

P. O'Callaghan (*) y G. Broner (**)

RESUMEN

Se ha diseñado y puesto a prueba, en forma experimental, una red local de microcomputadores, que resulta económica, en cuanto a costo de interfaces físicas, en comparación con las existentes actualmente en el mercado. La red alcanza buena velocidad, pero su manejo no sobrecarga mayormente la unidad central de procesamiento de cada computador. Así los usuarios pueden utilizar sus programas de aplicación sin verse afectados porque paralelamente están siendo ejecutadas rutinas de envío y recepción de mensajes. Estos logros se deben principalmente a que se utilizan como manejadores de red componentes del computador que disponen de mucho tiempo ocioso, como lo son el controlador de discos y el manejador de acceso directo a memoria.

ABSTRACT

We have designed and tested a new experimental Local Area Network for microcomputers using cheaper interfaces than others currently on the market. The network can operate at reasonable speed without loading the CPUs of the communicating nodes, thus having minimal impact on the perceived performance of user programs. These characteristics are obtained mainly because the network drivers are common systems components which are normally idle most of the time, such as the disk controller and DMA controller.

(*) PhD en Ingeniería de la Computación, Heriot-Watt University, Edimburgo, Escocia. Profesor Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. Director de Expert Computación, Caracas, Venezuela.

(**) Ingeniero Electrónico, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. Director de Logiciel S.R.L., Apartado 50939, Caracas 1070A, Venezuela.

La mayoría de las redes locales de computadoras son de tipo "broadcast" [1,2,3,4]. En este tipo de red existe un canal de comunicación único compartido por todas las máquinas que comunican, y cada máquina precisa sólo una interfaz física para conectarse a la red. Para transmitir un mensaje éste se envía al canal según un determinado método de acceso, y el mensaje es escuchado por todos, pero sólo es recibido por su destinatario. No existen elementos de conmutación, por lo que este tipo de red resulta más económico que una red tipo "punto a punto" [5].

Las redes locales que actualmente existen en el mercado, utilizan interfaces costosas para conectar cada computador. La razón de su costo reside en la relativa "inteligencia" de dichas interfaces o controladores. Sus funciones son:

Transmisión:

- Aceptar un mensaje a enviar del computador
- Almacenarlo en su memoria interna
- Formatear el mensaje en pequeños trozos o "paquetes" (utilizando un formato preestablecido)
- Agregarle códigos de comprobación de errores
- Serializar los datos y enviarlos por la red

Recepción:

- Detectar si un mensaje está destinado a su máquina
- Recibirlo
- Comprobar que no ha habido ningún error
- Ensamblar el mensaje
- Pasarlo al computador

Un enfoque para obtener redes de bajo costo ha sido utilizar la unidad central de procesamiento (CPU) de cada computador como manejador de la red [10]. Se logra pues tener una interfaz económica, pero el hecho de ocupar al procesador central en la transmisión y recepción de datos a la red presenta las siguientes desventajas:

1) El CPU realiza el trabajo de tomar los datos a enviar, serializarlos para mandarlos a la red, y calcular, para agregar al mensaje, códigos de comprobación de errores. Esto hace que en la transmisión o recepción de datos, el CPU no pueda realizar otras tareas, lo que puede tener bastante impacto en la velo-

2) En la recepción, además, el CPU es el encargado de "escuchar" por si llega algún mensaje. Esto obliga al CPU a interrumpir sus tareas para escuchar por ciertos intervalos de tiempo, lo que causa dos efectos negativos:

a) El CPU pierde tiempo de procesamiento, aún cuando no haya presencia de mensajes que lo involucren.

b) Como el CPU sólo será capaz de escuchar por cierto tiempo, para poder realizar sus otras tareas, habrá frecuentes intentos de transmisiones que no se reciben, lo que da lugar a un alto tiempo de establecimiento de la comunicación.

Varios de los efectos negativos del modelo anterior pueden ser solucionados asignando más inteligencia a la interfaz, y por tanto menos funciones al CPU. De esta forma se puede lograr una gran gama de posibilidades en las cuales se descarga de más o menos funciones al procesador central. Por supuesto que al aumentar el número de funciones que realiza la interfaz, se está elevando el costo de la misma, por lo que se enfrenta una relación de compromiso "ineludible".

En el diseño que presentamos a continuación, se logra eludir el mencionado compromiso, en tanto que se obtiene una red con interfaces de bajo costo en las cuales el CPU realiza las mismas tareas que en las redes que utilizan interfaces altamente inteligentes. La clave de dicho rendimiento está en que se ha buscado utilizar componentes "inteligentes" existentes en el computador y que dispongan de mucho tiempo ocioso.

EL DISEÑO DE ANNETTE

En Annette se ha utilizado, como controlador de la red, componentes ya existentes en la mayoría de los computadores, como son el controlador de discos y el manejador de acceso directo a memoria (DMA). El uso de dichos componentes presenta las siguientes ventajas:

1) El procesador central del computador no se ve sobrecargado por el uso de la red.

2) El controlador de discos y el manejador de DMA son dos elementos capaces de realizar las funciones propias de un controlador de red, como son la serialización de los datos, la comprobación de errores, y la generación de

formatos compatibles para transmisión y recepción de mensajes.

3) Debido a que estos elementos se encuentran ociosos la mayor parte de su tiempo, pueden ser destinados a "escuchar" si llega algún mensaje.

4) Permite conectar gran variedad de equipos que utilizan controladores de discos compatibles.

5) La interfaz física agregada puede ser una tarjeta independiente que se conecta al computador como si fuera una unidad de disco flexible adicional y que por otra parte posee una conexión a la red.

6) Dicha interfaz sólo necesita realizar tareas sencillas, que se explicarán a continuación, por lo cual su costo es muy bajo.

Desde un punto de vista lógico, la interfaz a la red se encarga de que la dupla DMA - Controlador de Discos vea la red como si fuera una unidad de discos adicional (Fig. 1). Por dicho motivo, existirá una correspondencia directa entre las operaciones de escritura y lectura de discos (a bajo nivel), con la transmisión y recepción de paquetes en la red:

- La escritura de un sector con su formato apropiado en el disco virtual "red", corresponderá a una transmisión de un paquete.
- La lectura de un sector del disco virtual "red" corresponderá a la recepción de un paquete.
- Se asocia un número de sector en la escritura al disco virtual "red" con una dirección de destinatario.

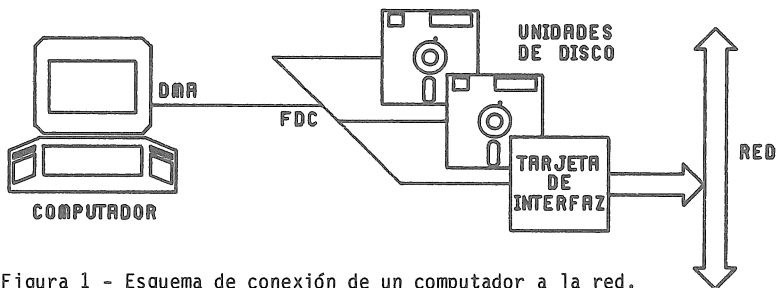


Figura 1 - Esquema de conexión de un computador a la red.

La comunicación entre máquinas se logra de la siguiente manera:

- Cada máquina posee una dirección única (asociada a un número de sector).
- Toda máquina se encuentra con su controlador de discos programado para leer el sector asociado a su propia dirección [11], y el manejador de DMA está pro-

gramado para llevar los datos leídos a posiciones de memoria específicas [12].

- La unidad de discos seleccionada es el disco virtual "red" por lo que el controlador de discos estará "escuchando" la red hasta que le llegue un paquete dirigido a él.

- Quien desea transmitir cambia la programación del controlador de discos y del manejador de DMA para que escriban en disco. (Para enviar un paquete se escribe el sector asociado a la dirección del destinatario, usando el modo "write track" del controlador de discos [11]).

- El destinatario recibe el paquete, ya que éste posee el formato del sector asociado a su dirección que el controlador de discos está esperando. El controlador de discos receptor realiza la comprobación de errores y pasa los datos recibidos al manejador de DMA, quien a su vez los transfiere a memoria. Al finalizar, el controlador de discos da una interrupción al CPU.

El método de acceso utilizado es de tipo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), el cual es utilizado exitosamente por la red Ethernet [1]. En breve, es un método de acceso distribuido a un canal único compartido. Quien desea transmitir, si ve el canal libre puede hacerlo. En caso de que más de un computador intente transmitir ocurre una "colisión". Ésta es detectada por la interfaz, que constantemente compara lo que envía al canal con lo que recibe de éste. De ocurrir una colisión, cada máquina involucrada se retira por un tiempo aleatorio antes de intentar una retransmisión.

La topología de la red es tipo bus: el canal de comunicación pasa por todas las máquinas, y éstas se conectan a través de un corto cable de interfaz.

La topología y el control de acceso utilizado hacen que la red sea fácilmente reconfigurable, ya que el protocolo no depende del número de máquinas, y una máquina puede incorporarse o retirarse físicamente de la red simplemente conectándose o desconectándose del canal común.

La forma de propagación escogida por el medio de transmisión es de tipo "wired-or": el canal de transmisión se encuentra a un voltaje estable, y quien quiere transmitir lo lleva a 0 Volts. Esto se logra utilizando un medio de transmisión acoplado [8,9], con una fuente de voltaje continuo acoplada en un extremo, y una impedancia de terminación en el otro (Fig. 2). Cada computador, en su interfaz a la red, posee un comparador de alta impedancia de entrada para escuchar, y un transistor en estado de corte para transmitir (Fig. 3). Estos dos componentes se conectan a través de un cable corto al canal de comunicación, y como su impedancia es de varios órdenes de magnitud superior a la del medio,

puede considerarse que las interfaces al escuchar prácticamente no presentan desacople al medio de transmisión. La transmisión se realiza saturando el transistor de salida, el cual lleva a 0 Volts el voltaje del canal. El pulso se propaga en los dos sentidos hasta llegar a los dos extremos del canal donde es absorbido por las impedancias de acoplamiento. Se han hecho pruebas con par de cables telefónico y con coaxial standard de televisión (75 ohms), en ambos casos utilizando medio acoplado. La escogencia entre estos medios dependerá de la distancia máxima deseada de transmisión.

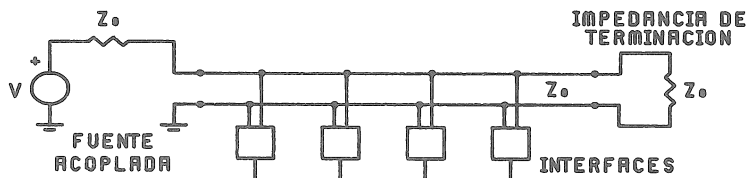


Figura 2 - Esquema eléctrico de la red.

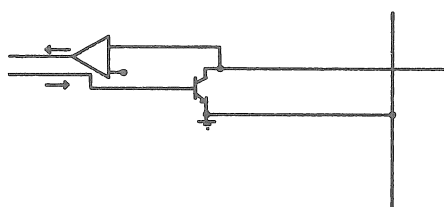


Figura 3 - Esquema de conexión eléctrica de una interfaz a la red.

La forma de codificación de los bits transmitidos es la misma utilizada por el controlador de discos, a nivel lógico [11]. La señal generada por el controlador de discos es llevada a niveles de voltaje apropiados (0 lógico es el voltaje estable del canal, y 1 lógico es 0 Volts o el voltaje de saturación).

La velocidad de transmisión es entonces la velocidad de escritura en discos. Las pruebas realizadas se han hecho con controladores de densidad sencilla, obteniéndose 250 K bits por segundo. De acuerdo al uso real de redes en funcionamiento [7] esta velocidad parece ser aceptable para gran variedad de aplicaciones.

La interfaz física es de bajo costo porque debe realizar tareas simples:

- Convertir niveles de voltaje

- Detectar colisiones (dicha detección en forma simplificada es una comparación entre lo que se escribe al canal y lo que se escucha).

- Simular el funcionamiento de una unidad de discos para el computador, por lo cual debe generar en forma apropiada los pulsos de "index" que corresponden al paso del agujero del disco flexible.

El formato de paquete corresponde con el formato utilizado por el controlador de discos [11], y en la figura 4 puede verse la correspondencia entre el significado que posee cada campo en la escritura de discos y en la transmisión de datos.

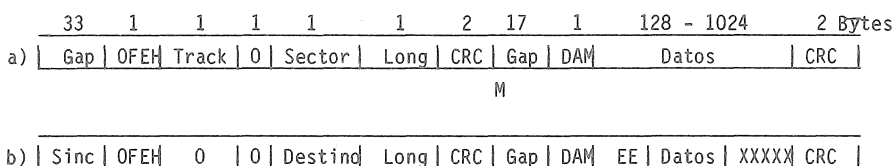


Figura 4 - a) Formato de escritura en discos. b) Formato de un paquete.

El identificador de sector en la escritura de discos es usado como identificador de destino y de longitud del paquete (comienzo del paquete en la figura 4 hasta el punto M). Este identificador es interpretado por el controlador de discos receptor, quien realiza las comprobaciones de error (corroborar el CRC) y pasa al computador el campo de "Datos" solamente.

Los primeros bytes del campo de datos (EE) se utilizan para:

- 1) Indicar el origen del paquete.
- 2) Indicar la longitud real de los datos (el campo de datos puede ser de varios tamaños posibles [11], pero puede estarse enviando menos datos que el tamaño completo).
- 3) Llevar a cabo el protocolo de enlace.

El protocolo de enlace se refiere al conjunto de normas a seguir, relativo a retransmisiones de paquetes, para proveer un canal de comunicación "libre de errores" [6]. El protocolo aquí utilizado es una variante del "Alternating Bit" [5], y cuenta con un reconocimiento ("ACK") inmediato de paquetes. Es importante tener un ACK en este tipo de red, ya que un paquete podría perderse si

el controlador de discos está ocupado realizando operaciones de lectura o escritura de discos.

En breve, el protocolo se desarrolla de la siguiente forma:

- Cada paquete lleva un bit de secuencia, el cual alterna cada vez que se transmite un nuevo paquete, pero se mantiene en caso de retransmisiones.
- Cuando una máquina recibe un paquete, envía inmediatamente un corto paquete (ACK) que avisa al origen la recepción correcta del mismo.
- Si el bit de secuencia del paquete recibido, corresponde con el esperado, el paquete se acepta como paquete nuevo.
- Si el bit de secuencia no corresponde, el paquete se bota por tratarse de un duplicado.
- Por su parte, el transmisor retransmite un paquete cuando no recibe el ack correspondiente.

El envío del ACK se hace en forma inmediata al recibir un paquete. Para evitar que el ACK pueda chocar con otro paquete, su envío toma lugar mientras todas las máquinas todavía están viendo el canal ocupado. El ACK inmediato permite que éste no deba llevar ninguna información. Su presencia indica bien recibido, mientras que su ausencia indica mal recibido o no recibido. Además, el ACK inmediato puede ser muy corto (un identificador de sector desde el punto de vista del controlador de discos), mientras que un paquete de ACK tendría que ser más largo y estaría sujeto a colisiones, lo que complicaría el protocolo.

Existe un paquete especial para inicializar el bit de secuencia en caso de fallas en la máquinas, o en caso de ser la primera vez que se envía un paquete a tal destino.

Por otra parte, cada paquete indica cuando es comienzo de mensaje y/o fin de mensaje, para que el receptor pueda reensamblar los mensajes, y sea capaz de reconocer un mensaje inconcluso.

ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Se han diseñado y puesto a prueba las interfaces físicas en forma experimental lográndose comunicar máquinas con el método propuesto. Para las pruebas se ha usado el controlador de discos FDC-1771 [11], el cual utiliza formato compatible con IBM 3740.

Las rutinas que cumplen el protocolo de enlace descrito están a nivel de desarrollo e implementación bajo el sistema operativo CP/M, y se busca que no molesten los programas de aplicación de los usuarios. El diseño detallado del formato de los paquetes también se está finalizando y será publicado en [13].

GENERALIDAD DE ANNETTE

Annette es una arquitectura general de red. Las pruebas realizadas han sido hechas utilizando formato compatible con IBM, pero podría utilizarse cualquier otro. El único requerimiento es que todos los computadores tengan un controlador de disco compatible. Si un computador no lo posee, se le podría agregar una interfaz que tenga un controlador de disco. Se podría tener, además, pequeños microcomputadores dedicados al manejo de periféricos, que cuenten con un controlador de disco con el solo fin de conectarse a la red.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado una red local de computadoras que permite conectar gran variedad de equipos que posean controladores de discos compatibles.

Las redes que existen en el mercado son una representación de una amplia gama de soluciones parciales a la relación de compromiso existente entre el deseo de que el CPU realice pocas tareas en el manejo de la red, y el deseo de que las interfaces sean económicas. No conocemos otra arquitectura que haya logrado ambas metas simultáneamente.

La red desarrollada presenta las siguientes ventajas:

1) Utiliza interfaces muy baratas.

2) No sobrecarga al CPU, debido a que casi todas las funciones las realizan componentes que disponen de mucho tiempo ocioso.

En desarrollos posteriores [13], se buscará evaluar la distancia máxima de operación de la red, así como el número de máquinas que ésta podría soportar. Actualmente, los cálculos están siendo realizados en base a una distancia de 500 metros por segmento de cable coaxial acoplado. El máximo número de computadores

que podrían conectarse a la red, podría estimarse de forma que ofrezca un servicio similar al que ofrece una red local comercial con alta carga. Consideramos que dicho número estará entre 25 y 50 máquinas.

Las posibles aplicaciones de la red dependerán de las evaluaciones antes mencionadas, pero en principio habrá diversas aplicaciones en las que podría ser utilizada, como por ejemplo oficinas que deseen utilizar un correo electrónico o compartir recursos costosos, como impresoras de calidad o unidades de almacenamiento masivo.

REFERENCIAS:

- 1) "ETHERNET: DISTRIBUTED PACKET SWITCHING FOR LOCAL COMPUTER NETWORKS", R. M. Metcalfe y D. R. Boggs, Comm. ACM, July 1976.
- 2) "THE ETHERNET, A LOCAL AREA NETWORK: DATA LINK LAYER AND PHYSICAL LAYER SPECIFICATIONS, VERSION 1.0", Digital Equipment Corporation, Intel, Xerox, Sept. 1980.
- 3) "EVOLUTION OF THE ETHERNET LOCAL COMPUTER NETWORK", J. Shoch, Y. Dailal, D. Redell, R. Crane, IEEE Computer, August 1982.
- 4) "UNTANGLING LOCAL AREA NETWORKS", R. Parker, S. Shapiro, Computer Design, March 1983.
- 5) "COMPUTER NETWORKS", A. Tanenbaum, Prentice Hall, 1981.
- 6) "OSI REFERENCE MODEL - THE ISO MODEL FOR OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION", H. Zimmermann, IEEE Trans. Comm., April 1980.
- 7) "MEASURED PERFORMANCE OF AN ETHERNET LOCAL NETWORK", J. F. Schoch y J. A. Hupp, Comm. ACM, Dec 1980.
- 8) "FOUNDATIONS FOR MICROWAVE ENGINEERING", R. E. Collin, Ed. Mc Graw Hill, 1966.
- 9) "PROPAGATION ON A TRANSMISION LINE", Application Note 62, Hewlett Packard.
- 10) "RAMA", Tesis de Maestría en Ingeniería Electrónica de O. Moreán, Tutor: O. Chang, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- 11) "INS 1771-1 FLOPPY DISK FORMATTER/CONTROLLER", National Semiconductors, April 1977.
- 12) "8257 PROGRAMMABLE DMA CONTROLLER", Intel Corporation, 1978.
- 13) "RED LOCAL ECONOMICA DE ALTO RENDIMIENTO PARA MICROCOMPUTADORES", Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación a ser presentada en el presente año, G. Broner, Tutor: P. O'Callaghan.