

UNA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE TRÁFICO DE UNA RED DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Susan Chen Mok

RESUMEN

El presente artículo presenta una propuesta de metodología para analizar el tráfico de una red de transmisión de datos basada en la simulación. Para realizar este estudio fue necesario crear un modelo del tráfico de una red utilizando un "software" de simulación de redes y un "software" de captura de tráfico.

Se propone una metodología basada en la simulación debido al auge que ha tenido esta técnica, además de las muchas ventajas que la hacen muy útil para el estudio del desempeño de las redes de computadoras.

ABSTRACT

This paper presents a methodology proposal based on simulation for analysing the network traffic for data transmission. For the completion of this study, it was necessary to create a model for the network traffic using a network simulation software and a traffic capturing software.

I propose a methodology based on the simulation because of the increased demand and the many advantages of this technique, which make it useful for the performance study of computer networks.

Introducción

Se desea un ambiente de red en donde la información fluya de y hacia los grupos de usuarios finales, es decir, un flujo de información de dos vías. Se requiere conocer cuál es el nivel de utilización actual de la red, y cuáles cambios afectaría, ya sea para mejorar o no, el nivel de utilización actual. También es importante conocer cuál es el tiempo de respuesta de las aplicaciones actuales, y cómo afectaría al desempeño de la red, la introducción de nuevos usuarios o nuevas aplicaciones. El problema se puede ver por dos lados: 1) el lado de la red y 2) el lado del usuario. Ambos son importantes.

Las preguntas son: ¿La red satisface las necesidades de los usuarios? ¿Permitirá la red la introducción de nuevas aplicaciones o de mayor número de estaciones?

En los siguientes apartados se explica la metodología, basada en la simulación, propuesta para el análisis de tráfico de una red, la cual consta de diez grandes pasos que se describen detalladamente. Esta metodología fue utilizada para llevar a cabo la creación del modelo y simulación del tráfico de una red de área local. En el trabajo de Law (1994) se puede encontrar la experiencia que ha tenido la técnica de simulación en el campo de las redes de computadoras.

La metodología

Antes de iniciar cualquier trabajo se considera importante un estudio preliminar en el que se investigue si existe la necesidad de realizar un estudio sobre el tráfico de la red o del desempeño de la misma. Si la necesidad existe, se debe plantear cuál es el problema que se desea

estudiar y si la técnica de simulación es válida para analizar el problema. Para el caso del planteamiento del problema puede consultarse el trabajo de Hernández y otros (1998).

Si se opta por el método de simulación para el análisis del problema, se deben conocer los recursos y las herramientas con los que cuenta la institución o empresa para llevar a cabo una simulación por computadora. Para esto se debe revisar si existen, en la institución, programas de captura de tráfico y de simulación de redes, además de apoyo en recursos humanos para el procesamiento de datos.

En el caso de que se opte por la simulación por computadora, y se cuente con el "software" de captura de tráfico y de simulación de redes, los siguientes pasos muestran la metodología basada en la simulación por computadora para el análisis de tráfico.

Estudio de los programas existentes

El primer paso es estudiar cómo funcionan los programas con los que se cuenta para la captura de tráfico y la simulación de redes.

Se debe destinar tiempo para familiarizarse con ambos programas, para hacer ejercicios prácticos con ellos, y revisar los manuales de usuario correspondientes. Esto con el fin de conocer las potencialidades de ambos programas y sus capacidades para realizar un estudio de desempeño de red o análisis de tráfico.

Para el trabajo realizado se utilizaron dos "softwares":

- el analizador de protocolos Landecoder 3.2, para la captura de tráfico real y
- el simulador de redes COMNET III, para modelar y simular el tráfico de la red.

El analizador de protocolos permitió capturar información de los paquetes que viajan a través de la red: tiempo de ingreso del paquete al canal, dirección fuente y destino, longitud promedio de paquete, utilización promedio del canal, etc.

El simulador COMNET III, permitió modelar y simular el tráfico de la red proveyendo información sobre el retraso de transmisión del paquete, tiempo de respuesta promedio de los paquetes, utilización del canal, intensidad de arribos de los paquetes al canal, etc.

Es importante analizar si el programa que se utilizará para la captura del tráfico de la red, provee información para los parámetros del modelo que se creará con el programa para la simulación. Esto es muy importante porque de ello depende la cantidad de procesamiento manual de los datos que se deberá hacer, la veracidad de la definición de los parámetros del modelo y el proceso de validación.

Identificación y definición del sistema por modelar

Aquí se realiza una inspección del sistema que se desea estudiar. Se identifica los componentes, atributos y actividades del sistema, y se define una primera aproximación del modelo del sistema que se desea estudiar.

El componente o entidad denota un objeto de interés en un sistema; el término atributo denota una propiedad de un componente. Un componente puede tener muchos atributos. Y la actividad es cualquier proceso que ocurre durante una longitud de tiempo finito y que causa cambios en el sistema.

En un sistema de red, generalmente los componentes serían: las estaciones, los concentradores, los conmutadores, el canal y cualquier otro dispositivo de red.

Los atributos de los componentes serían sus características, por ejemplo, un atributo del canal podría ser la velocidad de transmisión, atributos de las estaciones podrían ser: velocidad de procesamiento, capacidad de los "buffers" de entrada y salida al canal. Y las actividades son los procesos que pueden cambiar el estado del sistema, en el trabajo realizado se estudió el tráfico de la red, por tal motivo, la actividad definida para este modelo fue el arribo de paquetes a la red y la salida de paquetes de la red, puesto que los arribos y salidas de paquetes cambian el estado del sistema.

La definición de los componentes, atributos y actividades depende de lo que se desea modelar, por lo tanto, en esta parte es importante hacer un reconocimiento de la red que se va a estudiar y definir estos elementos como una primera aproximación.

Datos del sistema actual

El siguiente paso es recopilar información sobre el sistema de red identificado. Se recolecta información de las características de cada uno de los componentes de la red, como por ejemplo: velocidad de procesamiento de las estaciones, capacidad de memoria de las estaciones, velocidad del canal, capacidad de los "buffers" de entrada y salida al canal, etc. Esta información podrá ser necesaria para el diseño de los componentes del modelo del sistema.

También es importante identificar las aplicaciones que se corren en las estaciones de la red, y las horas y los días de más uso de la red, esto con el fin de conocer un poco más sobre el tipo de tráfico de la red y su carga. Esta información fue utilizada en el trabajo para decidir el día de captura de datos del tráfico y para hacer

las suposiciones de las probabilidades de envío de paquetes hacia los diferentes destinos.

Esta puede ser obtenida por medio de entrevistas a los administradores de la red, a profesores y a estudiantes. Además, la observación del ambiente en donde se encuentra el sistema también es muy importante para conocer el volumen de trabajo.

Otro aspecto importante por conocer son las características del canal, esto puede obtenerse de la documentación existente sobre el canal o enlace, en el caso de "Ethernet" existe mucha bibliografía.

Muestreo, captura y análisis de tráfico real

Para un análisis de tráfico se requiere información sobre el tráfico como: tiempos entre arribos, intensidad de arribos, longitudes de paquetes y nivel de utilización del canal. Sin embargo, la información requerida sobre el tráfico debe ser definida por el investigador y depende del estudio que vaya a realizar sobre el tráfico.

Para obtener datos del tráfico real es necesario contar con algún "software" que pueda capturar el tráfico de la red y provea datos sobre el tráfico de los cuales se pueda derivar la información requerida.

Para el presente trabajo, se utilizó el "software" analizador de protocolos Landecoder 3.2, el cual permitió capturar tráfico de la red real. Por medio de este "software" se obtuvo los datos sobre: tiempos entre arribos, longitudes promedio de paquetes, intensidad de arribos y porcentaje de utilización.

Para el proceso de captura de tráfico se siguió los siguientes pasos:

- Definir el período de captura de tráfico con base en la información obtenida sobre la carga de tráfico.
- Capturar el tráfico del período de tiempo definido. El tráfico capturado durante este período constituye la población en estudio.
- Monitorear el tráfico por ese período utilizando un "software" analizador de protocolos.
- Definir la unidad de análisis. En el trabajo realizado, la unidad de análisis fue el paquete en el caso de la variable de tiempo entre arribos, y en el caso de cantidad de arribos en un intervalo de tiempo, se tomó como unidad de análisis el segundo.
- Trabajar con una muestra de la población, esto por cuanto la población de los paquetes capturados y la población de los segundos capturados son inmensamente grande, y no es posible analizar toda la población.
- Para la escogencia de la muestra se debe primero diseñarla y definir su tamaño, esto de acuerdo con el tamaño de la población. Puede consultar los trabajos de Miller (1986) y de Mood (1974) sobre el procedimiento para definir el tamaño de la muestra.
- Una vez que se tiene el tamaño de la muestra debe definirse el tipo de muestreo: aleatorio simple, por estrato, por conglomerado. El tipo de muestreo depende de la homogeneidad de la población, para ahondar en este tema puede consultarse los trabajos de Hernández y otros (1998) y

- el de Pineda y otros (1994). Para el presente trabajo se utilizó el muestreo aleatorio simple, para asegurar la independencia de las variables. Es importante para el muestreo de los datos del tráfico real, diseñar una buena muestra que considere aspectos como horas de tráfico alto, períodos en diferentes días, etc.
- Una vez definida el tamaño de la muestra, se escoge la muestra de la población y se trabaja con los datos del tráfico capturado para su análisis.
 - De los datos del tráfico de la muestra, se obtiene lo que interesa para el análisis de tráfico: tiempos entre arribos, intensidad de arribos, longitudes de paquetes u otros según los requerimientos de información. En muchos casos, el “software” de captura de tráfico no da la información que se requiere directamente, sino que los datos obtenidos sobre el tráfico deben ser procesados posteriormente para ello.
 - En el caso del “software” Landecoder 3.2, y para el estudio específico del presente trabajo, este “software” provee datos del tráfico, a partir de los cuales se deben realizar una serie de cálculos manuales para obtener los datos sobre el tiempo entre arribos y el número de arribos por minuto. Para conocer cómo funciona este “software” puede consultar el trabajo de Triticom (1997).
 - Es importante verificar si los datos que genera el programa de captura de tráfico es consistente con la realidad. Por ejemplo, si la información de utilización del canal, que provee el programa de captura de tráfico, refleja la carga real de utilización que se está dando a la red. Una manera que se propone es verificando, en primera instancia, por observación visual, si al aumentar la cantidad de estaciones que están trabajando, el gráfico de la utilización del canal se aumenta o no.
 - Otro aspecto importante es que se considere, si es un estudio del tráfico, la carga que genera las colisiones en el tráfico de la red. Para ello, el “software” utilizado para la captura de tráfico debe proveer esta información de la realidad.
 - Se realizan los cálculos para obtener los promedios de las variables que interesan. Para el presente trabajo y utilizando el Landecoder 3.2, se obtuvo estadísticas sobre el tiempo entre arribos, intensidad de arribos, longitud promedio de paquetes y porcentaje promedio de utilización del canal.
 - Se calcula las distribuciones de frecuencias y las frecuencias acumuladas de las variables que interesan.
 - Se definen las distribuciones de probabilidad para las variables de interés o para las variables necesarias para el desarrollo del modelo de simulación, esto también depende del “software” que se utilizará para la simulación. En el caso del presente trabajo y utilizando el Comnet III, se definió la función de distribución de los tiempos entre arribos de mensajes. Y para el parámetro de longitud de mensajes se utilizó el valor promedio.
 - Se aplica pruebas de bondad de ajuste para verificar si las distribuciones

observadas coinciden con las supuestas distribuciones teóricas, en los casos de variables discretas. Para el caso de variables continuas, existen paquetes estadísticos que ayudan a encontrar la distribución de probabilidad que más se acercan a las variables de interés. Para el presente trabajo se utilizó la prueba de bondad ajuste de Chi-cuadrado para la variable de intensidad de arribos de paquetes, para estos cálculos se usó el programa estadístico de Ludwig (1988), y se usó el “software” estadístico Systat de Wilkinson (1990) para encontrar la distribución de probabilidad de la variable tiempo entre arribos de paquetes. Para mayores detalles de estos dos últimos pasos, puede consultar los trabajos de Miller (1986), Mendenhall (1986), Ludwig (1988) y Wilkinson (1990).

Desarrollo del modelo del sistema

A este punto ya se conoce la magnitud del sistema, ya se tiene una idea del volumen de tráfico, y se puede entonces establecer hasta dónde se quiere llegar con la simulación, qué es lo que se desea modelar, cuál es el problema por analizar, además de tener una idea sobre la factibilidad de llevar a cabo la simulación.

Entonces, se define el nivel de detalle del sistema que se desea estudiar y se hacen las suposiciones del modelo. Se establece el límite del sistema, y la profundidad del detalle que se desea. Esto es importante puesto que si se definen demasiados elementos por estudiar, la corrida de simulación podría tardar más tiempo. Es importante determinar exactamente qué es lo que se desea estudiar.

Para el trabajo actual, se decidió solamente modelar el tráfico que llega a la

red, y definir las fuentes de tráfico para que generen un nivel de tráfico parecido al nivel real, con base en la información obtenida en los dos pasos anteriores. Se supuso que todas las estaciones generan un nivel de tráfico similar a la red, solo se les varió las probabilidades de envío de los mensajes a los diferentes destinos.

Para los parámetros de los cuales no se tenía información real pero que Comnet III permite que sean definidos, como por ejemplo, tiempo de procesamiento de paquetes y protocolo de enrutamiento, se utilizó los valores por defecto que trae el propio “software”. Puede consultar en el trabajo de CACI (1995) información sobre la utilización del software COMNET III.

Se identifica los componentes, atributos y actividades del sistema para el modelo y se determinan las variables externas e internas. En este paso se limita la dimensión de la red que se va a modelar, y por lo tanto se vuelve a definir estos elementos tomando en cuenta esta delimitación.

Luego se desarrolla el modelo del sistema, específicamente para el presente trabajo, se desarrolló modelos para: el tráfico de la red, los “buffers” de entrada y salida de las estaciones hacia el canal y el propio canal. Los modelos se desarrollaron utilizando la información obtenida en los pasos anteriores.

De los atributos de los componentes se identifican las variables que son internas y las que son externas. Las internas son aquellas que el experimentador no puede variar, y las externas son las que sí puede variar según sea la necesidad del experimentador para su estudio. En el trabajo realizado, el tiempo entre arribos de paquetes, la longitud de mensaje, las características del canal, la capacidad de los “buffers”, el tipo de nodo, la cantidad de nodos, entre otros,

son parámetros externos. Y los internos fueron: Nivel de utilización, tiempo de respuesta, retrasos de transmisión de paquete, intensidad de arribo.

Diseño y creación del modelo del sistema en COMNET III

Este paso y los siguientes están muy influenciados por el “software” de simulación que se utilice, y prácticamente el modelo que se crea depende mucho de las capacidades del “software”, por esto es necesario al principio estudiar el “software” de simulación, para poder crear un modelo acorde con las capacidades de diseño y creación del mismo.

Para el presente trabajo se utilizó el COMNET III, por esta razón, el diseño y la creación sigue los pasos de diseño y creación de un modelo en COMNET III.

Para el diseño y creación del modelo se toma la información obtenida en el paso anterior sobre las distribuciones de frecuencia de las variables de interés: tiempo entre los arribos, intensidad de los arribos, longitud del paquete y otras variables según sean los requerimientos del estudio. Esta información sobre las distribuciones de frecuencia puede ser muy útil para la definición de los parámetros de los objetos del modelo en COMNET III.

Se establece la relación entre las variables internas y externas del modelo y los parámetros internos y externos del “software” de simulación. El establecimiento de esta relación consiste en determinar cuáles de las variables del modelo tienen su equivalente en el “software” de simulación. De no tener su equivalente, se debe hacer la transformación o traducción necesaria para modelar esta variable en el “software”.

Luego se crean los componentes del sistema. Para el trabajo actual, se crearon los siguientes componentes: nodos grupo de computadores, nodo de procesamiento que simularían los servidores y un conmutador. Estos componentes son objetos que el “software” COMNET III provee, por lo tanto, la creación de estos componentes es simplemente seleccionarlo con el ratón del computador y colocarlo en la pantalla de edición.

Se crean las fuentes de tráfico y el enlace. Se crearon fuentes de tráfico para todos los nodos de grupo de computadores, fuentes de respuesta para todos los nodos de procesamiento, y se creó el canal o enlace.

Después se diseñan estos componentes en el “software” de simulación. El diseño de estos componentes se refiere a la definición de los atributos para cada uno de ellos. Los atributos se definen de acuerdo con la información que se obtuvo en los pasos anteriores sobre cada uno de los componentes del sistema, por ejemplo, para el canal, un atributo es la velocidad de transmisión o el tipo de canal, para las estaciones, un atributo es la velocidad de procesamiento.

En seguida se diseñan las fuentes de tráfico para cada uno de los componentes de la red. Se definen las funciones de distribución de probabilidad de los parámetros del modelo, en el trabajo se definió la función de distribución de probabilidad para el parámetro tiempo entre arribos.

El orden de creación y diseño de los componentes no es importante, es decir, puede primero crearse y diseñarse el enlace y luego las estaciones y servidores o viceversa.

Se selecciona o diseñan los reportes que se desean de acuerdo con lo que se va a estudiar. El “software” COMNET III,

muestra una lista de reportes que el usuario puede escoger, para el trabajo se eligieron reportes sobre: el tiempo de retraso de mensajes, nivel de utilización del canal, retraso de transmisión de paquetes, cantidad de mensajes enviados por estación.

Verificación y definición de corridas de simulación

La verificación se refiere a la corrección de la implementación, para asegurar que el modelo hace lo que se le indicó que debe hacer. Generalmente los programas de simulación tienen incorporados el proceso de verificación, como es el caso del COMNET III. Sin embargo, si no es así, se debe llevar a cabo. En el trabajo de Jain (1991) el lector puede encontrar una serie de técnicas de verificación. COMNET III verifica automáticamente cada vez que se pide correr la simulación del modelo o se pide guardar el modelo. Si hay alguna conexión incorrecta de objetos, el COMNET III indica al usuario sobre el error para que se haga la corrección respectiva.

Para la definición de la corrida de simulación se debe establecer el tiempo de la corrida y el número de réplicas deseadas.

El tiempo de la corrida de simulación se refiere al tiempo que se desea simular el modelo. Para el presente trabajo se definieron corridas de una hora de duración y de cinco minutos de duración. El tiempo de la corrida de la simulación no necesariamente coincide con el tiempo real, por ejemplo, un minuto de simulación, no necesariamente coincide con un minuto real. Depende del modelo y el detalle deseado, un minuto de simulación puede durar milisegundos o varios minutos.

El número de réplicas deseadas se refiere al número de veces que se desea que se repita la simulación, generando para cada réplica valores independientes para las variables definidas. La definición del número de réplicas se hace con el fin de determinar la validez de los valores arrojados por las corridas de simulación con respecto a los valores reales. Para el presente trabajo se ejecutó hasta cinco réplicas de cinco minutos cada una, para analizar si los datos arrojados por las corridas eran válidos.

Una vez definidos ambos elementos se inician con las corridas de simulación para obtener los datos.

Validación del modelo

Después de los dos pasos anteriores sigue el proceso de validación del modelo. Para esto se propone tres fases:

Fase 1: Obtener datos de las corridas de simulación y hacer un análisis de las estadísticas.

Fase 2: Seguimiento de los eventos asociados que se generan desde que se recibe una solicitud de envío de un mensaje hasta que el mensaje llega a su destino.

Fase 3: Comparación de los resultados de la simulación con datos reales de desempeño disponibles obtenidos de la operación de la red.

La ejecución de estas tres fases garantizan que el modelo se ajusta en buena medida al sistema real. La primer fase hace un análisis de la información de la corrida de simulación obteniendo así datos para la comparación en la tercera

fase. La segunda fase verifica que los eventos que se generan como respuesta a una solicitud de envío de mensaje son los correctos. Y por último, la tercera fase, verifica que los resultados obtenidos por la simulación coinciden con los datos reales.

Diseño de experimentos de simulación

Una vez que se tiene un modelo válido del sistema se procede a diseñar experimentos de simulación de acuerdo con lo que se desea analizar de la red.

Para el presente trabajo se diseñaron experimentos de simulación para evaluar el desempeño de la red bajo cargas altas de tráfico y bajo dos configuraciones diferentes de red. El tráfico puede ser aumentado variando los parámetros de las fuentes de tráfico o variando la cantidad de estaciones que se encuentran conectadas a la red. Para el presente trabajo se varió la carga de tráfico aumentando el número de estaciones conectadas a la red, debido a que se estaba estudiando el comportamiento de la red según el tráfico ofrecido y se deseaba conocer cómo se comportaría la red si se incrementaba el número de estaciones conectadas a ella.

Se diseñaron diferentes experimentos variando la cantidad de estaciones de la red, de 0 a 80. Estos valores fueron escogidos para conocer el comportamiento de la red.

También se diseñaron experimentos variando la cantidad de estaciones en la red pero utilizando otras configuraciones, con el fin de conocer el comportamiento de las variables estudiadas para los nuevos diseños de red.

Análisis de resultados de la simulación y predicciones

Se analizan los reportes generados de las simulaciones con los diferentes escenarios y se realizan predicciones del comportamiento de la red bajo condiciones de carga alta y bajo diferentes configuraciones de red.

Estas predicciones del comportamiento pueden incluir información sobre la capacidad de la red de trabajar con un mayor número de estaciones, el nivel de utilización al que llegaría el canal, el tiempo de retraso de los mensajes de llegar a su destino, mejoría o no sobre los retrasos de transmisión si se configura la red de diferente forma, posibles lugares de congestión y la causa, etc.

Con las aplicaciones dadas, las necesidades de los usuarios finales y el tráfico de red existente, se puede determinar la utilización de red proyectada con nuevos usuarios y/o nuevas aplicaciones. El conocimiento del tipo de aplicaciones que se corrían se utilizó en el presente trabajo para hacer las suposiciones de las probabilidades de envío de paquetes hacia los diferentes destinos.

La pregunta básica es: ¿dónde está el cuello de botella proyectado?, en los clientes, servidores o en la red. Los cuellos de botella no siempre están en la red. Si la aplicación está disponible en la red, luego se pueden hacer mediciones que muestren dónde está el problema. Estas mediciones se pueden hacer con un analizador de protocolo. Se necesita recolectar tiempos entre arribos de paquetes para cada paquete de una transacción.

El tiempo empleado por una transacción puede ser de milisegundos, segundos o minutos. El tiempo de respuesta de la transacción es importante para los

usuarios finales y se debe minimizar. El tiempo está compuesto por: el tiempo que el paquete viaja a través de la red, el tiempo que utiliza el servidor para recuperar los datos y el tiempo que el cliente acepta los datos y pregunta por más datos. Los retrasos pueden ser medidos para una transacción entera o para un paquete. Lo importante es determinar la fracción del retraso de la transacción atribuido a la red, al servidor y al cliente.

La figura 1 muestra los pasos de la metodología propuesta para el análisis de tráfico utilizando la simulación.

En el caso de que no existiera la red, no existirían tampoco datos para definir los parámetros. En estos casos se sugiere que se utilicen datos estándares o ideales, o información provista por otros estudios similares de sistemas similares.

Conclusión

El trabajo realizado pretende dar una pauta para la realización de estudios de desempeño de redes basados en la simulación, aprovechando la existencia de “software” de simulación de redes, además de contribuir de esta forma a conscientizar sobre la importancia de realizar procesos de evaluación del desempeño de las redes de computadoras existentes, para mejorar la toma de decisiones en cuanto a diseño de redes, compra de equipo e implantación. Para este efecto, se propone una metodología basada en diez pasos.

Siguiendo los pasos de la metodología, el trabajo estudia el “software” de simulación existente y estudia el sistema de red propiamente. Luego se crea un modelo de simulación del tráfico de una red de área local, posteriormente con un modelo válido se diseñan diferentes experimentos

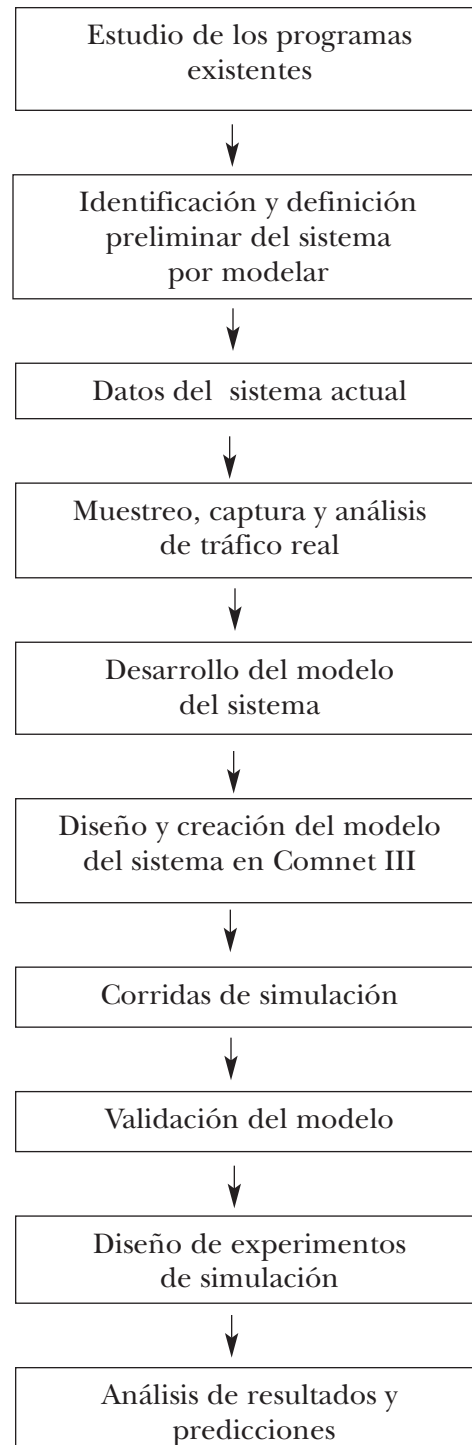


Figura 1. La metodología propuesta para análisis de tráfico.

de simulación para analizar el comportamiento de la red bajo condiciones de carga alta, también se puede analizar el comportamiento bajo configuraciones diferentes de la red, y por último, se hacen las predicciones y recomendaciones del caso.

La metodología presentada es un esfuerzo por hacer una propuesta para llevar a cabo un análisis de tráfico en redes de computadores basada en la simulación. Esta metodología es sólo una propuesta inicial que da una pauta por seguir, para el análisis del desempeño de redes, es sólo una guía para que puedan iniciarse este tipo de trabajos.

Bibliografía

- CACI. *COMNET III User's Manual -Planning for Network Managers*. Versión 1.1. CACI: USA. 1995.
- Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Baptista, Pilar. *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill: México, D.F. 1998.
- Jain, Raj. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. John Wiley & Sons Inc.: USA. 1991.
- Law, Averill; McComas, Michael. *Simulation "software" for communications, Networks: The state of the art*. IEEE Communications Magazine. March 1994.
- Ludwig, John A.; Reynolds, James F. *Statistical Ecology: a Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons: USA. 1988.
- Mendenhall, William; Scheaffer, Richard L.; Wackerly, Dennis D. *Mathematical Statistics with Applications*. 3 ed. PWS Publisers. USA. 1986.
- Miller, Irwin; Freund, John E. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. 3 ed. Prentice Hall Hispanoamericana.. México. 1986.
- Mood, Alexander; Graybill, Franklin; Boes, Duane. *Introduction to the Theory of Statistics*. 3 ed. McGraw Hill: USA. 1974
- Pineda, E.B; de Alvarado, E.L.; de Canales, H.. *Metodología de la Investigación*. Organización Panamericana de la Salud: Washington, D.C. 1994.
- Triticom. *LANdecoder Protocol Analyzers*. Triticom. USA. 1997.
- Wilkinson, L. *Systat: The System for Statistic*. Evanston, II, Systat Inc. 1990.
- Wilkinson, L. *Sygraph: The System for Graphics*. Evanston, II, Systat Inc. 1990.