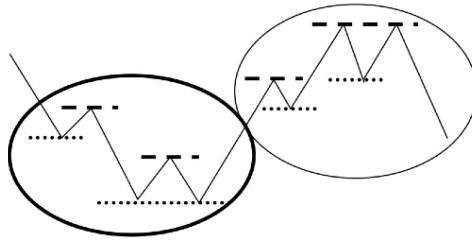
Suavizado exponencial: el método de suavizado exponencial es una variación del promedio móvil ponderado. Utiliza una curva de ponderación exponencial para desarrollar el mecanismo de ponderación. Por lo tanto, los pesos se aplican de forma sistemática, eliminando la necesidad de opiniones críticas. El método de suavizado exponencial es probablemente el más utilizado entre los administradores de logística sofisticados (Blumberg, 2004).

Serie temporal estacional: la estacionalidad es el patrón periódico y en gran parte repetitivo que se observa en los datos de series de tiempo a lo largo de un año. Como tal, es en gran medida predecible (Hylleberg, 1992). proporciona una definición generalmente aceptada de estacionalidad en el contexto de la economía de la siguiente manera: "La estacionalidad es el movimiento sistemático de la capa intermedia, causado por los cambios del clima, el calendario y el momento de las decisiones, directamente o indirectamente a través de las decisiones de producción y consumo tomadas por los agentes de la economía. Estas decisiones están influenciadas por las dotaciones, las expectativas y preferencias de los agentes y las técnicas de producción disponibles en la economía". Esta definición implica que la estacionalidad no se fija necesariamente en el tiempo, a pesar del hecho de que el calendario no cambia.

Aplicación a la investigación

Revisando las características de las series de tiempo en los mercados de acciones, se puede decir que mediante el chartismo (análisis de gráficos financieros) se establecen los conceptos básicos de la variable a analizar. Como ejemplo se puede tomar el precio de las acciones; analizando la Fig. 1 de la siguiente manera:

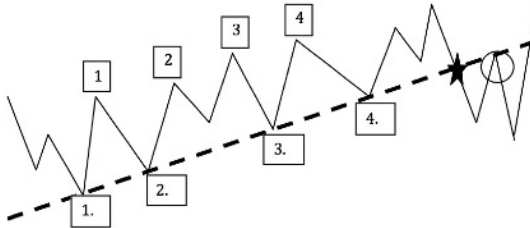
Figura 1. Concepto de variación



Según la Fig. 1 El mercado bajista está encerrado con el contorno remarcado. El mercado alcista está encerrado en el contorno ligero. Los soportes son las líneas punteadas con círculos negros; esto demarcan la tendencia en el movimiento bajista, dando la posibilidad de rebotar a un alza, es decir que la demanda de precio es destacada a la oferta del precio. Por otro lado, las líneas punteadas con rayas reflejan el alza del mercado, en el cual la oferta es superior a la demanda.

Las apreciaciones de los precios se pueden desarrollar bajo un tiempo $t(n)$, donde permita tener una medida apropiada, hállese de un día en adelante. Explicando que un mercado se denomina alcista o dado al alza, o que el precio tiene la tendencia a estar superior del valor que se encuentra, es cuando aparecen los máximos referentes (1,2,3,4) en la que son cada vez más altos y los mínimos referentes (1.1,2.2,3.3,4.4) en la Fig. 2 que a su vez se dan cada vez más altos que los anteriores. Generando así una línea de tendencia la cual rompe, el soporte de la tendencia del precio, dando origen a una nueva tendencia, este origen dentro del mercado accionario se denomina pull back.

Figura 2. Tendencia de precios



No obstante, el mercado bajista o de tendencia a la baja su comportamiento es totalmente lo contrario al anterior, con los mismos indicadores y referentes contextuales, indicados para la baja.

Análisis gráfico

Teniendo en cuenta el comportamiento del mercado de valores, y basándose en series de tiempo se obtienen una gráfica como se ilustra en la Fig. 3

Figura 3. Gráfica del comportamiento de una acción



Dado lo que se tiene en la Fig. 3, se puede pensar en un modelo de regresión, el cual da la posibilidad que una variable (acción #1) independiente se encuentre en relación o en comparación de otra variable (acción #2) independiente, de acuerdo a su comportamiento en el mercado (Bolsa de Valores). La variable acción # 1, tendrá en cuenta el error aleatoriamente dentro de la media constante siendo esta igual a cero. Y su B se reflejará donde el nivel de riesgo se mantenga en la tendencia de su volatilidad. Dentro del mercado accionario independiente generando una única varianza. De esta misma manera será el comportamiento de la acción #2. Al relacionar estas dos variables generaran una covarianza de comportamiento dentro del mercado accionario, pero este mismo no incide en la actuación independiente de la variable dentro del mercado.

Se tiene entonces que: Media de la variable independiente.

$$x = (\sum_{i=1}^n x_i) / N$$

Varianza de la variable independiente.

$$\sigma^2 = ((x_1 - x)^2 + (x_2 - x)^2 + \dots + (x_n - x)^2) / N$$

$$\sigma^2 = (\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2) / N$$

Covarianza de las dos variables independientes dentro del mercado:

$$\sigma_{xy} = (\sum_{i=1}^n x_i y_i) / N - \bar{x} \bar{y}$$

Beta, nivel de riesgo.

$$\beta = \text{COVAR}(\text{Mercado}, \text{Accion}) / \text{VAR}(\text{Mercado})$$

Teniendo las anteriores ecuaciones, dentro del mercado accionario se maneja el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model)(Dubova, 2005), que sirve para calcular el precio de un activo o un pasivo. Este modelo admite establecer la tasa de retorno requerida para una variable independiente, en esta investigación se busca que la variable sea la cantidad de congestión que puede experimentar una red. De manera que este tipo de análisis permite hacer una estimación del comportamiento de la variable dado el histórico de datos que se van analizando en los periodos de medición.

Se considera que el modelo CAPM esté definido por:

$$E(r_i) = r_f + \beta_{im} (E(r_m) - r_f)$$

$E(r_i)$ es la tasa de rendimiento esperado de capital sobre el activo i

β_{im} es la cantidad de riesgo

$(E(r_m) - r_f)$ es el exceso de rentabilidad

(r_m) Rendimiento del mercado

(r_f) Rendimiento de un activo libre de riesgo

Modelos ARIMA

El objetivo es proporcionar herramientas útiles para extraer y extrapolar información relevante de los datos disponibles de una manera sólida y directa. Se hace hincapié en el desarrollo de su intuición con respecto a las técnicas presentadas y en el proceso de construcción del modelo asociado con los datos de series de tiempo. La atención se centra en la implementación de modelos de predicción univariante o de una sola serie a la vez.

La herramienta principal de pronóstico presentada es una función de transferencia polinómica racional. Este enfoque de modelado también se conoce como modelos ARIMA. La función de transferencia ha demostrado ser un caballo de batalla en una amplia gama de aplicaciones de pronósticos y series de tiempo basadas en inferencias.

También proporciona un marco potente y flexible que se adapta fácilmente a las relaciones dinámicas (por ejemplo, retrasos, cambios y persistencia entre las entradas y la variable dependiente).

El modelo de función de transferencia polinomial racional también proporciona otras ventajas prácticas.

La operación de pronóstico podría enfrentar una situación donde los datos sobre variables independientes importantes no están disponibles o no son confiables. Esto a menudo se manifiesta en los residuos del modelo de series de tiempo. La serie de errores del modelo puede presentar variación o correlación sistemática.

Las especificaciones de la función de transferencia se pueden ampliar y refinar fácilmente con Auto-Regresivo (AR) o términos de Promedio Móvil (MA) para disminuir la correlación en los residuos del modelo. Es decir, este modelo se puede usar para construir un modelo de variación sistemática en los datos.

Los enfoques de modelado multivariante (en la variable dependiente o Y) son cada vez más utilizados. Otras familias de modelos de pronóstico incluyen modelos de suavizado exponencial (ESM), modelos de componentes no observados (UCM) y modelos de redes neuronales.

El propósito es brindarle una base para tomar decisiones informadas al comparar enfoques y modelos alternativos con las herramientas principales, o como en esta investigación hacer una adecuación del modelo para

describir otros fenómenos, como la congestión en redes de datos.

Independientemente de la familia de enfoque y modelo elegida, existe una metodología específica para construir modelos sobre series de tiempo. El proceso de modelado consiste en decidir sobre las posibles especificaciones del candidato (también conocido como identificación del modelo), la estimación del modelo, la generación del pronóstico y luego volver a la identificación para un mayor refinamiento según lo permita el tiempo.

Modelos ARMA

El conocimiento de cómo ha evolucionado el uso de modelos auto-regresivos (AR) puede ser útil para comprender cómo funcionan. La regresión "automática" indica que una variable se modela como una función de sus propios valores pasados. La idea de retroceder una variable en su pasado ha existido por mucho tiempo, pero no fue ampliamente utilizada en aplicaciones hasta que ocurrieron dos eventos:

Primero, Box y Jenkins juntaron la teoría de una manera sistemática y comprensible. Segundo, los econometrías tuvieron algo que ver.

En la década de 1970, los econometrías eran aficionados a la creación de grandes sistemas de ecuaciones estructurales para explicar y prever la actividad económica. Las "ecuaciones estructurales" usadas aquí significan ecuaciones con variables explicativas (por ejemplo, el ingreso nacional modelado como una función del gasto gubernamental, alguna medida de ahorro agregado, etc.). Estos sistemas de ecuaciones tenían tres características distintivas:

- Eran costosos de mantener y estimar (el número de parámetros a estimar era grande y la memoria del computador era costosa).
- Eran complejos.
- No pronosticaban muy bien.

Estaban bien para probar la teoría y otras actividades basadas en inferencias, pero la extrapolación es un problema diferente.

Los modelos AR se utilizaron más ampliamente como una alternativa de pronóstico al enfoque de ecuaciones estructurales. La motivación comienza con la siguiente idea; supongamos que no sabemos nada sobre qué entradas causan que se mueva alguna variable. Todo lo que observamos sobre una variable es su propio pasado, y que una parte de la variación es sistemática. Se puede usar un modelo AR para capturar la parte sistemática y luego extrapolarla. Nada podría ser más simple. Los modelos AR proporcionaron una forma menos costosa de crear pronósticos económicos, y los pronósticos AR fueron competitivos con los que las ecuaciones estructurales produjeron.

Modelos AR: conceptos y aplicación

La mayoría de los libros de texto de pronóstico comienzan la presentación de modelos AR con una discusión de procesos estacionarios y no estacionarios. En la aplicación discutida aquí, los términos AR se usan para aumentar el modelo de función de regresión o transferencia al refinar sus residuos. Comenzamos con dos preguntas:

¿Qué es un proceso estacionario de AR?

¿Cómo se especifica un modelo apropiado para capturar la variación sistemática?

Ideas

La característica más obvia de un proceso estacionario es que tiene una media bien definida. El tipo más simple de proceso estacionario es un proceso de ruido blanco.

Un proceso o serie de ruido blanco varía aleatoriamente alrededor de su media. El ejemplo de proceso de ruido blanco utilizado aquí son observaciones tomadas a lo largo del tiempo sobre las ventas semanales de zapatillas de tenis blancas (WTS). Debido a que las ventas de WTS varían aleatoriamente a lo largo del tiempo, observar que número superior al promedio se vende hoy en día realmente no brinda información adicional sobre lo que sucederá en el futuro. La mejor estimación o pronóstico para las ventas de la próxima semana es la media. Otra forma de pensar sobre esto es que las observaciones de la serie WTS no están correlacionadas. Una especificación de ruido blanco se parece a lo siguiente:

$$WTS_t = \delta + \epsilon_t$$

En la ecuación anterior, δ es el promedio de las ventas WTS, y ϵ_t se puede considerar como un sorteo aleatorio en el tiempo t a partir de una distribución normal que se centra alrededor de cero.

El siguiente tipo de proceso estacionario más simple es un pedido de AR, o AR 1. La serie de ejemplos de AR 1 es ventas semanales de tenis rojos (RTS). La orden 1 significa que las ventas de RTS en semanas adyacentes (retraso 1) están correlacionadas. El AR 1 indica que hay un componente sistemático en la variación en las ventas de RTS. En este caso, se puede observar que una cantidad de RTS superior a la media que se vende en la semana actual, indica algo acerca de lo que podría suceder la próxima semana. Debido a que las observaciones adyacentes están correlacionadas, hay más del 50% de posibilidades de que las ventas en la próxima semana también estarán

por encima del promedio. Una especificación AR 1 se parece a la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{RTS}_t - \mu &= \varphi_1 (\text{RTS}_{(t-1)} - \mu) + \varepsilon_t \\ \text{RTS}_t &= \varphi_0 + \varphi_1 \text{RTS}_{(t-1)} + \varepsilon_t \\ \varphi_0 &= \mu(1 - \varphi_1) \quad \mu = \varphi / (1 - \varphi_1) \end{aligned}$$

Donde μ es la media de las ventas semanales de tenis rojos, y el parámetro AR 1, φ_1 , regula la correlación entre las semanas adyacentes. Hay que tener en cuenta que el parámetro AR 1 no tiene un subíndice de tiempo. Esto indica que la “estructura” de correlación no cambia con el tiempo.

Aunque la ecuación 2a no es tan compacta como 2b, proporciona una ilustración de lo que está sucediendo en un proceso de AR 1. Una innovación o “salto”, lejos de la media de hoy ($t-1$) tiende a ser seguido por otro salto muy lejos de la media de la próxima semana (t).

La Ecuación 2b muestra la forma más común de escribir una especificación AR 1.

¿Por qué esta correlación en los datos de RTS y no de WTS? Podría ser el resultado de que RTS sea respaldado por una celebridad, y la correlación observada es el resultado de la aparición o no aparición de la celebridad en los titulares de los periódicos. Sin embargo, también podría ser un artefacto de la programación de producción, la actividad de promoción de un competidor, etc. El punto es que con los modelos AR no es necesario saber qué lo “causa”.

El enfoque es identificar la correlación o variación sistemática en los datos, estimar un modelo de AR que lo captura y luego usar ese modelo para extrapolar o pronosticar en un futuro.

Otros pedidos o retrasos de auto-correlación también son posibles y comunes en los datos de series temporales. Un ejemplo de un proceso de AR 2 podría ser las ventas de calzado de tenis negros. En este proceso, las ventas en semanas adyacentes (retraso 1), y en semanas con una semana de diferencia (retraso 2) están correlacionadas. Las ventas de calzado de tenis de temporada (STS, mostrado en la ecuación 4) pueden mostrar una correlación entre las 52 semanas de diferencia, así como una auto-correlación de orden inferior en el desfase 1. El proceso de STS se escribiría AR (1 52):

$$\begin{aligned} \text{BTS}_t &= \theta_0 + \theta_1 \text{BTS}_{(t-1)} + \theta_2 \text{BTS}_{(t-2)} + \zeta_t \\ \text{STS}_t &= \theta_0 + \theta_1 \text{STS}_{(t-1)} + \theta_{52} \text{STS}_{(t-52)} + \zeta_t \end{aligned}$$

Un par de notas sobre la terminología de modelado son útiles. La letra p se usa comúnmente para indicar el orden del modelo AR. Por ejemplo, el modelo AR 2 se puede describir como p=2.

Esta notación describe un modelo AR saturado, y significa que la serie BTS está auto-correlacionada en el desfase 1 y el desfase 2.

El modelo STS es en realidad un subconjunto de AR, y generalmente se denota con paréntesis de la siguiente manera: p=(1,52). Esta notación indica que la serie STS está auto-correlacionada en los rezagos 1 y 52, pero no en los rezagos 2,3,51. Tenga en cuenta que la duración del ciclo de la serie de tiempo para los datos semanales generalmente se supone de 52 semanas. El retraso de 52 semanas indica que las semanas se mueven juntas; la primera semana del año del año actual es la primera semana del año pasado, y así sucesivamente.

Identificación del modelo

Se han discutido series estacionarias autorregresivas (la serie no correlacionada, WTS, puede considerarse como AR 0 o $p=0$ en este contexto). Las siguientes preguntas son: ¿contiene la serie componentes sistemáticos que se pueden modelar como un proceso auto-regresivo y, de ser así, qué modelo de AR es apropiado? Debido a que las observaciones se mueven juntas en una serie auto-correlacionada, los saltos altos (bajos) lejos del valor promedio tienden a ser seguidos por más observaciones arriba (debajo) del promedio de la serie. Los datos auto-correlacionados tienden a verse diferentes a los datos no correlacionados. La correlación se manifiesta en grupos o conjuntos de observaciones por encima o por debajo de la media.

Sin embargo, incluso un analista con un ojo particularmente agudo para diferenciar datos correlacionados versus no correlacionados todavía se enfrenta a un problema de construcción de modelos.

El problema no es realmente diferente de seleccionar variables de entrada al construir un modelo de regresión. Seleccionar demasiados términos o retrasos de AR es equivalente a tener variables irrelevantes en una especificación de regresión. Tener muy pocos términos AR es análogo a omitir las entradas relevantes. Para los datos semanales, los retardos de AR relevantes pueden variar de 0 a aproximadamente 52. Un enfoque sería ajustar todas las combinaciones de retardos de 0 a 52 y luego confiar en un diagnóstico de ajuste para elegir el mejor.

Modelo utiliza en la investigación

Para empezar con ARIMA, es necesario conocer los modelos matemáticos que lo componen.

Modelos Autoregresivos (AR): Describe una clase particular de proceso en que las observaciones en un momento dado son predecibles a partir de las observaciones previas del proceso más un término de error. El caso más simple es ARIMA(1,0,0) o AR(1).

$$Y_t = \alpha_1 Y_{(t-1)} + a_t$$
$$Z_t = \sum_{j=1}^{\infty} \alpha_j Z_{(t-j)} + a_t$$

Modelo de promedios Móviles (MA): Describen una serie de tiempo estacionaria. En este modelo el valor actual puede predecirse a partir de las componentes aleatorias de este momento y, en menor medida los impulsos aleatorios anteriores ARIMA(0,0,1) o MA(1).

$$Y_t = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$
$$Z_t = \mu + \sum_{j=1}^{\infty} \theta_j a_{(t-j)}$$

ARIMA(p,d,q): es un modelo que permite describir un valor como una función lineal de datos como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar Se analiza sobre una serie estacionaria y se necesitan como mínimo 50 datos.



Congestión en redes de datos

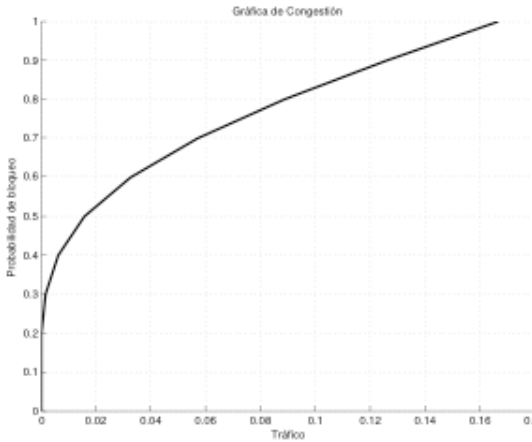
La congestión en redes de datos es un fenómeno que se ha vuelto inherente a esta tecnología, y se presenta en varias partes de la arquitectura de red. Empezando en los tamaños de los buffers de los routers, que son los encargados de hacer el enrutamiento de los paquetes. Estos buffers son limitados y se pueden modelar como un tipo de cola MM1N ∞ en donde el tamaño de la cola es N, que es un recuso limitado, de este modo cuando la cola se llena, se empieza a presentar una consecuencia conocida como pérdida de paquetes, que se puede medir como probabilidad del bloqueo.

$$P_B = P_N = \frac{(1-\rho) \rho^N}{(1-\rho^{N+1})}$$

En esta ecuación P_B representa la probabilidad de bloqueo de las llamadas telefónicas en una red conmutada o la probabilidad de descarte de paquetes. ρ es la intensidad de tráfico que cursa por las líneas telefónicas o flujo de paquetes. N es el número de canales o tamaño de los buffers en los sistemas de conmutación.

La ecuación de congestión representa la probabilidad de bloqueo de un modelo utilizado en el inicio de los sistemas de telefonía. En términos matemáticos modela el valor de la calidad de servicio que se podría dar a una red, dependiendo del tamaño del buffer. En el transcurso de la evolución de las redes de telecomunicaciones y específicamente redes de datos, la ecuación de congestión se ha adaptado para dimensional los recursos y satisfacer las necesidades de demanda los usuarios.

Figura 4. Concepto de congestión



Sin embargo, el tamaño de los buffers no es el único recurso que interviene en la congestión de las redes de datos, también está el nivel de procesamiento de los elementos de red y la capacidad de transportar información como, el ancho de banda de los enlaces entre los nodos. El ancho de banda es uno de los recursos más importantes en las redes de datos que afectan directamente la congestión. Esto se debe a que el ancho de banda es el aspecto principal en donde el transporte de paquetes se hace tangible y sobre el cual se puede medir la degradación del servicio.

Como se puede observar en la Fig. 4, la congestión se representa como una curva acumulativa que llega a un punto límite y después de ese punto límite se establece en un solo valor. Este es un ejemplo típico de como un canal se estabiliza al llegar al máximo de su capacidad.

Este comportamiento se puede replicar no solo en el caudal de los enlaces, también en las diferentes secciones de empalme de los enlaces de datos; por ejemplo, los cuellos de botella que se forman cuando existe el traspaso de la red de distribución a la red de acceso, ya que por arquitectura se cambia de medio de transmisión; como es el caso de las redes HFC (Híbrido Fiber Coaxial) que combinan la fibra óptica con los cables coaxiales.

Principales causas de la congestión

La congestión puede estar causada por problemas en los canales de datos, los cuales pueden ser físicos o lógicos. Los problemas físicos son más fáciles de corregir, ya que puede ser el cambio del medio de transmisión o un ajuste a los conectores de los elementos de la red, pero los problemas lógicos son aquellos que se presentan internamente en los dispositivos de red, por ejemplo, el mal dimensionamiento de los buffers en los enrutadores, lo cual hace que se descarten paquetes.

Al hacer una revisión de las arquitecturas más comunes de las redes de datos, es en los enrutadores en donde se presentan la mayoría de los problemas lógicos que causan la congestión. En estos dispositivos se están corriendo varios protocolos que tienen la misión específica de la transmisión de los datos. La administración de los tamaños de los buffers es una tarea crítica, ya que de esto depende el porcentaje de paquetes descartados. Por otro lado, se encuentra la regulación de las velocidades de transmisión y de recepción, así como la sincronización de los equipos. Si la transmisión no se hace en el mismo rango del receptor, el porcentaje de paquetes perdidos aumentará.

El ancho de banda o la administración del ancho de banda es otro factor que contribuye a la congestión, ya que este es el recurso más sensible de las redes de datos.

Es por este recurso donde se presentan flujos aleatorios que dependen de las diferentes aplicaciones ejecutadas en la red. Si los flujos son grandes y el ancho de banda pequeño, el descarte de los paquetes aumenta; si la situación es a la inversa, los paquetes descartados serán menores. Por consiguiente, la asignación de ancho de banda es una de las técnicas más poderosas para hacerle frente a la congestión; sin embargo, el ancho de banda es un recurso limitado, que en las redes de datos se traduce en costos de implementación (Chang, Lin, & Jin, 2009).

Varios autores (Jain, n.d.), (Lazasr & Pacific, n.d.) han llegado a una concertación de cuál es la definición de congestión es $\sum \text{demanda} > \text{Recursos disponibles}$.

Esta ecuación describe de manera sencilla el concepto de congestión si la demanda es mayor a los recursos disponibles. Cuando se habla de recursos se refiere a ancho de banda, tiempos de respuesta, tamaño de los buffers, nivel de procesamiento de los procesadores de los elementos de red entre otros. Aunque la ecuación no es la única forma de representa congestión en las redes de datos, si da una idea de cómo ejercer el control de congestión en una red. Una de las posibles soluciones a la congestión es el dimensionamiento de recursos en redes de datos.

Formas de control de congestión

Control de congestión con TCP

Los modelos de control de congestión se han concentrado sobre el protocolo de la capa de transporte TCP (Chang et al., 2009), (Chan, Lin, Chan, & Ho, 2008), (Rosberg, Matthews, & Zukerman, n.d.), de manera que las técnicas más utilizados son el control de flujo por ventana deslizante, la técnica AQM (gestión de colas

activas) (ans M. Shafiee & Dadlani, n.d.), control de admisión, y la gestión de tiempos de retardo. Todo esto se hace a través de diferentes cambios o versiones al protocolo TCP, empezando por TCP Tahoe y TCP Reno, los cuales modifican la retransmisión de los paquetes ACK o confirmaciones.

Estas modificaciones a TCP han llevado a estudiar nuevas formas de hacer el control de congestión, que se han concentrado en los estados de transmisión, los cuales definen la forma en que se ejecuta el algoritmo. Esta secuencia se puede modificar de acuerdo a las necesidades del control que se quiera realizar sobre el flujo de los datos. Por ejemplo, en (Chang et al., 2009) los estados del TCP definen como el algoritmo de control de (Chang et al., 2009) congestión cambia, empezando por el estado arranque lento (slow start) para luego pasar al estado prevención de la congestión (congestion avoidance). Durante la transición el tamaño de la ventana de retransmisiones se ve afectada por el estado del enlace.

La idea principal de esta investigación es plantear un modelo de control, sin hacer ningún cambio en el protocolo, ya que conlleva a realizar un cambio en los tiempos de transmisiones, confirmaciones y retransmisiones de los elementos de red. Estos cambios podrían empeorar el comportamiento de la red LAN. Por tal motivo, se plantea un modelo que no cambie el protocolo en su estructura, sino que ayude a tratar el comportamiento de los elementos de la red, para que se adapten a los flujos de datos que se producen por los comportamientos aleatorios de los usuarios.

A continuación, se describen los aspectos fundamentales del control de congestión implementado por el protocolo TCP, de modo que se pueda tener una base de como es el funcionamiento del modelo de control de congestión propuesto en esta investigación.

La RFC 793 que describe el funcionamiento de TCP donde la ventana de control de congestión no es dinámica.

Las primeras variaciones que se implementan sobre el protocolo TCP es el ajuste de las tasas de transferencia al nivel de congestión actual que se presente en la red de datos. El objetivo de hacer esta reducción de la tasa de transferencia, es reducir el número de paquetes perdidos en los enlaces.

Los siguientes pasos de cambio que se da sobre el protocolo TCP da lugar a TCP Tahoe el cual modifica los algoritmos de arranque lento (slow start), prevención de la congestión (congestion avoidance) y retransmisión rápida. En TCP Reno se hace otra modificación que consiste en TCP Tahoe pero con una variación en el algoritmo de recuperación rápida (Tenga, Wang, & Mei Jinga, n.d.).

Las funciones principales que cumple el arranque lento y control de congestión son las de controlar las tasas de transferencia de paquetes generados y determinando la capacidad disponible de los enlaces de la red. Pero para lograr esto se hace un proceso sobre la ventana de congestión que por convención se le llama cwnd, la cual se define como el número de bytes que se puede transmitir sin necesidad de confirmación. Otro elemento a tener en cuenta es la ventana de recuperación llamada rwnd, la cual consiste en el número de bytes que el receptor tiene la capacidad de recibir de una fuente dada (Abed, Ismail, & Jumari, 2012), (Wang & Hsiao, 2010), (Scharf, 2011).

Para una conexión de dos elementos de una red, la actividad de transporte de información se puede describir de la siguiente manera:

- El transmisor asigna a cwnd el tamaño máximo.
- El transmisor inicia un temporizador de las retransmisiones

- El algoritmo de arranque lento envía un paquete o segmento si un ACK es recibido, entonces el valor de `cwnd` es incrementado en un segmento.

Luego dos segmentos pueden ser enviados y causar dos ACK.

Por cada ACK `cwnd` es incrementada en un segmento.

El proceso de crecimiento de la ventana de congestión es exponencial y permanece con este ritmo hasta que: se alcance el valor acotado por `rwnd` y se alcance el umbral establecido por el `ssthresh`.

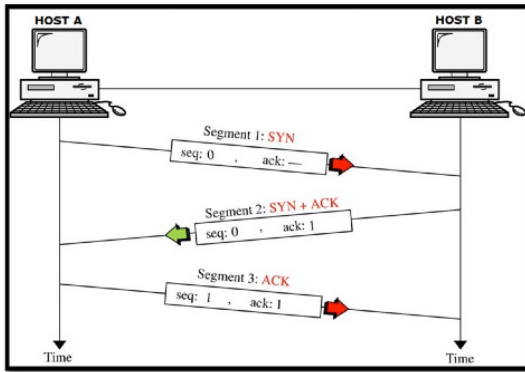
Se ejecuta el algoritmo prevención de la congestión cuando se alcanza el valor `ssthresh` y se incrementa el valor de `cwnd` en un segmento adicional, pero esta vez por cada ACK y por cada RTT.

Cuando ocurre pérdida de paquetes se regresa a arranque lento: se establece `cwnd` a un segmento y `ssthresh` a la mitad del tamaño de la ventana.

Lo que se pretende con los dos algoritmos es incrementar la tasa de generación de tráfico mientras no haya problemas y la capacidad de salida lo permita.

Un diagrama de estados puede dar una ayuda a comprender un poco mejor el funcionamiento de una conexión que está gobernada por TCP. Esto se puede observar en la Fig. 5

Figura 5. Diagrama de estado de una conexión TCP



Otros dos algoritmos que se han implementado en la evolución de TCP son retransmisión rápida (fast retransmission) y recuperación rápida (fast recovery). Estos dos algoritmos ayudan a TCP a detectar y reparar paquetes perdidos. Para hacer la reparación de paquetes se deben seguir los siguientes pasos:

Se reciben tres confirmaciones duplicadas

Cuando se infiere la pérdida, la recuperación rápida hace que el transmisor envíe nuevamente el paquete que parece ser el perdido, sin tener cuenta el temporizador.

Después de la retransmisión rápida, la recuperación rápida consiste en controlar la transmisión de nuevos paquetes hasta que llegue un ACK que no esté duplicado.

Cuando un nuevo ACK llega, se establece *cwnd* al umbral definido al inicio de la transmisión. Si no ocurre una nueva llegada, el transmisor permanecerá en fase recuperación rápida hasta que el temporizador expire.

Estos algoritmos permiten la recuperación rápida de paquetes que se han perdido esporádicamente. Sin embargo, puede haber problemas para la recuperación de múltiples paquetes.

Teniendo en cuenta lo anterior se crearon diferentes alternativas de TCP, las cuales han sido implementadas en redes LAN y redes WAN, de manera que se han obtenido mejores resultados en el desempeño de las diferentes redes. A continuación, se enumeran algunas de las variaciones más populares de TCP (Rosberg et al., n.d.), (Pei, Mu, Wang, & Yang, n.d.).

TCP Vegas: extiende el mecanismo de TCP Reno de retransmisiones. Se utiliza una constante de estimación de RTT para decidir la retransmisión en los dos sentidos. Utiliza una marca de tiempo.

Cuando un ACK duplicado sea recibido se observa si el intervalo de tiempo desde que el paquete fue enviado es superior al timeout del temporizador.

Si el ACK no es duplicado, se calcula nuevamente; si el intervalo de tiempo es superior al timeout, se considera que otros paquetes pueden haberse perdido y se retransmite dicho paquete. Se reduce cwnd si la retransmisión del segmento ocurrió después de la última reducción.

TCP SACK: modifica las fases de retransmisión rápida y recuperación rápida; para que pueda abordar múltiples paquetes perdidos en una única ventana, se hace un reconocimiento selectivo.

TCP New Reno: se implementa la variable recovery para distinguir un ACK completo de uno incompleto.

Sackable TCP: se basa en una métrica de pérdida de paquetes y para cada ACK recibido en un RTT se le asigna

a $cwnd$ el valor actual más un valor de 0.01. Si se produce la primera detección de congestión, se desarrolla la siguiente operación:

$$cwnd = cwnd - [0.125 \times cwnd]$$

FAST TCP: se utiliza el retardo calculado entre los enlaces como medida de congestión. El retardo de la cola de los diferentes elementos de la red puede ser mejorado estimando la probabilidad de pérdidas. FAST TCP asume que la dinámica del retardo en la cola tiende a comportarse en relación a la capacidad de la red. También se eliminan las oscilaciones de nivel de paquete, estabilizando la ventana cerca del punto donde el buffer es grande y el retardo pequeño

Técnicas alternas para control de congestión

Existen diversas formas de afrontar el control de congestión en redes de datos, se hace una inspección a trabajos con diferentes temáticas que se relacionan con el control de congestión. Los trabajos se pueden clasificar, basados en estabilidad, retardos, ancho de banda y algoritmos de enrutamiento. Estos temas son relevantes, ya que son parámetros que afectan de manera importante el comportamiento de las redes de datos, además de ser las características que definen el desempeño de la red. Se describen trabajos particulares, por ejemplo, la evaluación de la estabilidad de una red al ejercer control de congestión, otros tratan de tomar en cuenta como al controlar el ancho de banda, tiempos de retardo y tiempos de transmisión para hacer un control efectivo de congestión.

En (Steven H. Low, 2003) se propuso un método de optimización en el control de flujo de las redes de datos. El trabajo parte de hacer un tratamiento matemático

de un problema de optimización que trata de dividir un problema global en distintos problemas particulares. Se hace una comparación entre dos métodos distintos, uno con algoritmos síncronos y otro con algoritmos no síncronos; la diferencia entre estos algoritmos está en cómo son tratadas las fuentes generadoras de tráfico y los enlaces de la red. Por un lado, los algoritmos síncronos se basan en fuentes con CBR (Constant Bit Rate) o fuentes con una tasa constante de bits; por otro lado, los algoritmos asíncronos trabajan con fuentes ABR en donde el tráfico no es constante. Esto hace que ocurran cambios en la estructura del planteamiento en el problema de optimización. Se utilizan las técnicas de optimización de Lagrange, para solucionar el problema. Después de ejecutar los dos algoritmos, se hace un análisis de diferentes aspectos relevantes en el control, como justicia y variabilidad del tiempo en el ambiente de análisis.

Por último, se describe el procedimiento de la implementación del experimento realizado. Como conclusiones de este trabajo, se ve que los algoritmos convergen a un óptimo global sobre el control de flujo, siempre y cuando las condiciones de la red sean estáticas; bajo con condiciones dinámicas, el algoritmo puede funcionar dependiendo de qué tan rápido o lento varíen las condiciones. Esto hace notar que para obtener un buen resultado en el control de flujo o de congestión en redes IP, hay que tener pleno control de las condiciones y parámetros que componen la red. Sin embargo, los resultados obtenidos dan indicios de que se puede hacer un control óptimo, planteando y optimizando los recursos como ancho de banda y capacidad de congestión de los enlaces de comunicaciones. Los autores establecieron que las variaciones de las fuentes generadoras de tráfico también se pueden controlar, pero hay que hacer grandes esfuerzos en este campo.

Por otro lado, en (Kelly, 2008) se hace un estudio del éxito que ha tenido la actual red de internet y se explora el concepto de enlace extremo a extremo. De esta manera, se atacan muchos factores que contribuyen a solucionar preguntas sobre como es el transporte de los datos extremo a extremo. Se hace una descripción del modelo matemático de la red actual, con lo cual se busca sentar las bases para un análisis posterior de cómo se optimizaría dicha red. Luego se estudia como el protocolo TCP hace el control de congestión, haciendo énfasis en el tiempo de la RTT. Después se trabaja el concepto de estabilidad visto desde dos puntos críticos, la no estabilidad por los retardos retroalimentados y la no estabilidad estocástica que son dos condiciones que afectan un protocolo de control de congestión extremo a extremo. Por último, se desarrolla un algoritmo para el control de los dos tipos de inestabilidad que se estudiaron. Las conclusiones que plantea este trabajo se refieren a que se pueden encontrar técnicas que mejoren la estabilidad y el control de congestión en internet, con la ayuda de algoritmos de optimización que puedan abarcar los parámetros más relevantes como retardos de propagación, además de plantear sugerencias del tiempo de ejecución de la RTT. Estos resultados concluyen como se pueden atacar los problemas de saturación que aquejan a las redes de datos hoy en día, como la congestión de datos.

En otro trabajo (Anja Feldmann Anna C. Gilbert Polly Huang, 1999) se hace un análisis del comportamiento del tráfico en internet, utilizando como técnica principal wavelet, en donde se encuentra que el tráfico tiene una tendencia fractal en su estructura y de esta manera se puede decir que tiene un comportamiento libre de escala. Se describe de manera clara como es el comportamiento de la red y cuáles son los aspectos más importantes a tener en cuenta como: variabilidad producida por retardos, congestión, RTT como parámetro de control de congestión, control retroalimentado, control de lazo abierto, control de lazo cerrado, pesos en los enlaces de la

red, de esta manera tener un buen panorama para atacar diferentes aspectos de las redes actuales de datos. Se plantean las simulaciones correspondientes para probar cada uno de los parámetros mencionados.

En (Low, Paganini, & Doyle, 2002) se hace un completo resumen de los métodos actuales del control de congestión en Internet. Se hace una exploración de las diversas versiones del protocolo TCP en donde se mira con detenimiento cuales son los factores relevantes para el control de flujo, empezando por los tiempos de propagación, el tamaño de la ventana y los tamaños de los paquetes.

Se plantean modelos matemáticos que describen las políticas de encolamiento, como RED, FIFO, Drop tail, que son determinantes en la atención de los paquetes en los enrutadores. Se hace una propuesta de llevar las técnicas de control eléctrico a control de las redes de comunicaciones, plantear los sistemas retroalimentados, de manera que los retardos que ocurran ayuden a mejorar dinámicamente el transporte de los datos. Se hace un análisis de los factores como capacidad de los enlaces, topologías de enrutamiento y retardos en la red, los cuales deben ser controlados de manera especial, para prevenir la congestión en la red. Las conclusiones de este trabajo son interesantes ya que muestran una nueva forma de trabajar para controlar la congestión de las redes de datos actuales. Esta herramienta consiste en hacer el modelamiento de los factores que influyen como retardos, encolamientos, enfocándolos en la teoría de control eléctrico. Esta forma de tratar el problema de la congestión ayuda a tener un campo más grande de acción para poder proponer mejoras al transporte de datos en redes IP.

En (Dina Katabi Mark Handley, 2002) se habla sobre el problema que está atacando al protocolo TCP en el manejo del control de congestión, de modo que se han

propuesto nuevos parámetros que ayuden al TCP a mejorar los retardos en las confirmaciones, el control de flujo y el manejo del ancho de banda. Esto es posible ya que se dan las pautas de un nuevo protocolo llamado XCP que trabaja basándose en notificaciones explícitas de congestión; de este modo puede controlar el ancho de banda por donde los flujos de la red deben pasar. El XCP, maneja la teoría del control para dar estabilidad al sistema y no preocuparse por lo retardos retroalimentados. Se enumeran los pasos de la construcción del protocolo, en donde se definen módulos de operación como el control de eficiencia, el control de balanceo, la cabecera de congestión, el sender XCP, después se hace el estudio de la estabilidad y como paso final se ejecuta una simulación que ayuda a ver qué tan efectivo es el nuevo protocolo. Las conclusiones de este trabajo argumentan que la actual congestión que se presenta en el Internet es debido en gran medida a la asignación del ancho de banda en los enlaces entre nodos y que una forma de atacar este inconveniente puede ser variar los bits de la cabecera de los paquetes. Tomando estas ideas como base se planteó el protocolo XCP el cual utiliza un mensaje de congestión y decide con esa información por cual ruta transporta la información. Estos resultados son importantes, aunque solo son resultados simulados, pero dan pistas respecto a que la utilización de información de señalización que indique en que porcentaje está congestionado un enlace, es un buen método de control de congestión.

En (Lin & Shroff, 2004) se hace una descripción teórica sobre el control de congestión en redes de comunicaciones y se busca una región en el que el comportamiento de la red sea estable. Se hace el planteamiento del modelo de optimización distribuida que cubra las necesidades de las tasas de transferencia entre los nodos de la red, la demanda y los usuarios que impactan el desempeño. Para tomar las medidas necesarias se hace una contextualización de los resultados obtenidos de un ambiente real, la idea es establecer los parámetros fundamentales del modelo

de optimización, es decir, la función de utilidad con sus respectivas restricciones. Al encontrar la región de control se hace una suposición sobre la escala del tiempo en la cual trabajan los principales controladores de la red. Las conclusiones mostradas en este trabajo explican cómo se encontró la región de control de congestión, en donde las medidas de desempeño son mejores, igualmente se hace una anotación de que los métodos de optimización son de gran utilidad en el análisis de las problemáticas de las redes de datos. Estas conclusiones encontradas dan la guía necesaria para entender que el control de congestión va relacionado íntimamente con la estabilidad de la red y los parámetros que describen estos fenómenos que afectan a la red es mejor modelarlos con una función de utilidad para encontrar un punto óptimo de operación.

Por otro lado, en (L. Massoulie, 2000) se hace un estudio del modelo de tráfico para una red que presenta tráfico elástico. Se ha considerado dos tipos de tráficos uno elástico y otro streaming, en donde el streaming son todos los servicios de voz y video que se van descargando a un buffer temporal y se reproduce en secuencia. El tráfico elástico son los servicios en donde no es necesarios reproducirlos en línea, tal vez la transferencia de documentos escritos o con imágenes estáticas. El propósito de esa investigación consistió en hacer el análisis del ancho de banda que se deberá considerar cuando se está en la presencia del tráfico elástico. Primero se hace un estudio de la naturaleza aleatoria del tráfico y de qué manera esto impacta en el comportamiento de los anchos de banda de los enlaces. Se trabaja el concepto del ancho de banda compartido, de manera que se pueda dar mejores prestaciones al desempeño del transporte de la información. Una de las técnicas desarrolladas es el control de admisión, en donde dependiendo del tipo de flujo que se considera se puede ajustar el ancho de banda para transportar la información deseada. Las conclusiones dadas en ese trabajo muestran que se debe tener la mejor información acerca del comportamiento del tráfico

en la red, para de este modo hacer la mejor propuesta en el modelo de tráfico. El modelo que se propuso tenía como parámetros fundamental el control de admisión y el ancho de banda compartido.

Al hacer la revisión de los conceptos de control de congestión, se observa que hay varios métodos para ejercer un control efectivo de la congestión en las redes de datos. Las técnicas más comunes son hacer variaciones a los protocolos, hablando de TCP se plantean fórmulas de optimización sobre el tamaño de la ventana; por otro lado, se han diseñado otras formas de hacer el control como, por ejemplo, algoritmos de enrutamiento, formas de hacer el enconamiento en los enrutadores y manejo en las tasas de transmisión de las fuentes generadoras de tráfico. Los resultados de los diferentes esfuerzos establecen las bases de los futuros modelos de control de congestión, como en (Wang H.O & Griffin, n.d.), (Guan & Chen, n.d.), (Guan & Chen, 2005) también se muestran cuáles son los puntos a corregir, de modo que los nuevos modelos de control de congestión colaboren para un desempeño eficiente de la red de datos.

Ejemplo de control de congestión en una red LAN.

En esta sección se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para el diseño del modelo de control de congestión en una red LAN. Se hace la presentación del esquema global en donde se implementó el sistema de control. Se hace una descripción de la implementación de un controlador difuso, el cual es la base para las reglas de asignación de ancho de banda cuando se ejecuta el control de congestión. Por último, se exponen los procesos y acciones que se hicieron para la implementación del modelo de control de congestión sobre el ambiente controlado de pruebas.

Implementación del controlador de congestión

La propuesta del modelo de control de congestión se basa en realizar un control en los puertos de los switches que conforman la red de acceso a los usuarios del canal de datos de la red LAN. Teniendo en cuenta que son gestionables a través del protocolo SNMP, se puede proceder a controlar el ancho de banda de los puertos. Para lograr esto se debe hacer el diseño de un algoritmo que cumpla con las siguientes consideraciones:

- Recibir información de cual subred está congestionada.
- Buscar en la subred cual es el puerto donde se está generando la congestión.
- Controlar la velocidad del puerto siguiendo las reglas del controlador difuso.

Para lograr estos pasos, se propone una búsqueda sobre la topología de árbol o jerarquía que tiene la estructura de la red LAN. En un esquema típico de árbol, en donde existe un núcleo o equipo principal que tiene como función dar acceso a los usuarios y distribuir los recursos en los otros elementos de red. Este equipo principal está conectado a otros elementos denominados equipos de distribución, físicamente estos equipos son conmutadores de capacidad media y gestionables a través del protocolo SNMP. Los elementos de orden más bajo son los dispositivos de acceso, también son conmutadores que conectan a los usuarios con la red LAN.

La búsqueda que se propone debe tener una lógica que soporte algunos procedimientos en los elementos de la red. Se debe tener un equipo que registre las mediciones que se hacen en la búsqueda de los puertos donde se sospecha que existe congestión; además este mismo equipo tendrá la función de hacer el control físico en el

puerto. En donde se hará el control del ancho de banda. Los siguientes pasos son necesarios para controlar el ancho de banda en los conmutadores de acceso.

- Buscar el equipo que más tráfico este generando.
- Buscar el puerto en donde se conecta este equipo.
- Controlar el puerto.

El proceso que se diseñó para el funcionamiento del controlador; primero se debe tener un detector de congestión; este informador provee la información que viene del proceso de detección de congestión que se puede presentar en la red LAN. Básicamente la información dada corresponde al número de una subred que está congestionada; ya con esta información se sigue con el proceso del control que se ha definido iniciando la ejecución de la sesión de SPAN para la red congestionada. Luego se realiza una serie de operaciones que le permiten al controlador saber cuál es el host o la subred que más tasa de transmisión en bps (bits por segundo) está generando. Hay dos situaciones que pueden ocurrir:

El puerto en donde se escucha más tráfico esté conectado otro elemento de red, en este caso el controlador toma el número del puerto y empieza nuevamente a realizar el proceso de búsqueda del elemento que más tráfico genera.

En el caso de que se encuentra el puerto un equipo o host, se hace la asignación del ancho de banda.

Asignación de ancho de banda

Los resultados que se obtuvieron en el controlador difuso establecen que en condiciones normarles el ancho de banda se deja sin cambiar la capacidad. Las operaciones que se realizan son:

- Cuando la congestión aumenta, el ancho de banda se debe reducir.
- Cuando la congestión disminuye, el ancho de banda se debe normalizar.

Una vez que se tiene la concepción de cómo debe funcionar el modelo de control de congestión y como será soportado en la infraestructura de la red LAN, se define como se hace la asignación de ancho de banda en la red para hacer el control de congestión. El modelo consiste en realizar una variación del ancho de banda del puerto en donde se detecte la congestión. En tal caso se hace una medición de cuanto es el nivel de congestión (medio o alto) y se siguen las acciones dadas por el controlador difuso para hacer el control.

Es importante resaltar que se deben tener en cuenta las características físicas del conmutador. Una de esas características son las capacidades de anchos de banda con las que cuentan el conmutador. Para el caso del ambiente controlado el conmutador tiene los siguientes valores para configurar: 1Gbps, 100 Mbps y 10 Mbps. De modo que la asignación del ancho de banda debe variar en estos valores.

Al realizar la revisión de los resultados del controlador difuso y siguiendo el comportamiento de la variable de salida, como resultado se tiene que, en los casos extremos de detección de congestión, el porcentaje al cual se debía colocar el puerto para hacer la asignación del ancho de banda era del 50 %; esto tomando en consideración que las pruebas se realizaron con un porcentaje de utilización de menos del 20%. De modo que para las pruebas del ambiente controlado se ha considerado que cuando se detecte la congestión la asignación del ancho de banda se ejecute desde 1 Gbps, hasta 10 Mbps.

Aunque el modelo se ha diseñado para que funcione de manera genérica, las pruebas se realizaron en el ambiente controlado, pero tiene toda la flexibilidad para poder implementarse en cualquier red LAN, ya que desde el inicio se planteó que el modelo funcionara no sobre el protocolo sino en los elementos de red con poco impacto en el desempeño de los mismos.

Las consideraciones anteriores pueden ser tenidas en cuenta por un administrador de red sin hacer el análisis de congestión, lo novedoso del modelo es que se puede ajustar según lo requiera las condiciones de la red y de esta manera mejorar el desempeño de los enlaces en términos de throughputh efectivo. En los modelos estudiados se ve que en el protocolo de transporte TCP y sus diferentes versiones el control se hace por medio de optimización de los tamaños de ventana de transmisión. La gestión del buffer se hace en FAST TCP. Por otro lado, en TCP vegas se mejora los tiempos de retransmisión. El modelo propuesto en esta investigación hace la asignación del ancho de banda, vale la pena destacar que en esta oportunidad se reduce considerablemente la intromisión en los elementos de la red y en los protocolos de control de la red como IP y TCP.

Teniendo como referencia (L. Massoulie, 2000) y haciendo la comparación con el modelo de control de congestión implementado en esta investigación, se encuentra que el método de hacer la asignación de ancho de banda para ejercer un control de congestión sobre una red LAN es efectivo y apropiado. Por otro lado, la hacer la evaluación de las variables que intervienen en el análisis de dicha congestión, se observa que el tiempo de respuesta se convierte en un parámetro de importancia en el seguimiento de la congestión y se puede colocar como punto de referencia cuando se hace la asignación del ancho de banda.

Después de revisar el proceso de implementación del ambiente controlado, las pruebas de congestión y las pruebas de control de congestión haciendo la asignación de ancho de banda, se tiene que se ha generado una metodología de análisis sobre una red LAN de problemas que causan la saturación de la red. Se estudiaron variables que representan de manera adecuada el comportamiento de los usuarios de la red, para luego proponer una estrategia de control, que si bien fue implementado en un ambiente controlado puede ser migrado a redes LAN en producción real.





Modelo para toma de decisiones

Idea del modelo

En este capítulo se muestra la construcción de un modelo para agentes de software que le permita tener una aproximación a la toma de decisiones para realizar transacciones en mercados financieros (Pareja, 2013) y comercio electrónico. La propuesta se divide en dos partes, la primera es la descripción del modelo teórico de agentes, el cual se basa en la teoría de juegos de señalización dada por David Lewis (Lewis, 2008). Con este modelo teórico se hace una simulación mostrando las ventajas y desventajas en la toma de decisiones. La segunda parte es la descripción de la implementación de los agentes sobre la plataforma de negocios en su parte conceptual. Con estas descripciones se dejan las bases para que las implementaciones sobre negociaciones y transacciones en comercio electrónico en Colombia tenga una aplicabilidad en su diario vivir.

Por otro lado resulta importante ver que el comercio electrónico ha cobrado un auge desde la última década y cada vez se vuelve un campo de investigación más rico en temas desarrollo a partir de modelos integrados en transacciones comunes (Amandi, 2001), (Gariboldi, 1999), por ejemplo, el pago de facturas a través de portales web y su masificación con servicios bancarios orientado a manejar menos efectivo y más transacciones desde aplicaciones móviles (Krugman, Obstfeld, & Melitz, 2012).

Es así que el aporte es la formulación de un modelo teórico usando agentes y que se pueda implementar en servicios de comercio electrónico fácilmente en el manejo de los usuarios bancarios, ya sea personas naturales como grandes entidades como bancos y tiendas virtuales.

La distribución del capítulo es la siguiente es la siguientes: primero se hace una descripción del modelo teórico sobre de los agentes, acá se hace una presentación del concepto para la simulación del modelo. Luego se exponen las pruebas realizadas en la simulación y se discuten sus resultados. En la siguiente sección se muestra el modelo conceptual de implementación de los agentes en su forma computacional. Por último, se dan las conclusiones del capítulo.

Descripción del Modelo

(Modelo de juego de señalización con agentes). El modelo con el cual se trabaja en la investigación está basado en los estudios realizados por el filoso David Lewis, quien en su libro *Conventio* describe el uso de señales para realizar una comunicación entre diferentes agentes. En este modelo se busca encontrar una señalización adecuada para la comunicación entre un agente que conoce las condiciones del mundo exterior (Agente TX) y un agente que no conoce estas condiciones (Agente RX). El agente RX, basado en la señalización que obtiene del agente TX toma una decisión sobre las condiciones del mudo exterior (Estados del mercado). Este modelo sencillo se puede extender a diferentes contextos. Para la investigación que se lleva a cabo, lo interesante es medir las veces que se tiene éxito al tomar una decisión de acurdo con información obtenida del mercado y trasmitida de un agente a otro.

El juego de señalización de Lewis supone que los agentes ya tienen una convención acordada y que son racionales para seguirla. La idea del modelo es que los jugadores comienzan utilizando señales aleatorias para representar diferentes estados del mundo en este caso del mercado. A veces la comunicación falla: los agentes TX interpreta mal la señal y escoge un estado diferente. Pero cuando la comunicación tiene éxito, entonces la asociación entre el estado y la señal se refuerza. Con el tiempo, los jugadores convergen a una sola convención. A continuación, se muestra el modelo simulado en la herramienta Netlogo (Campero, n.d.), Fig. 6 en donde se hacen las pruebas de los experimentos. Los círculos azules representan los estados del mercado. Lo cuadrado representan las posibles señales que son tenidas en cuenta por el Agente TX y el Agente RX para realizar su comunicación. Si la comunicación es exitosa ambos agentes están contentos y la conexión entre ese estado y la señal recibida refuerza la señal recibida. El flujo del experimento se enumera a continuación,

Figura 6. Imagen del simulador con la representación del mercado y los agentes



Se selecciona un estado del mercado aleatoriamente. El círculo que corresponde al estado se resalta.

- El Agente TX percibe el estado del mercado. Esto es interpretado por la flecha gris entre el estado y el Agente TX
- El Agente TX elige una señal para comunicar el estado del mercado al Agente RX. Esto es interpretado por la flecha blanca
- El Agente RX percibe la señal elegida. Esto se representa con la flecha gris entre las señales y el Agente RX
- El Agente RX elige un estado del mercado, esta elección es en función de la señal que ha recibido.

Si el Agente RX selecciono el estado correcto, la flecha se pone verde y los agentes se ponen contentos. Cuando la elección es errónea, la flecha se pone roja y los jugadores se ponen tristes.

Esta representación escogida, es pensada en diferentes elementos que componen las transacciones comerciales. Un ejemplo, son las recomendaciones que se dan en las plataformas de compras en línea, en donde según las preferencias de los clientes se da un conjunto de posibilidades para realizar una compra. Otro ejemplo, son las estimaciones que tienen las plataformas de la bolsa de valores. Estas estimaciones son la información que se tiene sobre el valor de alguna acción comercial y se espera que los corredores puedan vender o comprar según el comportamiento de esa acción en el mercado bursátil.

Este proceso de simulación, es un proceso iterativo, con lo cual se busca tener una señal convergente y que refuerce la comunicación entre el Agente TX y el Agente RX.

De modo que, con el proceso de simulación, puede brindar la información para comprar, vender o realizar alguna transacción, teniendo en cuenta las variaciones de los estados del mercado.

Pruebas realizadas con el modelo

Una vez establecido los aspectos del modelo y cómo funciona la simulación, se realizan las pruebas sobre el comportamiento del modelo en varios escenarios. Lo que se busca probar con esta simulación son las siguientes premisas:

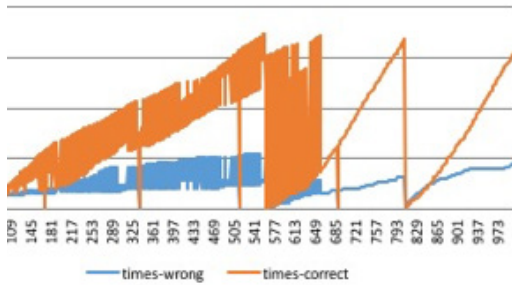
- A mayor número de señales con menor número de estados, mayor número de aciertos del Agente RX con los estados del mercado.
- A mayor número de estados y menor número de señales, menor número de aciertos del Agente RX con los estados del mercado.

La simulación se realiza con los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros de la simulación

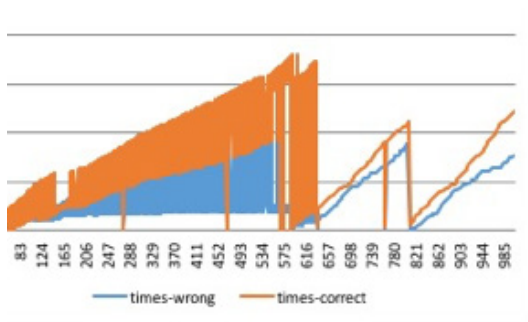
Nombre del modelo	Estados	Señales	Tiempo (s)	Figura
Modelo B	2	2	200	7
Modelo C	2	2	200	8
Modelo C2	2	3	200	9
Modelo D	2	4	200	10
Modelo E	6	4	200	11

Figura 7. Resultados del Modelo B



Los resultados que se muestran en la Fig. 7, corresponden al modelo B. La línea naranja corresponde a los aciertos correctos, mientras que la línea azul corresponde a los errores. El eje del horizontal representa la evolución en el tiempo de los resultados de las interacciones entre los dos agentes. El eje vertical representa el número de aciertos o errores. El resultado de la configuración de este modelo, indica que la evolución en el tiempo hace que la cantidad de aciertos sea mayor que los errores. Esto se traduce en las transacciones de negocios, que entre más tiempo y mayor número de transacciones se efectúen, las ganancias son mejor.

Figura 8. Resultados del modelo C



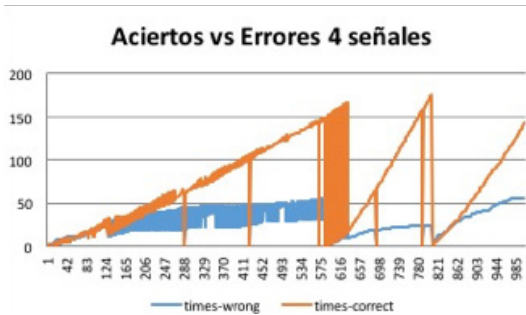
Los resultados mostrados en la Fig. 8 corresponden a la comprobación que se hace del modelo b. En la configuración de este modelo C, se ve que, a mayor tiempo, el número de aciertos es mayor que el número de errores.

Figura 9. Resultados del modelo C2



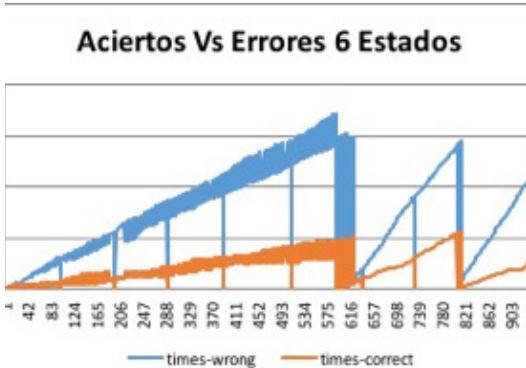
Los resultados que se obtienen la configuración del modelo C2, se dan gracias a que se aumenta el número de señales y se mantiene el número de agentes. Como se observa, la cantidad de aciertos es mayor a la cantidad de errores. Esto se traduce, a que el manejo de la información es importante, entre mayor sea la información con la cual cuenten los agentes de software, mejores decisiones pueden tomar para efectuar las transacciones comerciales.

Figura 10. Resultados del modelo D



Los resultados que muestran en la Fig. 10 es una comprobación al modelo C2. En la configuración del modelo D, se han usado 4 señales como información y como se esperaba, los aciertos son mayores a los errores.

Figura 11. Resultado del modelo E



Los resultados que se muestran en la Fig. 11 demuestra lo que puede pasar cuando exista una configuración en donde haya más estados que señales. Lo que ocurrió en este escenario es que el número de errores es superior al número de aciertos.

Esto se traduce en que, para el funcionamiento del modelo, la información de los estados del mercado tiene que ser suficiente para realizar la toma de decisiones por parte de los agentes de software.

Los resultados que se obtienen después de realizar las simulaciones corroboran las premisas que se tenían. Lo que se puede concluir desde el punto de vista de las simulaciones es que para reforzar la comunicación efectiva entre el Agente TX y el Agente RX, el número de señales tiene que ser mayor al número de estados del mercado. El comportamiento de las variables que se han medido son los números aciertos versus los número de errores cuando un Agente RX tiene que tomar una decisión. El refuerzo se da a través del tiempo. Esto quiere decir que entra más transacciones exitosas se tengan entre los agentes mayor va ser la probabilidad de tener éxito tomando una decisión.

Propuesta de implementación en plataformas computacionales

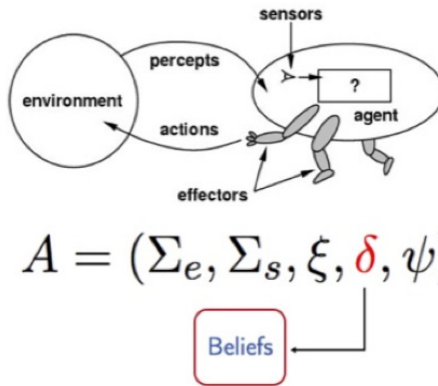
Una manera para realizar la implementación de este modelo, es a través de la implementación de agentes de software siguiendo el modelo de máquina de estado finita (Grimaldi, 1998). Existe una gran variedad de definiciones relacionadas con el concepto de agente artificial (Sierra & Debenham, 2013) al interior de las ciencias de la computación, sin embargo, a pesar de no existir una definición única, es posible encontrar algunos elementos comunes a todas ellas:

- Capacidad de percibir: habilidad para recopilar información de su entorno a través de sensores.
- Capacidad de actuar: habilidad para realizar acciones y modificar su ambiente de operación.
- Autonomía: habilidad para tomar decisiones y actuar de forma autónoma.

- Reactividad: habilidad para percibir su entorno y responder de forma oportuna a cambios emergentes.
- Proactividad: habilidad para reconocer las oportunidades existentes en su ambiente de operación.
- Habilidad Social: habilidad para interactuar con otros agentes y coordinar sus acciones para cumplir un objetivo particular.

Formalmente, un agente artificial puede ser definido mediante una máquina de estados finita como se muestra a continuación:

Figura 12. Modelo matemático agente de software



Para esta configuración se tuvo en cuenta el modelo matemático de Grimaldi de la máquina de estados finita. Por ejemplo, un agente calculador que procesa dos números y aplica una operación (+,-,x) se definiría de la siguiente forma:

Alfabeto de entrada que reúne todas las entradas posibles que el agente puede entender, aquellas entradas no contenidas en el alfabeto son inentendibles, para el caso de la calculadora las posibles entradas serían los números reales y los caracteres +, -, *, /.

Alfabeto de salida reúne las acciones del agente que serían los números reales resultado de las operaciones y mensajes de error; conjunto de estados son los posibles estados del agente como ?Esperando número? y ?Esperando Operador?;

Matriz de transición de estados, es la que configura los cambios de estado dependiendo de las percepciones

Matriz de salida, configura las reacciones dependiendo del dato de entrada y el estado actual del agente.

El beneficio de esta metodología base, es que todos los agentes tengan compatibilidad y puedan interactuar entre sí. Una posible implementación de este modelo de agente es flexible para las diferentes metodologías de software en las cuales se basan los desarrollos de aplicaciones actuales.

Conclusiones de este capítulo

En este documento se ha presentado una propuesta para la implementación de una plataforma tecnológica computacional, que funcione para la toma de decisiones en el ámbito de las transacciones de comercio electrónico. La propuesta se francio en dos partes, el modelo teórico para los agentes y la propuesta computacional para la implementación de los agentes en plataformas de transacciones electrónicas. El modelo teórico se basó en la teoría de juegos con señalización y los resultados de la simulación dan pautas a tener en cuenta para la puesta en marcha de los agentes de software.

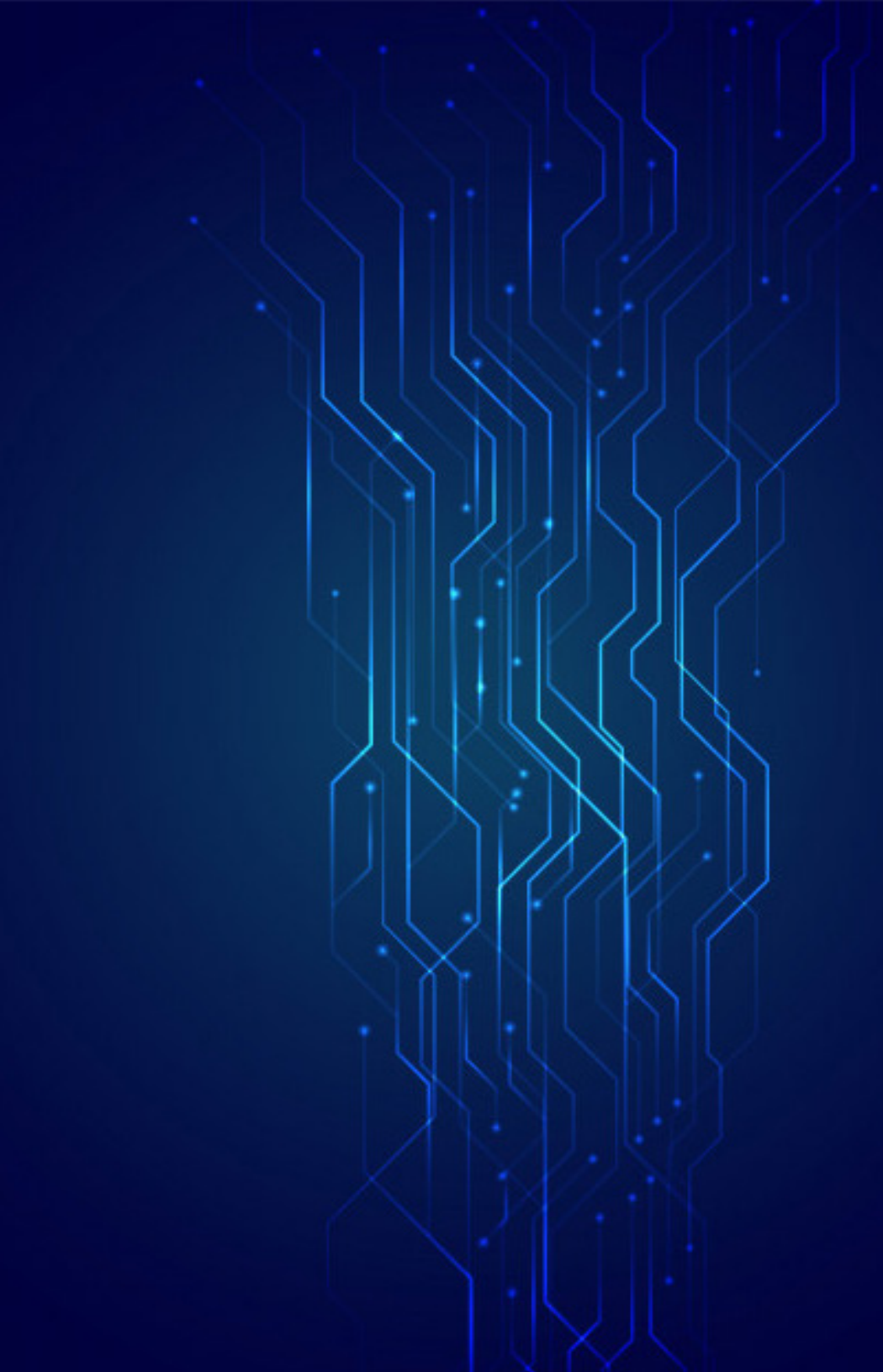
Estas pautas son las siguientes:

Antes de tomar una decisiones en una transacción, se debe tener en cuenta el tiempo que se lleva realizando negocios o transacciones entre dos entidades. El transcurso del tiempo ofrece un esfuerzo en la confianza y reputación de los implicados, esto hace que la probabilidad de éxito en un negocio sea alta.

La información del estado del mercado tiene que se ser suficiente para que se produzca una base solida de conocimiento del comportamiento de los estados del mercado. Esto implica que entre mejor y más informado estén los agentes de las transacciones que se llevan a acabo, la probabilidad de éxito es alta y por consiguiente las ganancias que se puedan obtener en una transacción particular.

Por otro lado, la estructura con la cual se ha formalizado el agente de software permite que los resultados obtenidos de la simulación se puedan implementar. En el arreglo de una máquina de estados finito, se puede modelar las operaciones entre los estados para que se tenga en cuenta el tiempo y reputación de otro agente con el que se quiera negociar. También se puede modelar la función de transición para que este en función del número de transacciones exitosas que haya tenido el agente con cual se está negociando.

Se ha formalizado una propuesta de un modelo para la toma de decisiones, el paso siguiente es empezar a realizar la implementación del modelo teórico con mayor número de variables que se relaciones con ambientes de negocios electrónicos recientes, un ejemplo interesante, puede ser, el histórico de negociación de una acción en el mercado bursátil. Además, con estos resultados, la implementación del software tendrá una base más amplia de requerimientos y con esto mejorar su funcionalidad.



Conclusiones

En este texto se ha presentado una propuesta de control de congestión, en donde se han fusionado dos conceptos importantes, por un lado, están los modelos econométricos como el modelo ARIMA que trabaja con series de tiempo calculando medias, varianzas y covarianzas. En la otra mano está el modelo conceptual de TCP, en donde se ha tomado su forma de trabajar el control de congestión basado en RED (random early detection). Tomando la analogía de la Bolsa de valores como una red de datos y las acciones de la bolsa como los servicios que producen tráfico en la red, se plantea el modelo en donde se encuentra un parámetro que es la tasa de desempeño de rendimiento para un activo; En esta investigación el parámetro que se modifica es n que es el número de flujos de tráfico en la red. Se han considerado tres variables de la red de datos TR, EC y PU y se hizo el experimento de saturar una red para observar el comportamiento de una de estas variables con el modelo ya adecuado en el sistema.

La construcción del controlador se hace a nivel conceptual, se puede ver que los dos modelos usados ofrecen una buena alternativa para ser la base de una metodología en el control de congestión.

Los resultados obtenidos presentan indicios de que el control de congestión funciona, con la modificación realizada, aunque solo se ha mostrado el comportamiento de una variable (TR) se espera que funciona con las demás. Por otro lado, la estrategia utilizada para hacer el control de tráfico es la variación de las tasas de transmisión que es un mecanismo utilizado, la forma en la cual se utilizan conceptos que funcionan en otras disciplinas es prometedora ya que se logra adecuar con éxito el modelo

econométrico. Se debe seguir realizando pruebas y mediciones sobre la red LAN y otros tipos de red de datos como Internet, esto con el ánimo de aportar herramientas para aliviar la congestión que se experimenta en la actualidad. A continuación, se exponen algunas notas relevantes sobre el control que se ha ejercido sobre la red de datos de prueba:

Se propuso y se hizo un modelo de control de congestión basado en un sistema de inteligencia computacional. Con este sistema se logra ejercer un control de congestión sobre un ambiente controlado emulando una red LAN. El sistema de inteligencia computacional que se diseñó fue un controlador difuso que dio las bases para la implementación del control de congestión.

El modelo de control de congestión se ha desarrollado para que funcione de manera general en cualquier arquitectura de red LAN, las pruebas que se realizaron fueron sobre un ambiente controlado que está constituido con una arquitectura soportada en equipos Cisco.

El ambiente controlado que se diseñó para ejecutar las diferentes pruebas está basado en un esquema similar a una red LAN corporativa de la Universidad Nacional, ya que cuenta con una jerarquía basada en capacidad de mayor a menor. Esta característica del ambiente controlado ha dado la facilidad de emular el ambiente real de la red LAN.

Las pruebas realizadas para forzar la congestión en el ambiente controlado, han dado como resultado una independencia entre las diferentes redes, es decir, que, si una subred está congestionada, no tiene por qué afectar el funcionamiento de las demás subredes. Esta cualidad también se observó en las pruebas realizadas a la red real de Universidad Nacional.

De modo que el ambiente que se diseñó garantiza unas condiciones muy similares a la red real y así los resultados del modelo de control diseñado es escalable a ambientes reales.

El diseño del controlador difuso es la base para la toma de decisión del modelo de control de congestión. Esto se debe a que el controlador difuso ha dado las pistas necesarias de cómo se debería comportar el controlador cuando debiera tomar la decisión de la asignación de ancho de banda. En el controlador difuso se evaluaron diferentes circunstancias en las cuales podría encontrarse la red a controlar, estas circunstancias fueron consignadas en la base de conocimiento del controlador difuso.

Una de las características que se buscaba en el modelo de control de congestión era que fuera efectivo cuando ejecutara su acción de control. Esto se logró ya que se hace una asignación de ancho de banda menor al puerto en donde está conectado el equipo que este causando la congestión, pero esta reducción solo afecta al equipo generador y no a los demás equipos de la subred.

El controlador al ser diseñado para trabajar sobre los elementos de red y no sobre los protocolos de control se hace flexible, de modo que se puede combinar con cualquier sistema de gestión de red, dado que se basa en el protocolo SNMP para su funcionamiento. El modelo de control sigue con las premisas de un sistema de gestión, maneja el paradigma gestor agente y una base de datos de administración, para el caso del modelo diseñado el gestor actúa en el servidor de aplicaciones web, el agente se ubica en el conmutador de acceso y la base de datos también se ubica en el servidor de aplicaciones.

Respecto al rendimiento de la red o las subredes cuando se ejerce el control de congestión se maneja un margen de buen desempeño de los puertos del conmutador, ya que la asignación del ancho de banda hace que los tiempos de respuesta de ese puerto aumente pero los demás tiempos de respuesta siguen sin modificarse, de manera que el modelo refuerza las políticas de equilibrio del conmutador y el desempeño se mantiene en un nivel adecuado.

Otro aporte del texto es el modelo de toma de decisiones. Este modelo toma los conceptos del comportamiento de agentes y como esto se puede adoptar en el uso de las transacciones de mercados. Además, se propone un modelo para la realización computacional de agentes de software con estos comportamientos de funcionamiento. La estructura del agente es flexible para una implementación transparente. De modo, que la idea de fusionar modelos y conceptos (Redes de telecomunicaciones y modelos econométricos) para un objetivo final es viable y funcional.

Recomendaciones

Una de las etapas posteriores de esta investigación es seguir adelantando pruebas sobre el ambiente controlado, pero teniendo mayores capacidades físicas sobre el conmutador de acceso, es decir tener más amplio rango de velocidad a controlar.

Hay otros recursos además del ancho de banda que se pueden controlar para dar alivio a la congestión en las redes de datos. En esta investigación solo se tuvo en cuenta la asignación de ancho de banda, pero hay otros recursos como tiempos de retransmisiones, capacidad de los buffers en los elementos de red (por ejemplo, de enrutadores) o manejo de capacidad de procesamiento de

dichos elementos. Se puede pensar en diseñar un modelo de control para cada uno de los recursos anteriormente mencionados o diseñar un modelo general que abarque todos los recursos. Pero un modelo de esta envergadura, tendrá una gran complejidad de diseño.

Los sistemas de inteligencia artificial son robustos para solucionar varios tipos de problemas complejos; en esta investigación que se basó un sistema de lógica difusa, pero también se puede pensar en desarrollar otros métodos de control basado en otras técnicas de inteligencia artificial, como por ejemplo, una red neuronal que puede evaluar más variables de interacción entre los elementos de la red o utilizar un diseño de agentes móviles inteligentes que puedan llevar información de un elemento de red a otro, mejorando el desempeño del control de la congestión.



Referencias

Abed, G. A., Ismail, M., & Jumari, K. (2012). Exploration and evaluation of traditional TCP congestion control techniques. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 24(2), 145–155.

Allison, P. D. (1999). *Multiple regression: A primer*. Pine Forge Press.

Amandi, A. (2001). Desarrollo de sistemas Multi-agentes. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 5(13), 33–35.

Anja Feldmann Anna C. Gilbert Polly Huang, W. W. (1999). Dynamics of IP traffic: A study of the role of variability and the impact of control. *SIGCOMM '99*.

R. B. ans M. Shafiee and A. Dadlani, "Adaptive generalized minimum variance congestion controller for dynamic tcp/aqm networks,"

Atiya, A. F., El-Shoura, S. M., Shaheen, S. I., & El-Sherif, M. S. (1999). A comparison between neural-network forecasting techniques-case study: river flow forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 10(2), 402–409.

Azadeh, A., & Tarverdian, S. (2007). Integration of genetic algorithm, computer simulation and design of experiments for forecasting electrical energy consumption. *Energy Policy*, 35(10), 5229–5241.

Blumberg, D. F. (2004). *Introduction to management of reverse logistics and closed loop supply chain processes*. CRC Press.

Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.

Buckley, J. J. (2005). Fuzzy statistics: hypothesis testing. *Soft Computing*, 9(7), 512–518.

Calyam P.; Krymskiy, D. S. M. S. P. (2005). Active and passive measurements on campus, regional and national network backbone paths. *Computer Communications and Networks*, 2005. ICCCN 2005. Proceedings. 14th International Conference on, 1, 537–542.

Campero, F. J. R. (n.d.). *Introducción a la programación en Netlogo*.

Chan, Y.-C., Lin, C.-L., Chan, C.-T., & Ho, C.-Y. (2008). Research, Innovation and Vision for the Future, 2008. RIVF 2008. *IEEE International Conference on. Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 1013–1029.

Chang, B.-J., Lin, S.-Y., & Jin, J.-Y. (2009). LIAD: Adaptive bandwidth prediction based Logarithmic Increase Adaptive Decrease for TCP congestion control in heterogeneous wireless networks. *Computer Networks*, 53(14), 2566–2585.

Chen, S.-M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81(3), 311–319.

Connor, J. T., Martin, R. D., & Atlas, L. E. (1994). Recurrent neural networks and robust time series prediction. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(2), 240–254.

Devore, J. (2007). *Making sense of data: A practical guide to exploratory data analysis and data mining*. Taylor & Francis.

Diebold, F. X. (1998). *Elements of forecasting*. Citeseer.

Dina Katabi Mark Handley, C. R. (2002). Congestion Control for High Bandwidth-Delay Product Networks. In *SIGCOMM '02*.

Dubova, I. (2005). La validación y aplicabilidad de la teoría de portafolio en el caso colombiano. *Cuadernos de Administración*, 18(30), 241–279.

Gariboldi, G. (1999). *Comercio electrónico: conceptos y reflexiones básicas (Vol. 4)*. BID-INTAL.

Granger, C. W. J. (2001). Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification* CWJ Granger. *Essays in Econometrics: Collected Papers of Clive WJ Granger*, 2, 119.

Grimaldi, R. P. (1998). *Matemáticas discreta y combinatoria: introducción y aplicaciones*. Pearson Educación.

Guan, X., & Chen, C. (n.d.). Adaptive fuzzy control for chaotic systems with H_∞ tracking performance.

Guan, X., & Chen, C. (2005). H Variable universe adaptive fuzzy control for chaotic system, 24, 1075–1086.

Hamzaçebi, C., Akay, D., & Kutay, F. (2009). Comparison of direct and iterative artificial neural network forecast approaches in multi-periodic time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3839–3844.

Hsu, C., & Wen, Y. (1998). Improved grey prediction models for the trans pacific air passenger market. *Transportation Planning and Technology*, 22(2), 87–107.

Hylleberg, S. (1992). *Modelling seasonality*. Oxford University Press.

Jain, R. (n.d.). *Congestion Control in Computer Networks: Issues and Trends*.

Joshi, R. (2006). *Development of fuzzy time series model for agricultural production forecasting*. Govind Ballabh Pant University of Agriculture and Technology; Pantnagar.

Kelly, F. (2008). Fairness and stability of end-to-end congestion control. *SIGCOMM Computer Communication Review*.

Krugman, P. R., Obstfeld, M., & Melitz, M. J. (2012). *Economía internacional: Teoría y política*. Pearson.

L. Massoulié, J. W. R. (2000). Bandwidth sharing and admission control for elastic traffic. *Telecommunication Systems*, 15, 17.

Lai, R. K., Fan, C.-Y., Huang, W.-H., & Chang, P.-C. (2009). Evolving and clustering fuzzy decision tree for financial time series data forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3761–3773.

Lazasr, A. A., & Pacific, G. (n.d.). Control of Resources in Broadband Networks with Quality of Service Guarantees.

Lee, C. C., & Ou-Yang, C. (2009). A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2961–2970.

Leu, Y., Lee, C.-P., & Jou, Y.-Z. (2009). A distance-based fuzzy time series model for exchange rates forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8107–8114.

Lewis, D. (2008). *Convention: A philosophical study*. John Wiley & Sons.

Lin, X., & Shroff, N. B. (2004). On the stability region of congestion control. In *Proceedings of the Allerton Conference on Communications, Control and Computing*.

Liu, H.-T. (2009). An integrated fuzzy time series forecasting system. *Expert Systems with Applications*, 36(6), 10045–10053.

Low, S. H., Paganini, F., & Doyle, J. C. (2002). Internet congestion control. *Control Systems, IEEE*, 22(1), 28–43.

Nino, L. F., Ardila, E., & Sanchez, J. F. (2013). Congestion control model for local IP networks. In *Communications and Computing (COLCOM), 2013 IEEE Colombian Conference on* (pp. 1–6).

Pareja, I. A. V. (2013). *Decisiones de inversión: para la valoración financiera de proyectos y empresas*. Pontificia Universidad Javeriana.

Pei, L. J., Mu, X. W., Wang, R. M., & Yang, J. P. (n.d.). Dynamics of the Internet TCP RED congestion control system.

Puri, P., & Kohli, M. (2007). Forecasting student admission in colleges with NEURAL networks. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(11), 298–303.

Refenes, A. N., & Azema-Barac, M. (1994). Neural network applications in financial asset management. *Neural Computing & Applications*, 2(1), 13–39.

Rosberg, Z., Matthews, J., & Zukerman, M. (n.d.). A network rate management protocol with TCP congestion control and fairness for all.

Rossi, D., Muscariello, L., & Mellia, M. (2004). On the properties of TCP flow arrival process. In *Communications, 2004 IEEE International Conference on* (Vol. 4, pp. 2153–2157). IEEE.

Sánchez, J. F., & Cobo, L. A. (2014). Theoretical model of congestion control in VANET networks. In *Communications and Computing (COLCOM), 2014 IEEE Colombian Conference on* (pp. 1–6). IEEE.

Sang, A., & Li, S. (2002). A predictability analysis of network traffic. *Computer Networks*, 39(4), 329–345.

Scharf, M. (2011). Comparison of end-to-end and network-supported fast startup congestion control schemes. *Computer Networks*, 55(8), 1921–1940.

Sedki, A., Ouazar, D., & El Mazoudi, E. (2009). Evolving neural network using real coded genetic algorithm for daily rainfall–runoff forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4523–4527.

Sierra, C., & Debenham, J. (2013). Building relationships with trust. In *Agreement Technologies* (pp. 485–507). Springer.

Song, Q., & Chissom, B. S. (1993). Forecasting enrollments with fuzzy time series—part I. *Fuzzy Sets and Systems*, 54(1), 1–9.

Steven H. Low, D. E. L. (2003). Optimization Flow Control, I: Basic Algorithm and Optimization Flow Control, I: Basic Algorithm and Convergence. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 1–5.

Tenga, Y., Wanga, H., & Mei Jinga, Z. L. (n.d.). A Study of Improved Approaches for TCP Congestion Control in Ad Hoc Networks.

Tsai, T.-H., Lee, C.-K., & Wei, C.-H. (2009). Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3728–3736.

Uwamahoro, J., McKinnell, L.-A., & Cilliers, P. J. (2009). Forecasting solar cycle 24 using neural networks. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71(5), 569–574.

Vollmann, T. E., Berry, W. L., & Whybark, D. C. (1988). *Manufacturing planning and control systems*. Irwin.

Wang, S.-S., & Hsiao, H.-F. (2010). TCP-friendly congestion control for the fair streaming of scalable video. *Computer Communications*, 33(14), 1578–1588.

Wang H.O, T. K., & Griffin, M. F. (n.d.). *An approach to fuzzy control of nonlinear systems: stability and design issues*.

Weigend, A. S. (2018). *Time series prediction: forecasting the future and understanding the past*. Routledge.

Xiao, Z., Ye, S.-J., Zhong, B., & Sun, C.-X. (2009). BP neural network with rough set for short term load forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 273–279.

Yao, A. W. L., Chi, S. C., & Chen, J. H. (2003). An improved grey-based approach for electricity demand forecasting. *Electric Power Systems Research*, 67(3), 217–224.

You, C., & Chandra, K. (1999). Time series models for internet data traffic. In *Local Computer Networks, 1999. LCN'99. Conference on* (pp. 164–171). IEEE.

Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2006). A trigonometric grey prediction approach to forecasting electricity demand. *Energy*, 31(14), 2839–2847.

