

SIMULACIÓN DE REDES DE COMPUTADORAS

Susan Chen Mok

RESUMEN

El presente trabajo resume una serie de conceptos y elementos necesarios para llevar a cabo una simulación de redes de computadoras. Hace una breve reseña del uso de la simulación y su incursión en el campo de las redes de computadoras. Explica la importancia de realizar estudios de desempeño de redes, los conceptos relacionados con desempeño de red y los requerimientos para llevar a cabo estos estudios utilizando la simulación. Hace un resumen de los tipos de "softwares" que existen para simulación de redes y describe brevemente algunos "softwares" disponibles para este propósito, detallando más el "software" para simulación de redes "COMNET III".

ABSTRACT

This project summarizes several concepts and elements necessary to carry out a computer networks simulation. It contains a brief summary of the use of simulation and its incursion in the computer networks field. It explains the importance of doing research on networks performance, concepts relating to networks performance, and the requirements to carry out such research using simulation. It summarizes and describes briefly different types of available existing software for networks simulation, giving more detail to the software for network simulation named "COMNET III".

Introducción

Desde 1960 se ha usado la simulación para el diseño de nuevos sistemas y mejorar el desempeño de los existentes. Se puede encontrar aplicaciones, en una gran variedad de áreas, en las que se ha utilizado la simulación. Ejemplos de algunas de estas áreas son: diseño de sistemas de fabricación, sistemas de evaluación de armas militares, diseño de sistemas de transporte, evaluación de requerimientos de "software" y "hardware" para un sistema de computadora. Sin embargo, ha sido sólo durante los últimos cinco a diez años que la simulación ha sido usada para analizar redes de computadoras (*Law, 1994: 44*).

En la actualidad se usan modelos analíticos y de simulación para:

- comparar estrategias alternativas de implementación de nuevos servicios y aplicaciones
- evaluar la integridad, confiabilidad y desempeño de una red.

Una de las tareas más importantes, hoy en día, de los diseñadores de redes es el estudio del desempeño de las redes de computadoras. Esto debido a que una mala decisión de diseño puede afectar fuertemente el desempeño de la red y provocar hasta pérdidas económicas para la empresa.

Por estas razones, es importante realizar evaluaciones del rendimiento de las redes para detectar anomalías que se presenten en el funcionamiento de algún componente de la red y así poderlos corregir, como también recomendar cambios en el diseño para mejorar su desempeño.

La necesidad del estudio de desempeño de las redes

Actualmente los sistemas de computación y redes de comunicación son parte esencial del funcionamiento de las empresas. Conforme estas redes crezcan y se hagan más grandes y complejas, el diseño y la administración de éstas se convierten en tareas difíciles de resolver utilizando los métodos de cálculo convencional. Además, constantemente entran en el mercado nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones de comunicación que se deben evaluar para conocer su impacto en las redes actuales antes de que sean adoptadas.

Todo esto hace que sea difícil para las empresas saber cuál es la combinación correcta de tecnologías y aplicaciones para satisfacer sus necesidades. Conforme las necesidades aumentan la inversión requerida así como el costo de operación aumentan.

Las decisiones de diseño y administración de redes requieren de buenas predicciones de desempeño de la red; puesto que las decisiones basadas en malas predicciones pueden afectar adversamente la percepción de los clientes de la red sobre la nueva tecnología, además de provocar serias repercusiones en el rendimiento y en los costos.

Para evaluar y comparar diseños de red y protocolos se pueden usar técnicas analíticas, simulación por computador, proyecciones y experimentos. Sin embargo, a menudo las decisiones de diseño y administración se hacen con base en un conocimiento incompleto de las demandas de los usuarios y del sistema total.

En los últimos cinco a diez años, la simulación ha incursionado en el campo de las redes de comunicación. Este uso de la

simulación para el análisis de redes se debe al creciente número de redes existentes y a su complejidad. También es debido a la disponibilidad de paquetes diseñados específicamente para modelar sistemas de comunicación, los cuales reducen considerablemente el tiempo de desarrollo y análisis del modelo.

Requerimientos

El desarrollo de un modelo de simulación para redes de comunicación requiere (Frost, 1994: 70):

- Modelar las demandas de los usuarios por recursos de la red.
- Caracterizar los recursos de la red necesarios para procesar las demandas.
- Estimaciones de desempeño del sistema basado en datos de salida generados por la simulación.

El éxito de la simulación depende de la identificación apropiada de las métricas de desempeño y de la estrategia para analizar las respuestas de desempeño resultantes. (Frost, 1994: 71).

La mayoría de las herramientas de simulación para redes de telecomunicación están basados en la Simulación de Eventos Discretos (Frost, 1994: 71). Esto es debido a que este tipo de simulación permite el modelaje de sistemas dinámicos, discretos y estocásticos y el modelaje de sistemas de redes caen dentro de este tipo de sistemas.

Los eventos típicos en una simulación de red de comunicaciones incluyen el arribo de demandas por recursos de la red y el tiempo entre arribo. Esto hace que se requiera de una descripción de los recursos de la red que satisfaga las demandas.

Elementos para el modelaje

El tiempo entre arribo de demandas sucesivas así como la naturaleza de los recursos de red requeridos son elementos importantes para el modelaje del tráfico.

Para el análisis del tráfico de una red, el contexto de modelaje más común es la cola, donde el tráfico es ofrecido a una cola o a una red de colas y se calculan varias medidas de desempeño. (Frost, 1994: 72).

La teoría de colas provee un tipo importante de modelo que es frecuentemente usado para llevar a cabo el análisis de desempeño de redes de computadores. En sentido general, las redes multiacceso pueden ser vistas como sistemas de cola de un solo servidor (Hammond and O'Reilly, 1988: 91).

Un sistema de colas se caracteriza por tres componentes principales: un patrón de llegada, un mecanismo de servicio y una disciplina de cola. El patrón de llegada describe las propiedades estadísticas de las llegadas. El mecanismo de servicio describe cómo las entidades son servidas. Y la disciplina de cola describe cómo se selecciona a la próxima entidad a ser servida.

Una red es un sistema de cola. Los paquetes son generados por una fuente y son pasados a un servidor. El servidor evalúa la dirección destino del paquete, y escoje el camino para su envío (Varhol, 1995: 70). El servidor, concentrador, o enrutador es un recurso finito que todos los paquetes deben usar. Los paquetes pueden llegar desde múltiples fuentes, y pueden tener que ser enrutados a múltiples destinos, de acuerdo a sus direcciones. Si llegan muchos paquetes, y el servidor sólo puede procesarlos uno a uno, entonces se formará una cola de paquetes que esperarán por el servicio.

Los modelos de colas pueden ser usados para el estudio de redes de área local para desarrollar medidas cuantitativas de desempeño (*Hammond and O'Reilly, 1988: 159*).

Una propuesta de Modelo

Se puede ver el tráfico como las ocupaciones que hacen los usuarios de los elementos de un sistema. Este sistema puede ser un sistema de servicios de comunicaciones, por ejemplo, con o sin colas como se muestra en la figura No.1.

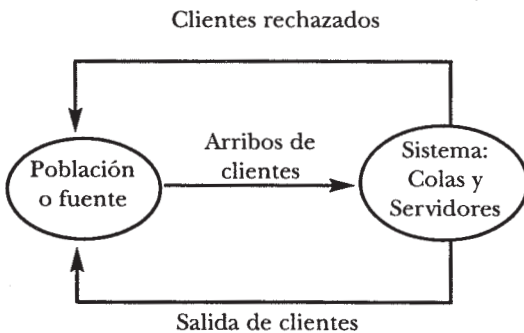


Fig. No.1. Sistema de servicio

Los arribos de clientes pueden ser:

- llamadas
- mensajes
- paquetes
- transacciones
- trabajos y otros

Los arribos se caracterizan por ser un proceso aleatorio, con tiempos de interarribo aleatorio.

Los servidores puede representar el número de canales en un sistema de comunicaciones, en donde el tiempo de servicio es determinístico o aleatorio .

Las colas pueden representar los "buffers", interesa aquí el tamaño de las colas y las disciplinas de colas (FIFO, orden aleatorio, con prioridad, etc.). Las colas pueden ser de tamaño finito o infinito.

La población de clientes o fuente puede ser finita (ejemplo: un número fijo de terminales), o infinita.

Los clientes rechazados son los clientes que no completaron el servicio, ejemplo: cliente se salió de la cola, todos los servidores están ocupados, etc.

Las siguientes variables son ejemplos de variables de interés en un estudio de desempeño, en un sistema como el descrito:

- tiempos de retardo
- tiempos de respuesta
- número de arribos por unidad de tiempo
- número de servidores
- ocupación de lugares en la cola y de servidores (tráfico)
- llamadas perdidas, congestión
- tiempo medio de espera
- tiempo medio de ocupación

Se define el tráfico ofrecido como el número medio de servidores ocupados cuando el proceso es ofrecido a un grupo de servidores finito. Esto es, el número medio de ocupaciones simultáneas para un intervalo de tiempo definido.

Medidas de desempeño de una red

El análisis de desempeño de redes de computadores trata con la naturaleza y características del flujo de datos. Este flujo de datos en redes de comunicación de computadores es típicamente estocástico o no uniforme por naturaleza. En cualquier punto de la red,

los tiempos de llegada de las unidades de datos básica (caracter, paquete, mensaje) son variables aleatorias. En muchas aplicaciones, la longitud de los mensajes también son variables aleatorias y el tiempo de procesamiento del mensaje también llega a ser una variable aleatoria.

La eficiencia, el "throughput" definido como la cantidad promedio de paquetes que pasan por un punto dado de la red por unidad de tiempo, el retraso y otros parámetros son medidas de cómo la red procesa los mensajes que debe transmitir para cumplir su función.

Una medida de desempeño importante desde el punto de vista del usuario es el tiempo de respuesta, definido como el tiempo para transmitir un paquete correctamente desde un origen hasta su destino y recibir una respuesta de confirmación. El tiempo de respuesta consiste de los siguientes componentes (*Hammond and O'Reilly, 1988:155*):

- 1- El tiempo para que un paquete del usuario A atraviese el enlace serial o paralelo hasta la interfaz de la estación.
- 2- El tiempo que el paquete espera en el "buffer" de la interface antes de ser transmitido.
- 3- El tiempo requerido para transmitir el paquete a través de la red, incluyendo el tiempo de propagación.
- 4- El tiempo que el paquete debe esperar en la interfaz asociada con el usuario B.
- 5- El tiempo que el usuario B genera una respuesta.
- 6- El tiempo que la respuesta viaja a través del sistema siguiendo los pasos 1-5.

El tiempo de respuesta depende del estado del sistema en el tiempo en que el usuario A transmite su paquete y por lo tanto es una variable aleatoria.

La figura No.2 muestra un acople típico de dos usuarios a una red.

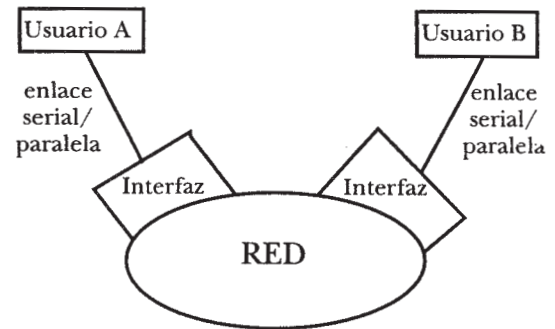


Fig. No.2. Un acople típico de dos usuarios a una red.

Los retrasos del tipo 2 y 3 son debido a la red y sus interfaces, estos retrasos son sensibles a los parámetros de la dinámica de la red como la carga, debido a que es necesario poner los mensajes en la cola cuando el canal es compartido.

Los otros componentes del tiempo de respuesta son menos sensibles a la carga y dependen más de la aplicación o de las características del dispositivo tales como la velocidad de los enlaces usuario/estación.

Si los retrasos son debido a la red, algún problema de diseño se tiene que resolver, como mejorar la técnica de acceso al medio.

En el nivel de red, el "throughput" es otra medida de desempeño. El "throughput" está muy relacionada a otra medida llamada utilización o eficiencia del canal. La utilización del canal es básicamente definido como la fracción de tiempo en promedio en que un canal está ocupado.

Si el canal lleva solo paquetes buenos cuando está ocupado, y no se considera la sobrecarga que conlleva la misma transmisión de los datos (ejemplo, los bits de control son bits de sobrecarga), entonces el "throughput" y la utilización son lo mismo. La utilización del canal bajo estas condiciones es también llamado intensidad de tráfico. El máximo "throughput" para redes de acceso aleatorio es llamado capacidad del canal (*Hammond and O'Reilly, 1988:157*).

Otra medida de desempeño es el retraso de transferencia promedio. El retraso de transferencia se define como el tiempo desde que llega el último bit de un paquete a la estación de una red hasta que el último bit de este paquete es entregado a través de la red a su estación destino. Este retraso es el correspondiente a los retrasos 2 y 3 del tiempo de respuesta definido anteriormente.

Tipos de "softwares" de simulación para redes de comunicación

Hay tres tipos principales de software para simular redes de comunicación:

1. Lenguaje de simulación de propósito general. es un paquete de simulación que es general, es decir, puede ser usado para modelar otros tipos de sistemas, pero puede tener características especiales para comunicaciones tales como módulos explícitos para "Ethernet" o "Token Ring". Ejemplos de estos lenguajes son BONEs DESIGNER y SES/workbench (*Law, 1994: 44*).
2. Lenguaje de simulación orientado a comunicaciones: es un lenguaje que

es específicamente orientado hacia redes de comunicaciones, OPNET Modeler es un paquete de estos (*Law, 1994: 45*). Las ventajas son posiblemente la reducción en el tiempo de programación y la construcción del modelo orientado a sistemas de comunicaciones.

3. Simulador orientado a comunicaciones: en su forma básica, es un paquete de simulación que permite simular una red en una clase específica de redes de comunicaciones sin ninguna programación. Ejemplos de estos simuladores son BONEs PlanNet, COMNET III, NET II.5, y NETWORK II.5 (*Law, 1994: 45*). La mayor ventaja es que el tiempo de desarrollo del programa puede ser considerablemente menor que si se usa un lenguaje de simulación. Otra ventaja de estos simuladores es que tienen construidos modelos muy relacionados a los componentes de una red de comunicaciones, y muchas características deseables para un administrador de red. También, las personas que no saben programar y aquellos que usan la simulación muy ocasionalmente a menudo prefieren estos simuladores debido a su facilidad de uso.

La mayor desventaja de estos simuladores es que están limitados al modelaje sólo de aquellas configuraciones de red permitido por los bloques de construcción estándar del paquete.

La tabla No.1 muestra una comparación general entre simuladores y lenguajes de simulación. Dependiendo de la aplicación, se debe escoger entre simulador o lenguaje de simulación.

Tabla No. 1

Simuladores *versus* lenguajes de simulación

ATRIBUTO	SIMULADOR	LENGUAJE DE SIMULACIÓN
Flexibilidad	Limitado	Ilimitado
Velocidad de desarrollo	Rápido	Lento
Aplicaciones	Específicas	Ilimitado
Detalle de la definición del sistema	Predefinido	Ilimitado
Habilidad para cambiar el modelo	Limitado	Ilimitado
Experiencia requerida del modelador	Bajo	Alto

Breve descripción de algunos “softwares” disponibles

“Block Oriented Network Simulator (BONeS) DESIGNER” es un “software” orientado a gráficos, es un lenguaje de simulación de propósito general que contiene muchas características para modelar redes de comunicación.

“BONeSPlanNet” es un simulador para “LANs” cuyos principales bloques son segmentos “LAN”, modelos de tráfico, interconexiones, y una “WAN”.

“COMNET III”, es el sucesor del “COMNET II.5”, es un simulador orientado a objetos para “LANs” y “WANs”. Los bloques principales son nodos, ligas, protocolos, y generadores de tráfico.

“L.NET II.5”, formalmente llamado “LAN-NET II.5”, es un simulador para “LANs”. Los principales bloques son “LANs”, estaciones, y compuertas. Incluye “Ethernet”, 10 Base T, “Token Ring”, y FDDI.

“NETWORK II.5” es un simulador para sistemas de cómputo y redes cuyos bloques principales son dispositivos de hardware y módulos de software.

“OPNET Modeler” es un lenguaje de simulación orientado a comunicaciones

que usa Red, Nodo y Editores de procesos para construir un modelo de simulación.

“SES/workbench” es un lenguaje de simulación de propósito general orientado a gráficos que contiene características para modelar sistemas de cómputo y redes de comunicación. Los bloques principales son nodos, arcos, y transacciones.

El “software” de simulación de redes “COMNET III”

“Comnet III” es un paquete gráfico que permite al usuario analizar y predecir el desempeño de las redes, estas pueden abarcar desde simples “LANs” hasta complejos sistemas “WAN”.

“Comnet III” usa un sistema de construcción por bloques, donde estos bloques son objetos, los cuales son semejantes a sus equivalentes en la vida real. “Comnet III” tiene una biblioteca de objetos, que pueden representar también a más de un elemento de la vida real con solo ajustar los parámetros para que equivalgan a un cierto dispositivo específico real (CACI, 1993: 1). El usuario puede construir sus escenarios sin necesidad de programar.

El método de modelado utilizado por "Comnet III" está diseñado para soportar una amplia variedad de topologías de red y algoritmos de enrutamiento. Dentro de estos encontramos:

- a- "LAN", "WAN" y sistemas intra-red.
- b- Redes de conmutación de circuitos, mensajes y paquetes.
- c- Tráfico orientado a conexión y a sin conexión.
- d- Algoritmos estáticos, adaptativos y definidos por el usuario.

Construcción del modelo

La red bajo estudio se describe a "Comnet" por medio de datos. "Comnet" entonces ejecuta una simulación dinámica de la red, construye una representación computacional de la red e introduce tráfico simulado sobre ésta. Los reportes se producen sobre cada uno de los elementos del modelo y de las características globales de la red y se presentan como evaluaciones del desempeño de la red.

Los datos que se introducen por medio de la interfaz gráfico describen:

- 1- La topología de la red: nodos, centros de cómputo, conectividad, etc.
- 2- La demanda de recursos en la red: aplicaciones que corren en sistemas terminales y el tráfico que se entrega a través de la red. La frecuencia y tamaño de diferentes trabajos se describen en forma estadística.
- 3- Los protocolos o reglas para la calendarización de aplicaciones y enrutamiento de tráfico.

El modelo se construye y ejecuta por medio de los siguientes pasos. (CACI, 1993: 2):

- a- Selección de los nodos enlaces y fuentes de tráfico.
- b- Conexión de estos elementos.
- c- Especificación de las características de cada dispositivo.
- d- Definición de la operación de la red y los parámetros de protocolo.
- e- Verificación, ejecución del modelo y evaluación de los resultados.

Los reportes generados son un estimado del desempeño esperado de la red real. Su exactitud depende de los datos que se utilizan para definir la red. Otro factor que determina la precisión es el tiempo de ejecución de la simulación del modelo. La duración de la ejecución determina cuántos eventos aleatorios se utilizan para representar el tráfico generado estadísticamente.

La precisión de los resultados de una simulación son normalmente cuantificados con una varianza y un estimador de confianza estadística.

Comnet puede ejecutar múltiples réplicas independientes de un modelo y generar la media, máximos, mínimos y desviaciones estándares así como también puede plotear y desarrollar histogramas del desempeño del modelo.

Nivel de detalle

Cualquiera que sea el tipo de red que se esté modelando, se debe establecer el nivel adecuado de detalle en el modelo. Esto es, definir la granularidad

del modelo. Se tiene que pensar muy seriamente en el nivel de detalle de la red puesto que esto determinará el nivel de beneficio que se obtenga del modelado.

Si no se ubican los detalles adecuados se podría perder información muy importante de la red, pero si se utilizan demasiados detalles se aumentaría considerablemente el tiempo de procesamiento y de cálculo de los parámetros de la red.

Entonces, se debe seleccionar el nivel adecuado de detalles del sistema que se desea modelar y las preguntas de rendimiento que se pretenden responder.

“Comnet” es capaz de modelar a muchos niveles, desde el modelado de una subrutina ejecutándose en un computador en una red “WAN”, hasta el análisis de la capacidad de “throughput” de la misma red dada por el número de transacciones por segundo. Puede también crear un modelo detallado de la lógica de los nodos de red. Los computadores ubicados en el nodo, sus subsistemas I/O, sus bases de datos y las aplicaciones que corren en los computadores se pueden modelar completamente.

Usos de “COMNET”

A continuación se describen los usos que se le ha dado a “Comnet”:

- a) Estudios de tráfico pico: Generalmente una red está sujeta a altos niveles de tráfico en momentos particulares del día, de la semana, del mes o del año. Si el diseño de red puede tratar con esto, entonces se puede garantizar que el modelo final cubrirá los requisitos requeridos en promedio global. Es por esto que la función de “Comnet” en este caso es la de modelar estos períodos
- b) Dimensionamiento de red: Cuando se diseña una nueva red se debe prever un crecimiento futuro, es por esto que se debe de dejar el sistema previsto para futuros requerimientos. “Comnet” en este caso se utiliza para modelar la situación actual del comportamiento de la red y permite agregar los futuros requisitos para luego comparar el rendimiento, permitiendo corregir así las debilidades detectadas.
- c) Planificación de contingencia: En la implementación de redes existen mecanismos de soporte que permiten, ante fallas, que la red mantenga su funcionamiento adecuadamente. Estos mecanismos se pueden probar por medio de “Comnet” gracias a que se pueden activar y desactivar los nodos de la red para evaluar el rendimiento en caso de fallas.
- d) Introducción de nuevos usuarios y aplicaciones: Nuevos usuarios y aplicaciones típicamente introducirán más carga en el sistema. Es muy útil predecir su impacto antes de introducirlos a la red, los posibles cuellos de botella se podrían corregir de forma tal que futuros problemas se puedan evitar. Además de evaluar el desempeño de la red si otras redes se fusionaban a la actual. En *Curry (1997)* se muestra el uso de Comnet para evaluar el desempeño de la red de una institución financiera si otras redes se fusionaban a la actual red de la institución.

- e) Evaluación de opciones de mejoramiento de rendimiento: Las redes tienen crecimiento año a año de su tráfico. Esto produce un deterioro en el desempeño de la red y podría degradarse tanto que pueden ocurrir daños físicos. Las opciones de mejoramiento en el desempeño de la red se pueden analizar en "Comnet" como un plan de costo beneficio. En *Scholl (1997)* se menciona el software Comnet III como posible herramienta de simulación para evaluar los riesgos y costos asociados con cambios en la infraestructura.
- f) Evaluación del grado de los contratos de servicios: En este caso "Comnet" sirve como una herramienta de operación que le permite determinar al usuario de red el beneficio logrado por parte del portador público que le brinda el servicio. Más aún "Comnet" permite evaluar si realmente se está brindando el servicio por el cual se está pagando y permite crear planes de contingencia ante fallas.

En *Olaba, Ferro, Espinoza (1997)* se describe una metodología usando Comnet para modelar tráfico de video comprimido.

Conclusiones

La teoría de simulación ha sido aplicada en una gran variedad de áreas del conocimiento. Permite el análisis de modelos de sistemas por medio del estudio de las medidas de desempeño obtenidas de las corridas del modelo de simulación. Recientemente el computador ha surgido como una herramienta que ha facilitado el proceso de modelaje y simulación de un sistema.

Una de las áreas que recientemente ha encontrado en la simulación un apoyo a las decisiones de diseño y gestión es el área de redes de comunicación. Para evaluar las estrategias de red, integridad, y confiabilidad de las redes, se está utilizando la simulación para obtener información para la toma de decisiones.

Actualmente, el área de las redes y las telecomunicaciones está tomando mucho auge, y se está desarrollando de una manera muy veloz. Esto hace que las decisiones de diseño en estos campos sean tan importantes y se deban realizar de una manera rápida y sin errores. La técnica de simulación permite obtener la información que se requiere con bastante certeza y de una manera bastante rápida.

En los últimos años se han desarrollado una gran variedad de "software" para simulación de redes que han facilitado la labor de modelaje del sistema y su análisis, y que ha permitido obtener información bastante precisa sobre el rendimiento de las redes, mejorando así las decisiones que se toman con respecto a diseño y administración de éstas.

Bibliografía

- CACI. 1993. *COMNET III User's Manual Planning for Network Managers*. Versión 1.1. USA: CACI. p 1-401.
- Curry, Tom. 1997. "Modeling a Large financial Network Using Comnet III". *CACI University Connection*. Volume 1, Issue 1, Fall. P 1-6.
- Frost, Victor; Benjamín Melamed. 1994. "Traffic Modeling for Telecommunication Networks". *IEEE Communication Magazine*. March. p 70-81.
- Hammond, Joseph; Peter O'Reilly. 1988. *Performance Analysis of Local Computer Networks*. USA: Addison Wesley.

Law, Averill; Michael McComas. 1994. "Simulation software for communications, Networks: The state of the art". *IEEE Communications Magazine*. March. p 44-50.

Olaba, M.A.; A. Ferro; K. Espinoza. 1998. "Using Comnet III Simulations To Model Video Traffic And Analyze Multiplexing Performance In An ATM Network". <http://www.caciasl.com/comnet/whitepapers/video.html>. November. p 1-11.

Scholl, Frederick. 1998. "Client/Server Capacity Planning: A Primer". http://www.caciasl.com/whitepapers/cn_wp_scholl.html. November. p 1-9.

Varhol, Peter. 1995. "An Architecture for Network Simulation". *Dr. Dobbs' Journal*. July. p 70-105.