

M. DE GIUSTI*, O. BRIA**, A. DE GIUSTI***

RESUMEN

En este trabajo se presenta la modelización y simulación de una red de procesamiento distribuido en tiempo real, utilizando el lenguaje GPSS.

El tipo de red estudiado involucra N adquirentes remotos, un procesador central, M procesadores locales y M x K ejecutores remotos, conectados a través de un único canal de comunicación, constituyendo un sistema característico en aplicaciones de tiempo real.

La restricción de operar con una arquitectura de "bus" único obligó a estudiar cuidadosamente la simulación del enlace de comunicación a fin de evaluar el protocolo, la velocidad de transmisión y la longitud de los mensajes (paquetes).

En las conclusiones del trabajo se reflejan los resultados obtenidos utilizando simulación con GPSS para evaluar la performance del sistema.

ABSTRACT

This paper presents a simulation model for a class of real time distributed processing network and some results obtained by using the GPSS language.

This type of network studied, which involves N remote data acquisition modules, one central processor, M local processors and M x K remote actuators, connected via an unique communication channel; so representing a characteristic type of system in a real time environment.

The use of a global (multiple access) "bus" determines the most important restriction -- for system performance, so the communication network is carefully simulated to evaluate -- the protocol to be used, the transmission rate and the packet length.

* Ingeniera Electrónica - CONICET - CeTAD - Facultad de Ingeniería UNLP - Argentina

** Ingeniero Electrónico - CIC - CeTAD - Facultad de Ingeniería, UNLP - Argentina.

*** Ingeniero Electrónico - CONICET - CeTAD y LAC - Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Exactas, UNLP - Argentina.

La importancia de las aplicaciones de tiempo real que involucran sistemas de procesamiento distribuido ha crecido enormemente en los últimos años, constituyendo el estudio y evaluación de performance de estos sistemas (Ref. 1,2,3,4,5) uno de los temas de mayor interés en la literatura en todo el mundo.

La medición de la performance de un sistema de procesamiento distribuido (tiempos de respuesta, confiabilidad, accesibilidad a los recursos, etc.) obliga a concentrar esfuerzos en aquéllos recursos críticos que diferentes procesadores intentan acceder simultáneamente. (Ref. 6,7,8).

Precisamente el tipo de sistemas distribuidos que analizaremos en este trabajo se caracterizan por una arquitectura de "bus" global (Ref. 9,10) en la que el recurso crítico es -- justamente el canal de comunicación.

Las técnicas de evaluación de performance siguen 2 tendencias perfectamente definidas:

- ** La utilización de modelos analíticos basados en la teoría de colas (Ref. 11,12,13) en los que las mayores dificultades se encuentran en el ajuste del modelo teórico al sistema real y que generalmente no se aconsejan en sistemas complejos cuya arquitectura y carga varía dinámicamente, por la difícil adaptación del modelo a los mismos.
- ** Los métodos de simulación por computadora (Ref. 14,15,16,17) que históricamente se han empleado con buenos resultados, especialmente utilizando lenguajes orientados. Este tipo de enfoque no devuelve una solución analítica del sistema, pero permite "medir" -- con un ajuste que depende de la bondad del modelo, la performance del sistema punto a punto.

Nuestro "problema tipo", tal como se detalla en el punto siguiente, es una configuración altamente variable y con un recurso crítico cuya carga depende de los mensajes ("paquetes") en curso en todo el sistema. Por otra parte existían una serie de parámetros tales como la velocidad de transmisión, la longitud máxima permitida de cada paquete y el protocolo a adoptar que debíamos definir en función de los resultados de la evaluación de performance. Por ello creímos que lo más conveniente era utilizar simulación,

Por otra parte la Universidad disponía del lenguaje GPSS (General Purpose Simulation System) cuyas prestaciones (Ref. 18) creemos muy adecuadas para este tipo de problemas, por lo que se lo utilizó en el trabajo.

DESCRIPCION DEL TRABAJO

Tal como se ve en la Figura 1, se debía analizar la performance de un sistema distribuido en el que aparecen 4 jerarquías funcionales:

- ** AI_i con $1 \leq i \leq N$ representan adquirentes inteligentes de datos remotos a transmitir en el sistema. N es variable.
- ** PL_i con $1 \leq i \leq M$ representan procesadores locales que suministran información de -- control a los ejecutores E_i , relacionada con los datos adquiridos por los AI.

- ** PC representa el procesador central del sistema, que en principio centraliza la función de recolección de datos y su distribución, pero que puede desaparecer de la configuración, obligando a una adaptación de la red.
 - ** E_i con $1 \leq i \leq K$ representa el conjunto de ejecutores asociado a un procesador local PL_j determinado. El número K es variable, aunque será el mismo para todos los PL_i . La información fluye en el sistema por diferentes nodos:
 - ** Entre los AI_i y el PC. (mensajes-comandos).
 - ** Entre el PC y los PL_i . (información pre-procesada - información procesada).
 - ** Entre los PL_i y los E_i . (órdenes - información de acciones).
 - ** Entre los AI_i y los PL_i . (mensajes-comandos).
- El enlace de comunicaciones del sistema se hace sobre un sólo canal, lo que convierte a éste en el recurso crítico más importante a estudiar en la simulación, en particular:
- ** Evaluación del protocolo a utilizar.
 - ** Estudiar las "colisiones" de mensajes y la técnica para minimizar su efecto.
 - ** Analizar la detección y corrección de errores en la transmisión.
 - ** Determinar los efectos de diferentes velocidades de transmisión y diferentes longitudes de mensaje sobre la performance global del sistema.

Si observamos globalmente el esquema de la Figura 1 y las funciones mencionadas anteriormente, se trata de un sistema realimentado (Fig. 2) en el que los AI recogen información de objetos externos al sistema y la transmiten al PC como novedades; en el PC se lleva un control del estado de cada objeto externo y en función de él (en particular de su ubicación) le asigna su atención a un PL_j determinado que procesa la información y activa alguno o todos sus E_i para actuar sobre el objeto.

Esto nos marca el flujo inicial de datos: $AI-PC-PL-E_i$.

La acción de los E_i correspondientes es informada al PL_j asignado y simultáneamente se espera un nuevo mensaje de corrección del AI correspondiente. Lógicamente la función de procesamiento de los PL incluye una estrategia de control a fin de llevar a los objetos externos a un "estado" final deseado.

Ejemplos de sistemas distribuidos tal como el descripto lo constituyen los emplazamientos de artillería terrestre, los controladores globales de tráfico de una ciudad, etc. En --- ellos el problema crítico es la evaluación del canal de comunicación elegido y la técnica de protocolización de mensajes que se adopte.

En nuestro caso hemos desarrollado un modelo de evaluación de la red, con GPSS.

DEFINICION DE LA TOPOLOGIA DE LA RED, TRAFICO

En el sistema descripto se identifica claramente un subsistema de comunicaciones. Es decir una red de comunicaciones entre los distintos nodos que lo conforman (ver Fig. 3).

La topología de esta red se eligió conforme a:

- 1) Ciertas limitaciones técnicas impuestas al sistema:
- a) El canal de comunicaciones utilizado es de radiofrecuencia.

b) Se requiere simplicidad operativa para los tranceptores a ser usados en los distintos nodos.

2) El alto grado de conectividad requerido por el sistema según se vió en la definición del mismo. Dando como resultado la elección de un sólo canal de comunicaciones de radiofrecuencia de acceso múltiple. O sea una topología de "bus" compartido o global -- donde el bus es una frecuencia única de trabajo (ver Fig. 4).

Para el sistema propuesto cada Objeto genera una Tarea que consta de un conjunto de Procesos que van realizando en los distintos nodos del sistema. Estos procesos pueden desarrollarse en forma secuencial (uno tras otro) o en forma concurrente (dos o más de ellos en forma simultánea).

El próximo paso sería relevar las características y modalidades del tráfico delineado anteriormente. Estas dependerán indudablemente de la aplicación particular, pero deberán hacerse relevamientos de, por ejemplo:

1) Tipo de mensajes.

a) Referida a los objetos

b) De control (comandos)

2) Características de los mensajes a transmitir por cada nodo, por ejemplo: destinos, -- formatos, longitud, etc.

3) Distribución de los tiempo de ocurrencia de las variables de entrada al sistema.

4) Es útil hacer una apreciación a priori y global de las posibles distribuciones de los tiempos de intergeneración de todos los mensajes internodos.

MODELO DEL SISTEMA

El sistema, tal como se lo ha descripto, puede representarse por un conjunto de elementos "estáticos" en la simulación que son los A*i*, P*Li*, PC y E*i* y un elemento altamente variable que es el canal de comunicación.

Por esto dividimos el modelo en 2 módulos: aquél que trata los nodos fijos y el tratamiento del canal.

Modelización de los componentes fijos

Los elementos fijos del sistema global, este es: adquisidores, procesadores y ejecutores, se simulan de acuerdo a los siguientes lineamientos generales:

Los objetos se consideran como los elementos a generar en el sistema, es decir las TRANSACCIONES cuyas características: posición, tamaño, prioridad de atención, etc. son almacenadas en parámetros GPSS. Tales transacciones esperarán en una COLA para ser atendidas por la computadora, que, en este aspecto, es una FACILIDAD del lenguaje. Las estadísticas de colas, provistas automáticamente por el lenguaje, brindarán información sobre los retardos de interés.

Los ejecutores, que pueden verse como FACILIDADES alterarán el estado de cada objeto (pa-

ra el lenguaje, los parámetros). El sistema se realimentará así hasta llegar al estado final. Cada transacción al llegar a tal punto será destruida por un bloque específico del lenguaje.

El aspecto más importante que puede variarse en la simulación es la distribución de las apariciones de los objetos y la frecuencia de las mismas. Asimismo, cuando el modelo esté completo, puede estudiarse el número de realimentaciones necesario (para llevar cada objeto a la característica deseada), con un determinado algoritmo de atención y determinada velocidad de deriva de objetos, a fin de establecer los límites del sistema.

Modelización global de la red de comunicaciones

Debido al canal definido anteriormente los distintos nodos del sistema pueden relacionarse topológicamente como se ve en la Figura 5. En cada nodo se identifican claramente tres elementos constitutivos:

- 1) Transmisor de datos del nodo al canal.
- 2) Receptor de datos disponibles sobre el canal.
- 3) Dispositivo procesador de datos del nodo particular.

Los elementos 1 y 2 conforman lo que puede denominarse Unidad de Interfase con el Canal (UIC). Cada dispositivo procesador (PC) queda así conectado a una UIC a través de una vía de comunicación serie o paralelo (dependiendo del dispositivo). La UIC almacena los datos recibidos desde los DP, conforma con ellos paquetes, y los envía al canal (a través de un MODEM) como una cadena de datos, obedeciendo a las reglas fijadas por algún protocolo. Cada UIC está atenta a todas las cadenas de datos sobre el canal, con el objeto de detectar los paquetes destinados al nodo correspondiente. En este punto debe mencionarse que para el sistema propuesto todas las UICs están normalmente en escucha y dejan de estarlo durante la transmisión.

Definición de las características generales del subsistema de comunicaciones

- 1) La primera característica a ser definida es la técnica de acceso al canal. Se eligió -- la técnica de acceso aleatorio atendiendo a las siguientes consideraciones:
 - a) No se requiere sincronización entre la UIC de los distintos nodos pues el control de acceso es completamente distribuido.
 - b) Se supone que las tareas se generan aleatoriamente.
 - c) Los tiempos de procesamiento pueden en general ser aleatorios.
 - d) Las características globales del tráfico.
- 2) La segunda característica a ser definida es la técnica de envío. Pero ésta queda fijada naturalmente como broadcasting.
- 3) El protocolo debe incluir alguna técnica de direccionamiento de los nodos de destino -- y de identificación de los nodos de origen, de cada paquete.

Así los mensajes son enviados desde un nodo a otro de la red de la siguiente manera:

- a) Conformando paquetes

b) Agregando información de dirección (y origen) a los paquetes

469

c) Accediendo al canal a través de una técnica aleatoria

d) Difundiendo los paquetes por el canal

El receptor atento a los paquetes sobre el canal realiza la conmutación tomando los paquetes que corresponden a su dirección.

Modelo de simulación del canal de acceso aleatorio

El primer paso fue definir un modelo conceptualmente simple que pudiera ser validado por comparación con resultados teóricos ya conocidos.

Luego, siguiendo una técnica top-down se fueron desarrollando modelos de complejidad creciente utilizando como semilla el modelo simple (Ref. 19).

Los programas de simulación escritos en GPSS para simular los modelos conceptuales se desarrollaron concurrentemente con éstos.

A) Con la finalidad de validar los modelos a ser definidos se eligió un modelo de tráfico simple de características completamente aleatorias (tiempos de interarribo con distribución de Poisson).

B) Independientemente del protocolo particular que se utilice, en todo canal de acceso aleatorio, puede producirse el fenómeno de colisión de paquetes. Esto es, cuando dos o más paquetes ocupan al mismo tiempo el canal es muy probable que alguno o algunos de los bits que conforman la información del paquete se modifiquen; esto ocasionará (en el mejor de los casos) la detección de un error cuando se chequee la información del paquete en el receptor.

El primer paso fue, entonces, modelizar un bloque denominado "canal" cuya misión principal es detectar la colisión de paquetes en el medio físico y asignarle la característica de colisionado o no, según se cumpla aquella condición. Estas características del bloque "canal" hacen de él la unidad básica en la simulación de cualquier protocolo de acceso aleatorio (ver Fig. 6).

Para la modelización del bloque canal se hicieron las siguientes suposiciones:

1) Se detectan todas las colisiones, produzcan o no cambios en la información de los paquetes.

2) No se considera el efecto del ruido. Indudablemente este puede producir algún cambio de información sobre algún paquete que no haya colisionado.

3) Los paquetes son todos de igual longitud.

4) Se considera que el canal no introduce retardo.

El bloque descripto modeliza fundamentalmente las características generales de un canal de acceso múltiple del tipo ALOHA (Ref. 20).

C) Se escribió un programa de simulación para el bloque "canal". Este queda básicamente representado en GPSS por un STORAGE; la capacidad de éste debe ser idealmente indefinida; pero para una configuración dada basta con una capacidad limitada.

Uno de los parámetros de las TRANSACCIONES (representando a los paquetes) queda reservado para la asignación de la característica de colisionado (ABT) o no (O.K.).

Los datos suministrados por los resultados de los programas fueron cotejados con los resultados teóricos (Ref. 21) para validar el modelo simple.

D) Una vez que una colisión ha sido detectada sobre un canal de acceso aleatorio, los nodos participantes deben reesquematizar sus paquetes de forma tal que sean transmitidos un tiempo después.

El próximo paso fue entonces definir, simular y validar un modelo en el cual los mensajes ABT fueran reesquematizados. Para ello fue necesario establecer algoritmos de reesquematización inicial lo suficientemente simple como para poder validar el modelo (Ref. 22).

El algoritmo más simple es aquel en el que se elige un retardo aleatorio. La función de distribución fue de Poisson.

E) En todo protocolo de comunicaciones debe implementarse alguna manera de informar al nodo transmisor si su mensaje fue recibido sin error. En la mayoría de los protocolos una palabra de chequeo de redundancia cíclica es adicionada a cada mensaje (paquete) por el transmisor. Este código es usado por el receptor para asegurarse que el mensaje está libre de errores (debidos por ejemplo a colisiones). Normalmente si el mensaje fue recibido correctamente, el receptor envía un paquete de Reconocimiento (ACK) al transmisor, para que éste quede debidamente notificado. Naturalmente no se espera reconocimiento de los paquetes de ACK.

En el sistema ALOHA se independiza el tráfico de paquetes de mensajes, de aquel destinado al reconocimiento (ACK) de los paquetes recibidos, utilizando dos canales independientes. En nuestro sistema ambos tráficos deben circular por la misma vía de comunicaciones. Se desarrolló entonces un nuevo modelo que incluyera el tráfico de ACK de los paquetes O.K.

Como era de esperar el throughput del canal disminuyó notablemente.

F) Se reconoció la necesidad de:

- 1) Adoptar una técnica de acceso al canal del tipo CSMA (Carrier Sense Multiple Access) (Ref. 23).
- 2) Definir y probar distintos algoritmos de reesquematización.
- 3) Ver si es posible implementar alguna técnica de priorización del tráfico de ACK.
- 4) Definir un nuevo modelo de tráfico de prueba de población finita.
- 5) Fijar algún criterio de priorización del tráfico entrante, del tráfico reesquematizado y el de ACK en los nodos.

Sobre estos y otros tópicos se está trabajando actualmente.

Para la evaluación de la performance de un sistema de procesamiento distribuído es necesario estudiar exhaustivamente las características del subsistema de comunicaciones que existe entre los nodos físicos de la red.

La simulación del canal de acceso aleatorio, del tipo de sistema presentado, resulta ser un medio eficaz para definir los parámetros de interés y evaluar su incidencia sobre la performance global.

Esta simulación se ha planteado realizando una estrategia de niveles de complejidad creciente.

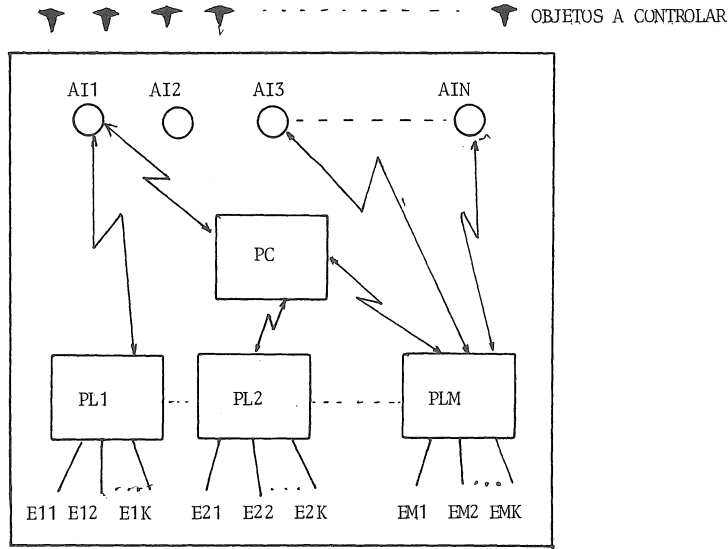


FIGURA 1

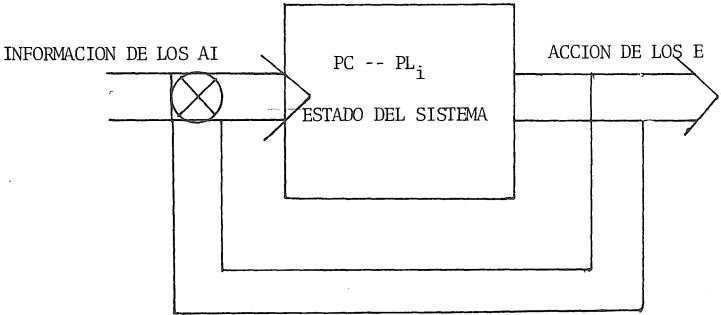


FIGURA 2

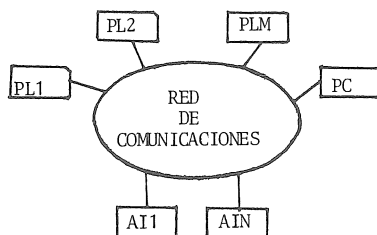


FIGURA 3

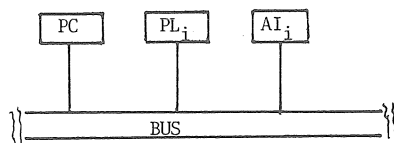


FIGURA 4

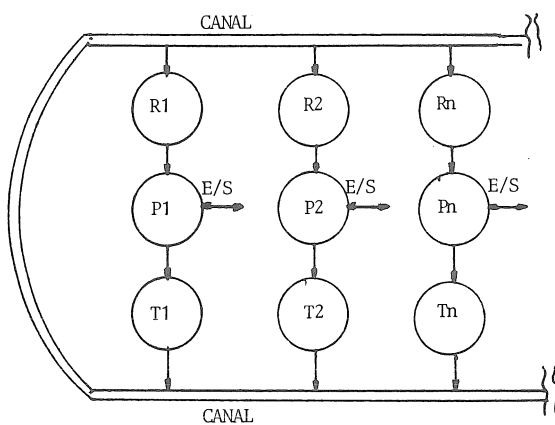


FIGURA 5



(A)



(B)

FIGURA 6

(A) : UBICACION RELATIVA DEL BLOQUE "CANAL" EN EL SISTEMA

(B) : T_i = TRAFICO TOTAL ENTRANTE (PAQUETES NUEVOS Y REESQUEMATIZADOS)

O.K. = PAQUETES QUE NO HAN COLISIONADO

ABT = PAQUETES QUE HAN COLISIONADO

- 1- "Analysis of Multiple-Microprocessor System Architectures"
A.J. Weissberger (Computer Design, June 1977, págs. 151-163.
- 2- "Technologies for Local Area Computer Networks"
I.W. Cotton (Proceeding of the LACN Symposium, May 1979, págs. 283-291.
- 3- "Overview of Synchronization and Recovery Problems in Distributed Databases"
W.H.Kohler (Digest of Papers, COMPOCON 80, Fall 1980, págs. 433-441.
- 4- "Computer Interconnection Structures: Taxonomy, Characteristics, and Examples"
G.A. Anderson and E.D. Jensen (Computing Surveys, Vol. 7 N° 4, December 1975.
- 5- "Partitioning and Allocation of Logical Resources in a Distributed Computing Environment".
B.P.Buckles and D.M. Hardin.
- 6- "Optimal Program and Data Locations in Computer Networks"
H.L. Morgan and K.D. Levin.
- 7- "Optimal Partitioning of Workload for Distributed Systems"
V.B. Gyls and J.A. Edwards.
- 8- "Experiences with performance measurement and modeling of a processor array"
H. Fromm. IEEE Trans. on Computers. 1983.
- 9- "Multiaccess Protocols in Packet Communication Systems"
F.A. Tobagi. IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-28, N° 24, April 1980 págs. 468-488.
- 10- "The Cambridge Digital Communication Ring"
M.V. Wilkes and D.J. Wheeler (Proceedings of the LACN Symposium, May 1979, págs. 47-61.
- 11- "Analitical queueing models for programs with internal concurrency"
P. Heidelberger IEEE Trans. on Computers. 1983.
- 12- "Queueing models of computer systems"
A. Allen. IEEE Computer, 1980.
- 13- "Sistema de Multiprocesamiento de Tiempo Real. Simulación"
A. De Giusti, G. Rossi. 1er. Congreso Latinoamericano de Automática, Brasil, 1984.
- 14- "Computer system simulation: a tutorial"
M.H. Mc Dougal. Computing surveys ACM, 1970.
- 15- "A shared resource algorithm for distributed simulation"
P. Reynolds. 9th annual symposium on computer arquitecture.
- 16- "Simulación de un sistema de multiprocesamiento para adquisición de datos"
G. Rossi. Informe Técnico CeTAD. 1984.
- 17- "A description of the simscript language"
B. Dimsdale. IBM system journal.
- 18- GPSS manuals IBM

- 19- "Integrated Design and Verification of Simulation Programs"
R. Chattergy, U.W. Pooch. IEEE Computer, April 1977.
- 20- "ALOHA Packet Broadcasting-A retrospect"
R. Rinder, N. Abramson et al. (Proceeding, National Computer Conference, 1975) IEEE Tutorial on Local Computer Network, second edition.
- 21- "Packet Switching in Radio Chanel: Part I Carrier Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characterization"
L. Kleinrock, F.A. Tobagi. IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-23 N° 12, December 1975.
- 22- "Global Bus Computer Communication Techniques"
E.C. Luczak. IEEE, Tutorial on A Pragmatic View of Distributed Processing Systems.
- 23- "Multiaccess Protocols in Packet Communication System"
F.A. Tobagi. IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-28, N° 4, April 1980.