

En resumen, las ventajas principales de las redes de banda ancha son la posibilidad de integrar todo tipo de señales en un solo medio y la gama de distancias que pueden abarcar. Sin embargo, la utilización de módems entraña un coste superior y una planificación e instalación de la red más elaboradas.

4.4 Resumen

Las principales técnicas de transmisión son Banda Base y Banda Ancha.

En Banda Base, dominante en las redes locales, la señal digital se transmite utilizando todo el ancho de banda, por lo que son necesarios mecanismos de compartición del medio. La señal se codifica con objeto de facilitar la sincronización. El sistema de codificación más empleado es el Manchester.

En la transmisión Banda Ancha las señales analógicas transmitidas son previamente moduladas y en la recepción demoduladas. Para ello se emplean dispositivos especiales denominados módems. El ancho de banda del medio puede ser dividido en canales independientes mediante técnicas de división por frecuencias (FDM).

4.5 Lecturas recomendadas

- A. Artom. *Principios de Transmisión de Datos*. RA-MA, 1987.
- Jesús García Tomás. *Sistemas y Redes Teleinformáticas*. RA-MA, 1990.
- Jesús García Tomás, J. García San Luis. *Redes de Área Local*. Facultad Informática Madrid, FIM, 1990.
- A. S. Tanenbaum. *Redes de Ordenadores*. Prentice-Hall, 1991.

CAPÍTULO 5

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Las redes locales se componen de un conjunto de dispositivos que deben compartir la capacidad de transmisión de la red a la que se encuentran conectados. Por tal motivo, para evitar conflictos y errores, se hace necesario algún método de control de acceso al medio de transmisión.

El protocolo de control de acceso al medio es el factor que más caracteriza el funcionamiento de una red de área local. De él dependen parámetros básicos en la evaluación de una red como son el rendimiento, fiabilidad, disponibilidad y la gestión de red.

- Rendimiento: depende del grado de aprovechamiento del medio, su capacidad para repartir el derecho de acceso y la resolución de conflictos de acceso.
- Fiabilidad: el protocolo debe proporcionar los mecanismos necesarios para asegurar un servicio continuo sin errores y debe ser capaz de detectar y corregir situaciones anómalas.
- Disponibilidad: la oportunidad de acceso debe estar en todo momento bien repartida entre todas las estaciones conectadas a la red.
- Gestión de red: aspectos como la reconfiguración de la red, gestión de nodos con prioridades, direccionamiento a todas las estaciones (*broadcasting*), etc. deberían estar incluidos en el método de acceso.

En este capítulo se analizarán esquemáticamente las técnicas de acceso al medio más utilizadas. En los capítulos de la PARTE III se estudiarán en profundidad los procedimientos "clásicos" normalizados por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) y adoptados por ISO: CSMA/CD (802.3), Paso de Testigo en

Bus (802.4) y Paso de Testigo en Anillo (802.5). Los estándares de redes de alta velocidad, FDDI (*Fiber Data Distribution Interface*, ANSI X3T9.5) y DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*, IEEE 802.6), se analizarán en la PARTE IX. En esta parte también se describen los principios de las arquitecturas de redes de alta velocidad, como RDSI y *Frame Relay*, así como la tecnología ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

Las características básicas que permiten proporcionar una primera clasificación de las técnicas de acceso al medio son: el “dónde” y el “cómo”. El “dónde” hace referencia al tipo de control, que puede realizarse de forma centralizada o descentralizada. En un esquema centralizado una estación garantiza el derecho de acceso a la red. La estación que deseé transmitir debe esperar hasta que reciba permiso de la estación maestra. En una red con control distribuido el conjunto de estaciones realiza colectivamente la función de control de acceso al medio para determinar dinámicamente el orden de transmisión.

Las principales ventajas del esquema centralizado son:

- Permite un mayor control sobre el acceso.
- Se facilita la gestión de la red (asignación de prioridades y resolución de conflictos).
- La lógica de las estaciones, excepto en la estación maestra, es lo más sencilla posible.

Entre sus inconvenientes destacan:

- Se trata de una red muy vulnerable (la funcionalidad de la red está muy localizada).
- La estación controladora puede actuar como cuello de botella, reduciendo la eficiencia de la red.

Los pros y los contras del control centralizado son, respectivamente, las desventajas y ventajas del control distribuido.

En relación al “cómo”, los métodos de acceso pueden clasificarse en dos grandes grupos: compartición y repartición del medio.

Los métodos de repartición del medio son procedimientos estáticos. Se dedica una capacidad fija a una conexión. No son adecuados para redes de área local, debido a que la demanda de las estaciones es, por lo general, impredecible. Es preferible tener

la posibilidad de asignar la capacidad de forma dinámica, en función del tráfico, como se hace en los procedimientos de compartición.

En la figura 5.1 se representa una clasificación de los métodos de acceso. Se han destacado la técnicas estandarizadas más utilizadas o con un alto potencial de utilización, como es el caso de la tecnología ATM.

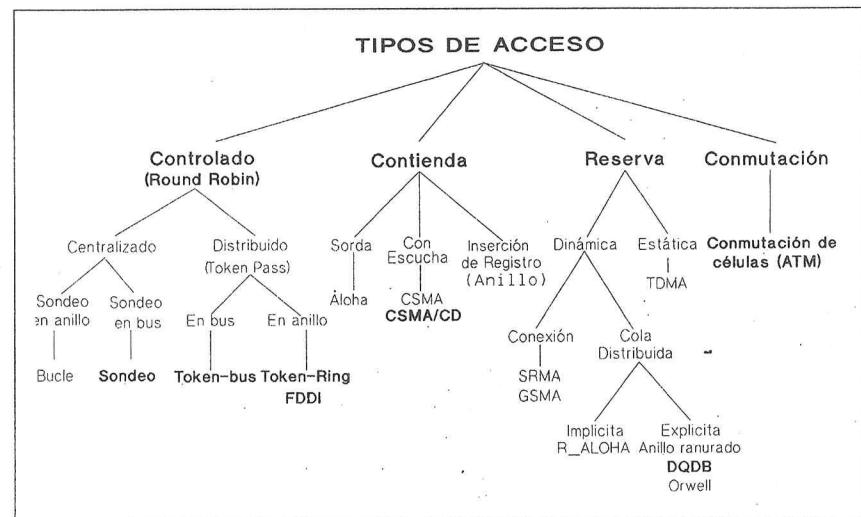


Figura 5.1. Tipos de métodos de acceso

Los métodos de compartición más utilizados en la actualidad son CSMA/CD, perteneciente a las técnicas de contienda y paso de testigo en anillo, en el grupo de las técnicas controladas. También se consideran los métodos de reserva, por una parte, para mantener la clasificación tradicional, y por otra para incluir el procedimiento denominado DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*) utilizado en redes de área metropolitana (MAN, *Metropolitan Area Network*). Para introducir la posibilidad de utilización de técnicas ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) en las redes de área local, lo cual es probable que se produzca gradualmente —en una primera fase en las redes dorsales que interconecten gran número de estaciones o que canalicen el tráfico de servidores de alto tráfico—, se ha añadido el grupo denominado de Comunicación orientada a Conexión.

Ciertamente, la tecnología ATM podría incluirse entre los procedimientos de reserva. No obstante, a efectos metodológicos, es preferible incorporarla en un grupo independiente.

Existen otros tipos de conmutadores para redes de área local que realizan la conmutación de tramas en función de las etiquetas de direcciones de las mismas y que permiten una alta compatibilidad con las arquitecturas clásicas, pues las estaciones mantienen la misma estructura de las tramas. Estas técnicas son un complemento a los procedimientos de compartición más utilizados, como los métodos de contienda y el paso de testigo, por lo que no requieren un estudio particular en este capítulo. Se analizarán en las PARTES VI y IX.

A continuación, se realiza una descripción de los diversos métodos.

5.1 Métodos de compartición del medio

Como se ha indicado, estas técnicas permiten asignar la capacidad del medio dinámicamente, en función del tráfico de los usuarios. Pueden agruparse en las categorías reflejadas en la figura 5.1

5.1.1 Controlado o Round Robin

Las técnicas de *Round Robin* son conceptualmente simples, basadas en la filosofía de “conceder a cada uno una oportunidad”. Cada estación, por turno, recibe el permiso para transmitir. Durante esta oportunidad la estación puede declinar transmitir, o bien transmitir sujeta a ciertos límites superiores, generalmente expresados en cantidad máxima de tiempo. En cualquier caso, la estación, cuando finaliza, debe ceder su turno, pasando el derecho de transmisión a la siguiente estación dentro de la secuencia lógica de estaciones.

El control de los turnos puede estar centralizado o distribuido. El sondeo o *polling* es un ejemplo de técnica centralizada. Las técnicas de paso de testigo pertenecen al grupo de métodos distribuidos.

5.1.2 Contienda

En este tipo de técnicas un nodo es libre de lanzar sus mensajes en cualquier momento, sin estar seguro de que ningún otro dispositivo está intentando transmitir simultáneamente. Cuando dos o más estaciones intentan ocupar el canal al mismo tiempo, se produce una colisión —interferencias provocadas por la transmisión simultánea— entre los mensajes que estaban siendo emitidos. Acto seguido se desencadena un proceso o algoritmo de contienda para resolver la posesión del medio.

Los métodos de contienda pueden clasificarse en técnicas con o sin escucha (transmisión sorda), según si poseen o no información del estado del canal —libre u ocupado—. Normalmente esta escucha se efectúa por detección de la presencia de la señal, tomando el nombre de técnicas de Acceso Múltiple con Detección de Portadora (CSMA, *Carrier Sense Multiple Access*).

En un segundo nivel, las técnicas de contienda pueden clasificarse en troceadas o no troceadas (*slotted - unslotted*). Este troceado puede ser de paquete o de retardo, diferenciándose en el intervalo (*slot*) que toman como referencia para dividir el tiempo con vistas a la transmisión de los paquetes.

Troceado de paquete. En las técnicas en las que se emplea el troceado de paquete, el tiempo se divide en intervalos iguales de un tamaño correspondiente a la duración de un paquete (cuya longitud ha de ser fija). Los dispositivos deben estar sincronizados con un reloj maestro que marca los intervalos. Cuando una estación tiene un paquete para transmitir, espera al principio del siguiente intervalo y si actúa sin escucha (técnica sorda) procede a su transmisión.

Troceado de retardo. Los métodos que hacen uso de este troceado dividen el tiempo en intervalos, llamados *T-slots*, cuya duración es igual al retardo máximo de propagación de extremo a extremo del canal. Los dispositivos se encuentran también sincronizados respecto a un reloj maestro. El troceado con retardo se utiliza en las técnicas con escucha donde dicho retardo incide en la decisión a tomar de si el canal está libre o no. A diferencia de lo que ocurre en el troceado por paquete, la longitud de éste puede ser variable.

5.1.3 Reserva

Esta técnica se caracteriza porque los nodos solicitan una reserva y no inician la transmisión de la información hasta que ésta se les concede. Son métodos libres de colisiones en cuanto a la transmisión se refiere, pudiendo darse este hecho en el proceso de establecimiento de la reserva.

Los métodos de reserva, pertenecientes al grupo de compartición del medio, se pueden subdividir en:

- **Sistemas Centralizados** compuestos normalmente por dos canales, uno asignado a la transmisión de los mensajes y otro a resolver las demandas de reserva. Estos canales pueden estar multiplexados en el tiempo o en la frecuencia. La técnica SRMA (*Split channel Reservation Multiple Access*) corresponde a este último caso. El problema de efectuar la reserva por el canal especial es idéntico al planteado en el acceso al medio para transmisión de los mensajes, y se resuelve generalmente utilizando una técnica de contienda. Si

se recurre, por el contrario, a un método de selección multiplexado, resulta un sistema sin colisiones. Este último caso se da en la técnica GSMA (*Global Scheduling Multiple Access*). Los tipos de reserva que pueden ser solicitados son de conexión, en el que se solicita al controlador la reserva del recurso por un determinado período de tiempo, o de mensaje, en el que se efectúa una nueva reserva para cada mensaje a transmitir.

- **Sistemas Distribuidos** en los que la asignación de las reservas se realiza colectivamente por todos los nodos de la red. Puede distinguirse entre técnicas implícitas y explícitas. En las primeras no existe propiamente un procedimiento de solicitud y resolución de reserva previa a la transmisión, por lo que una estación que pretende utilizar el canal intenta tomarlo directamente. Si lo consigue, todas las demás estaciones entienden que lo tiene reservado hasta que se señalice lo contrario. Durante la toma inicial del canal se pueden producir colisiones que se resolverán utilizando algunas de las técnicas de contienda. Un ejemplo de esta técnica es la R_ALOHA. En las técnicas de reserva explícita, previamente al proceso de transmisión se inicia un procedimiento de establecimiento de reservas, que hasta que no es resuelto no permite la emisión de los mensajes. Las reservas explícitas se realizan para un solo paquete (método "subramas" de reserva) o para un lote o mensaje de información completo. Ejemplo clásico de técnica de reserva explícita con control distribuido es el anillo ranurado (*slotted ring*). El estándar IEEE 802.6 conocido como DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*) también puede encuadrarse entre las técnicas explícitas.

5.2 Acceso controlado

5.2.1 Control centralizado: Sondeo

La técnica de sondeo es un método ampliamente utilizado en las tradicionales redes de área extensa.

Se fundamenta en la relación maestro-esclavo entre el nodo central y las demás estaciones del anillo o bus.

En el caso de la topología en anillo (bucle), para que un nodo pueda transmitir debe recibir permiso del nodo central a través de un mensaje de "sondeo". Este permiso va pasando secuencialmente de estación en estación a lo largo de toda la red. La estación puede transmitir cuando recibe permiso. Al finalizar su transmisión pasa el permiso a la estación siguiente. El inconveniente de esta técnica reside en la necesidad de que la comunicación entre dos nodos cualquiera pase por la estación central.

En el caso de la topología en bus (típica de las redes multipunto), la estación central pregunta, por turnos, a cada estación subordinada, si tiene algún mensaje para enviar; en caso afirmativo, la estación subordinada, recibe permiso para enviar la información a la estación central que, a su vez, la transmite hacia la estación destino. Durante esta transacción la estación subordinada también recibe los datos que pudieran estar destinados a ella. Este mismo nodo, para volver a transmitir, ha de esperar a ser interrogado de nuevo.

La diferencia con la técnica anterior estriba en que es necesario transmitir un mensaje para cada nodo, ya que si se realizase con un mensaje de "sondeo" para todas las estaciones podría causar colisiones en la respuesta. Se trata de un sistema sencillo de llevar a la práctica, no se producen conflictos entre estaciones que desean transmitir y es fácil establecer prioridades entre estaciones haciendo que las de mayor prioridad sean interrogadas con mayor frecuencia. No obstante, como estructura centralizada que es, se halla expuesta a los inconvenientes que plantea el fallo de la estación central y la interrogación de un número elevado de estaciones puede hacer que la espera entre turnos para una estación sea excesivamente larga.

Este método de control solía emplearse en redes locales de corto alcance, con pocos puestos de trabajo y con una baja frecuencia de transacciones.

Estos dos métodos expuestos no responden realmente al planteamiento de las redes de área local. En realidad, son sistemas que se utilizaban como control de dispositivos. Su mención, sin embargo, merece interés y además servirá como punto de partida y de comparación con otras técnicas propias de las redes locales.

5.2.2 Control distribuido

Este método puede considerarse como una forma de interrogación distribuida en la que todas las estaciones de la red intervienen en la circulación de un paquete especial de información que recibe el nombre de testigo (*token*) y que indica, a la estación que lo recibe, que tiene a su disposición el medio para efectuar una transmisión. Este método de acceso es aplicable tanto a las topologías en anillo como a las topologías en bus.

5.2.2.1 Paso de Testigo en Bus (Token bus)

En esta técnica las estaciones del bus o árbol forman un anillo lógico; es decir, a las estaciones se les asigna una posición lógica en una secuencia ordenada y circular. Cada estación conoce la identidad de su estación antecesora y de su sucesora en el anillo lógico. La ordenación física de las estaciones en el bus es irrelevante e independiente de la ordenación lógica.

En la figura 5.2 se muestra un ejemplo de esta técnica. Las estaciones B, C y D están inscritas en el anillo lógico por donde circula el testigo; por tanto, pueden enviar y recibir información. Las estaciones A y E están excluidas y no pueden enviar información; sin embargo, pueden seguir recibiéndola gracias a las características de la topología en bus.

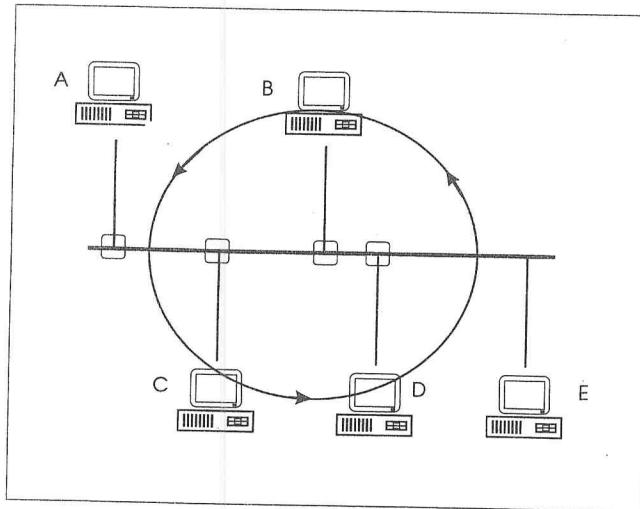


Figura 5.2. Ejemplo de paso de testigo en bus.

Como se ha indicado anteriormente, una trama de control, testigo o *token*, regula el derecho de acceso. La estación que recibe el testigo tiene garantizado el derecho de acceso al medio para transmitir. Una vez que haya finalizado su transmisión o expire el tiempo asignado, pasa el testigo a la estación siguiente en la secuencia lógica.

Como puede observarse, el estado normal de operación es una alternancia de fases de transferencia de información y transferencia de testigo. Las estaciones que no necesitan transmitir información pueden seguir conectadas a la red captando todas las transmisiones, si bien quedan excluidas del anillo lógico. Esta técnica requiere un gran esfuerzo de mantenimiento. Una o más estaciones deben realizar, como mínimo, las siguientes funciones:

- Iniciación del anillo: cuando se arranca la red o se recupera de un fallo de funcionamiento, el anillo debe iniciarse. Se necesita, en consecuencia, un algoritmo descentralizado que decida el orden de iniciación.

- Adición al anillo: periódicamente debe concederse la oportunidad a las estaciones no participantes de insertarse en el anillo.
- Eliminación del anillo: una estación debe ser capaz de retirarse del anillo.
- Recuperación de errores: como direcciones duplicadas o rotura del anillo.

Su calidad primordial es el rendimiento que se incrementa a medida que aumenta la tasa de datos hasta a alcanzar un nivel de equilibrio, sin llegar a desestabilizarse con la saturación del medio. Otra ventaja es la posibilidad de establecer prioridades en el acceso al medio, ya que es posible proporcionar tanto un esquema de acceso equitativo como un esquema de acceso con prioridades, el cual puede ser necesario en aplicaciones transaccionales o de tiempo real.

Por último, cabe destacar que se trata de un método de acceso determinativo; es decir, existe un límite superior para la cantidad de tiempo que una estación debe esperar antes de obtener el derecho de acceso. Este límite es conocido porque cada estación en el anillo lógico sólo puede “poseer” el testigo durante un tiempo máximo determinado. Esta característica, junto con su flexibilidad, hacen que este método se utilice para la automatización de procesos industriales (entornos MAP, *Manufacturing Automation Protocol*).

Entre sus desventajas cabe citar su complejidad y la infráutilización del ancho de banda con el paso de testigo en casos de baja carga del sistema.

5.2.2.2 Paso de Testigo en Anillo (Token Ring)

Possiblemente constituya la técnica de control de acceso para topología en anillo más antigua, propuesta en su forma original en 1969 y conocida como Newhall Ring. Este método ha sido normalizado por el comité de Normalización para red de área local IEEE 802 y ha saltado a un primer plano tras haber recibido el respaldo de IBM.

Esta técnica, al igual que la de paso de testigo en bus, se basa en una pequeña trama, testigo o “token” que circula a lo largo del anillo. Un bit indica su estado: libre u ocupado. Cuando ninguna estación transmite, el testigo simplemente circula por el anillo pasando de una estación a la siguiente. Una estación que deseé transmitir debe esperar a recibir el testigo; entonces modifica el estado del testigo de libre a ocupado e inserta a continuación la información a enviar junto con su propia dirección y la de la estación destino. El paquete de datos así modificado prosigue su circulación por el anillo hasta llegar a la estación receptora, que copia su contenido y lo vuelve a poner en circulación. Cuando el paquete vuelve a llegar a la estación emisora, ésta lo retira de la red y genera un nuevo testigo libre.

En la figura 5.3 se presenta un ejemplo de esta técnica. En un momento dado (1) el testigo pasa del nodo A al B. B desea enviar información al nodo D (2), para lo que modifica el testigo y hace circular la información por el anillo a través de C. Posteriormente (3), D copia la información, le añade la marca de recepción y la reenvía a B a través de A. Por último (4), B retira la información, genera un nuevo testigo y lo vuelve a poner en circulación.

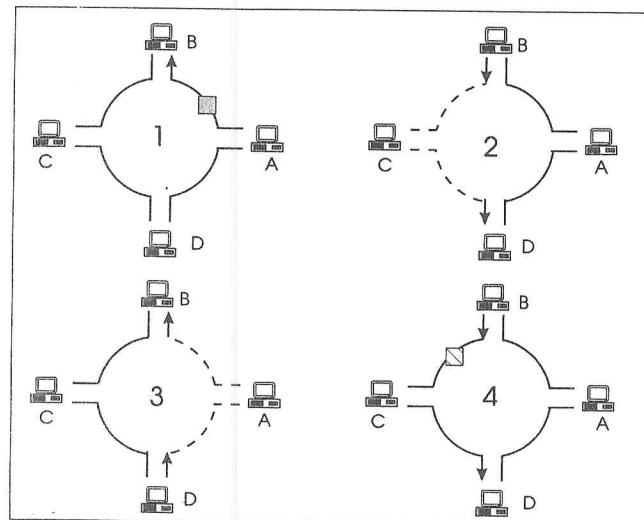


Figura 5.3. Ejemplo de paso de testigo en anillo

De manera análoga a la técnica de paso de testigo en bus son necesarias funciones de mantenimiento del anillo. Estas funciones, entre las que se incluyen las de supervisión del testigo, determinación y recuperación de errores, existen en todas las estaciones, pero sólo una actúa como monitor activo, mientras que las demás estaciones permanecen como monitores pasivos a la espera de posibles averías en el monitor activo.

La principal ventaja del paso de testigo en anillo es el elevado rendimiento, superior incluso al de paso de testigo en bus. Su adaptación, de forma natural, a la topología en anillo por su característica de medio unidireccional, mejora sensiblemente su eficiencia en relación al método token-bus. Otro de los beneficios lo constituye la garantía de un reparto equitativo de la red entre todas las estaciones; asimismo es posible establecer mecanismos de prioridades.

Entre sus desventajas se encuentran la disminución de la eficiencia en caso de baja carga del sistema debido a la circulación del testigo y su relativa complejidad en relación con los procedimientos de contienda.

5.3 Reserva - Anillo ranurado (*Slotted Ring*)

Su funcionamiento se basa en la circulación de una determinada cantidad de paquetes vacíos (ranuras o *slots*) en el anillo; veáse figura 5.4. Cada uno de estos paquetes tiene un bit de comienzo que identifica el estado del paquete (ocupado o libre) y un campo de dirección.

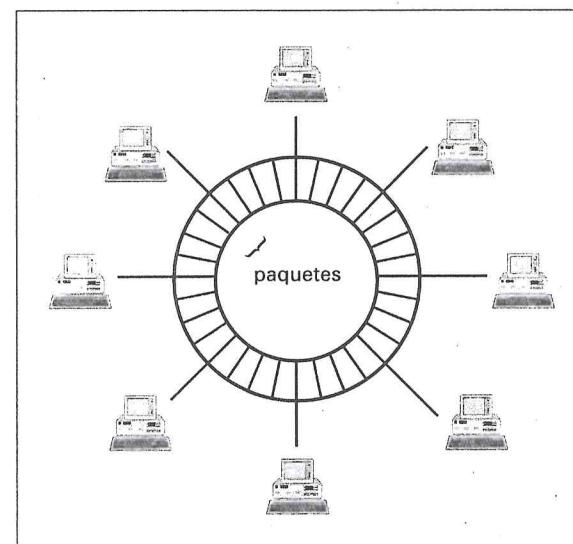


Figura 5.4. Esquema de la técnica de anillo ranurado

En el momento de activación de la red, todos los paquetes son iniciados como libres. Cuando una estación desea transmitir un mensaje espera hasta encontrar una ranura vacía, introduce en ella su información, cambia el estado del *slot* a ocupado y pone la dirección del nodo de destino. Mientras no reciba nuevamente la ranura que ha puesto en circulación, no podrá utilizar otra. Al volver el paquete a la estación emisora, ésta se encarga de restituir el estado de la ranura, dejándola como libre. Además, el *slot* contendrá información sobre si la estación destino aceptó o no el paquete. El número de paquetes en el anillo permanece invariable, y viene

determinado por la longitud de la ranura, la longitud total del anillo y el procedimiento de puesta en marcha que se utilice.

En la red se suele designar una estación monitora encargada de iniciar el funcionamiento, eliminar ranuras defectuosas y, en general, de las funciones de control de la red. La virtud básica de esta técnica se encuentra en su simplicidad; sin embargo, desperdicia una gran cantidad de paquetes vacíos en condiciones de poca carga y, por otro lado, los paquetes deben transportar gran cantidad de información de control, aspecto éste que hace disminuir su rendimiento de manera considerable.

Este método se utilizó originalmente en el anillo de Cambridge y se ha propuesto para redes MAN con el nombre de anillo de Orwell.

5.4 Acceso aleatorio o contienda

Las técnicas que se describen a continuación son denominadas acceso aleatorio o de contienda. Acceso aleatorio en el sentido de que no es predecible cuándo va a transmitir una estación: las transmisiones ocurren aleatoriamente. Técnica de contienda porque no existe control que determine el orden de transmisión; todas las estaciones deben competir por el derecho de acceso.

5.4.1 Acceso aleatorio

5.4.1.1 Transmisión sin escucha

El primero de los métodos de acceso aleatorio, denominado ALOHA o ALOHA puro, fue desarrollado para la comunicación de terminales dispersos con un ordenador central, vía satélite. Sin embargo, es aplicable a cualquier medio de transmisión compartido por un conjunto de usuarios no coordinados. El protocolo utilizado era simple: transmitir el mensaje en cuanto hubiera uno preparado para ello. A continuación, la estación escucha el medio durante un período de tiempo igual al doble del tiempo de propagación entre las dos estaciones más separadas; si recibía reconocimiento de la transmisión ésta había ido bien, de lo contrario reenviaba la trama. Después de repetidos intentos abandonaba. La trama puede considerarse inválida debido al ruido del canal o porque otra estación haya transmitido al mismo tiempo. En este último caso se produce una condición de error en la red denominada "colisión".

El método ALOHA es muy sencillo, y paga una penalización por ello. Dado que el número de colisiones aumenta rápidamente al incrementarse la carga del sistema, la utilización máxima del canal es sólo del 18%. Con el objeto de mejorar esta eficiencia

se modificó el método ALOHA mediante el método ALOHA ranurado, dividiendo el tiempo de transmisión del canal en intervalos fijos de duración igual al tiempo de transmisión de la trama, y permitiendo transmitir únicamente al principio de uno de estos intervalos. De esta forma se alcanza un rendimiento del 36%. La técnica Aloha ranurado se suele denominar también Aloha-S. Es interesante comentar que ha vuelto a cobrar actualidad por su utilización en telefonía móvil en el ámbito de oficinas, campus o recintos.

5.4.1.2 Transmisión con Escucha

Ambos métodos, ALOHA y ALOHA ranurado, exhiben una pobre utilización. Ninguno de ellos se beneficia de una de las principales ventajas de las redes locales de velocidad inferior a 10 Mbps: el retardo de propagación entre estaciones es generalmente muy pequeño comparado con el tiempo de transmisión de la trama. Considérense las siguientes observaciones. Si el tiempo de propagación entre estaciones es grande comparado con el tiempo de transmisión de la trama, entonces, después de que una estación emita una trama, pasará un período de tiempo prolongado hasta que otra estación detecte tal transmisión. Durante este tiempo puede transmitir cualquier otra estación. Se tendrá, por lo tanto, una colisión en la red. Supongamos, sin embargo, que el tiempo de propagación es muy pequeño comparado con el tiempo de transmisión de la trama. En este caso, la emisión de una trama por parte de una estación es conocida por las demás estaciones casi inmediatamente. De esta manera, si las estaciones dispusieran de alguna forma de detectar el estado de la red, no intentarían transmitir hasta que la primera estación hubiera finalizado. Las colisiones serían menores y sólo se darían en el caso de que dos estaciones comenzaran a transmitir casi simultáneamente.

Las anteriores observaciones llevaron al desarrollo de la técnica conocida como "acceso múltiple con detección de portadora" (CSMA, *Carrier Sense Multiple Access*) o "escuchar antes de hablar" (LBT, *Listen Before Talk*). Una estación que deseé transmitir, escucha primero el medio para determinar si hay otra transmisión en progreso. Si es así, la estación, tras un período de espera, lo vuelve a intentar, siguiendo uno de los algoritmos que se describen posteriormente. Si el medio está libre, la estación transmite; ahora bien, puede suceder que dos o más estaciones intenten transmitir casi al mismo tiempo. Se producirá en este caso una colisión. Para tratar esta situación, tras transmitir, la estación espera la confirmación, durante un período de tiempo razonable, teniendo en cuenta el retardo máximo de propagación de la red y el hecho de que la estación que tiene que emitir la confirmación debe, también, competir por el canal para responder. Si no hay confirmación, la estación emisora asume que se ha producido una colisión y retransmite.

La utilización máxima usando CSMA excede con diferencia a la de ALOHA y ALOHA ranurado. Esta utilización depende de la longitud de la trama y del tiempo de

propagación. Cuanto mayores son las tramas o menor el tiempo de propagación, mayor es la utilización.

En la técnica CSMA se hace necesario un algoritmo que especifique lo que debe hacer una estación si encuentra el medio ocupado. Existen tres posibles alternativas. Una de éstas es el algoritmo CSMA no-persistent. La estación que desea transmitir escucha el medio y sigue las siguientes reglas:

- 1) Si el medio está libre transmite.
- 2) Si el medio está ocupado, espera durante un período de tiempo extraído de una distribución de probabilidad (retardo de transmisión) y vuelve al paso 1.

La utilización de tiempos de retransmisión aleatorios reduce la probabilidad de colisiones. La desventaja reside en que, aunque haya varias estaciones preparadas para transmitir, es probable que exista un período de tiempo durante el cual el medio permanece ocioso después de una transmisión.

Para evitar este período de inutilización se emplea el protocolo 1-persistent. En este caso la estación que quiere transmitir escucha el medio y:

- 1) Si el medio está libre transmite.
- 2) Si el medio está ocupado continúa escuchando hasta que esté disponible, entonces transmite inmediatamente.
- 3) Si se produce una colisión, reconocida por la inexistencia de confirmación, espera durante un período de tiempo aleatorio y vuelve al paso 1.

La tercera técnica, CSMA p-persistent, es un compromiso entre reducir las colisiones, como el no-persistent, y reducir el período de tiempo ocioso del medio, como 1-persistent. Sus reglas son las siguientes:

- 1) Si el medio está libre transmitir con probabilidad p y con probabilidad $(1-p)$ retrasar la transmisión una unidad de tiempo. Esta unidad, generalmente, es igual al retardo máximo de propagación.
- 2) Si el medio está ocupado, continúa a la escucha hasta que el canal esté libre y vuelve al paso 1.
- 3) Si la transmisión se retrasa en una unidad de tiempo vuelve al paso 1.

La cuestión ahora es determinar el valor más efectivo de p . El problema básico es evitar la inestabilidad de la red en condiciones de alto tráfico. Consideremos el caso en que n estaciones tengan tramas para enviar mientras está teniendo lugar una transmisión. Al final de esta transmisión el número de estaciones que intentan transmitir es np . Si np es mayor que 1 serán varias las estaciones que transmitan y se

producirá una colisión; y lo que es más, tan pronto como estas estaciones se den cuenta de que ha habido una colisión, lo intentarán de nuevo, provocando así más colisiones. Además, estos reintentos competirán con las nuevas transmisiones de las otras estaciones, incrementándose la probabilidad de colisión. Finalmente, todas las estaciones estarán intentando transmitir, provocando continuas colisiones y haciendo que el rendimiento descienda drásticamente. Para evitar esta catástrofe, el producto np debe ser menor que 1, para el caso del pico de carga de n . A medida que p disminuye se reducen las colisiones, pero aumenta el tiempo de espera de las estaciones.

5.4.1.3 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)

La técnica CSMA, aunque más eficiente que ALOHA o ALOHA ranurado, presenta una manifiesta inefficiencia. Cuando dos tramas colisionan, el medio permanece sin usar mientras dura la transmisión de las tramas afectadas. En el caso de tramas largas en comparación con el tiempo de propagación, la cantidad de ancho de banda desperdiciada es considerable. Es posible reducir este tiempo de ociosidad del medio si la estación se mantiene escuchando el canal mientras transmite (detección de colisión). En este caso se añaden las siguientes reglas a las de CSMA:

- 1) Si se detecta una colisión durante la transmisión, ésta cesa inmediatamente y se transmite una pequeña trama de consenso de colisión (trama de *jam*) para asegurarse de que todas las estaciones se han enterado de la existencia de la colisión.
- 2) Despues de emitir la señal de *jam* se intenta transmitir, tras esperar un período de tiempo aleatorio, usando, de nuevo, CSMA.

En la figura 5.5 se representa la operación de la técnica CSMA/CD.

Cuanto mayor sea la longitud de la red mayor será el número de colisiones y menor el rendimiento, debido a que el tiempo requerido para detectar colisiones es mayor. La cuestión, ahora, es evaluar este tiempo. La figura 5.6 ilustra la respuesta para el caso de sistemas banda base. Consideremos el caso peor: dos estaciones separadas a la mayor distancia posible. Como puede observarse, el tiempo en detectar una colisión es igual a dos veces el retardo de propagación. Se deduce, también, la necesidad de utilizar tramas lo suficientemente grandes como para permitir la detección de la colisión antes de que finalice la transmisión. En la mayoría de los sistemas que utilizan CSMA/CD se requiere que todas las tramas sean como mínimo de esa longitud.

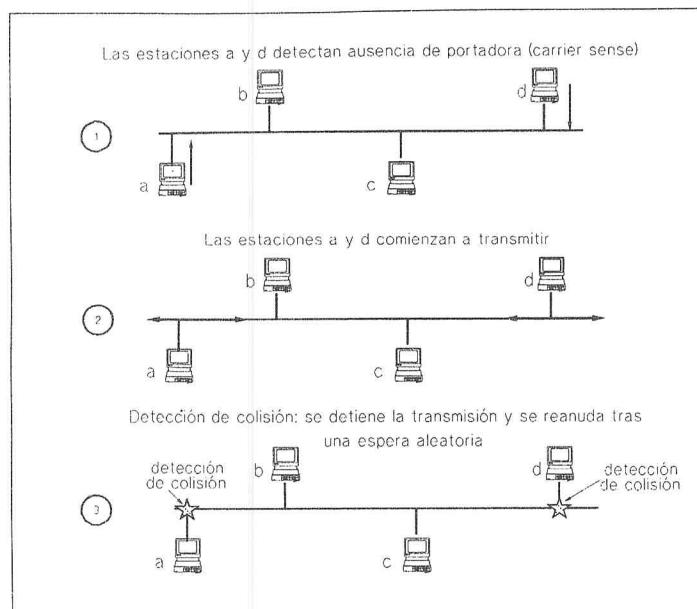


Figura 5.5. Acceso CSMA/CD

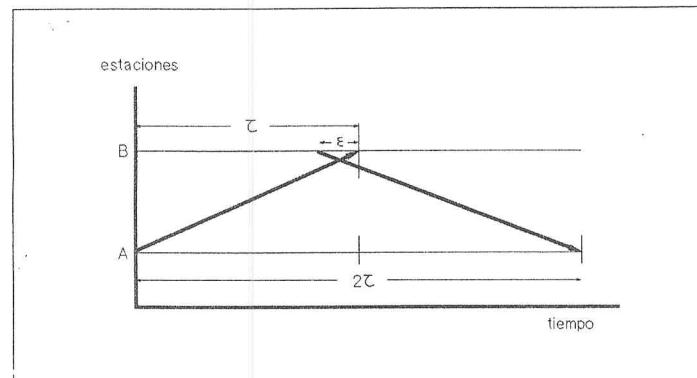


Figura 5.6. Detección de colisión

Es interesante analizar qué algoritmo de persistencia se emplea en el caso de CSMA/CD. Puede resultar sorprendente la elección de la técnica 1-persistente. Tanto

Ethernet como IEEE 802 utilizan este algoritmo. Las técnicas no-persistentes y p-persistentes presentan problemas de rendimiento. En el caso del no-persistentes la capacidad del medio se ve desperdiciada debido a que éste generalmente permanece ocioso tras una transmisión, aunque haya estaciones esperando transmitir. En el caso del p-persistentes, p debe ser lo suficientemente bajo como para evitar el problema de la inestabilidad, lo que conlleva, en ocasiones, enormes retrasos en condiciones de poco tráfico.

El algoritmo 1-persistent, que después de todo significa $p=1$, podría parecer incluso más inestable que el p-persistent, debido a la "codicia" de las estaciones por transmitir. Lo que le salva de caer en la inestabilidad es que el tiempo desperdiciado debido a una colisión es corto (si las tramas son grandes en relación con el tiempo de propagación) y que, con el algoritmo de resolución de colisiones denominado *random backoff*, es improbable que dos tramas involucradas en una colisión vuelvan a colisionar en los próximos intentos. Para asegurarse de que el *backoff* mantiene la estabilidad, IEEE 802.3 y Ethernet utilizan la técnica denominada *binary exponential backoff*. Una estación intentará transmitir repetidamente en caso de una colisión, pero después de cada colisión se dobla el valor medio del retraso aleatorio; y tras 16 intentos abandonará e informará del error.

El algoritmo 1-persistent presenta una gran ventaja, el mantener su eficiencia en una amplia variedad de características de tráfico. En el caso de tráficos bajos garantiza que una estación pueda disponer del canal tan pronto como éste quede libre, en contraste con las técnicas no-persistentes y p-persistentes. Con tráficos elevados es tan estable como las otras técnicas. Como desventaja, debida al algoritmo de *backoff*, indicar el efecto "último en llegar, primero en salir" (*last-in, first out*): las estaciones sin colisiones o con muy pocas, dispondrán de la oportunidad de transmitir antes que estaciones que han esperado más tiempo.

Entre las ventajas merece la pena destacar la simplicidad del algoritmo. Esto supone una implementación sencilla, de bajo coste y alta fiabilidad, aspectos éstos sobre los que también resalta el hecho de tratarse de una técnica muy utilizada y suficientemente probada. Proporciona, además, un acceso equitativo a la red y exhibe, como se verá posteriormente, un buen rendimiento hasta una determinada carga.

Presenta también inconvenientes; resulta difícil, para los equipos de diagnóstico, distinguir entre errores esperados, por ejemplo, procedentes de colisiones, y aquéllos inducidos por ruido o fallos. La detección de colisiones impone un tamaño mínimo de trama, lo que supone la infrautilización del ancho de banda en situaciones donde predominan los mensajes cortos, como pueden ser entornos altamente interactivos. La característica de acceso equilibrado representa un inconveniente en entornos que se pretendan gestionar en función de prioridades. En cuanto al rendimiento, CSMA/CD presenta un rendimiento pobre a medida que la carga del sistema y la longitud de la red se incrementan.

La técnica CSMA/CD es el método de acceso al medio más utilizado. La versión original para banda base fue desarrollada y patentada por Digital, Intel y Xerox ("DIX") como parte de su red local Ethernet.

5.4.2 Inserción de registro

Aunque el método de acceso a un anillo sea intrínsecamente controlado, también pueden establecerse métodos controlados con estrategias de contienda. Éste es el caso de la técnica de inserción de registro, que se ha clasificado dentro de los métodos de acceso aleatorio porque cumple la premisa básica de estos tipos de técnicas: el acceso al medio se realiza por decisión propia de la estación.

En cada estación se utilizan, como puede observarse en la figura 5.7, dos registros: un registro de desplazamiento, conectado en serie al anillo, de tamaño igual a la máxima longitud de trama, utilizado para almacenar temporalmente las tramas que circulan por la red, y un *buffer* para almacenar las tramas generadas por la propia estación.

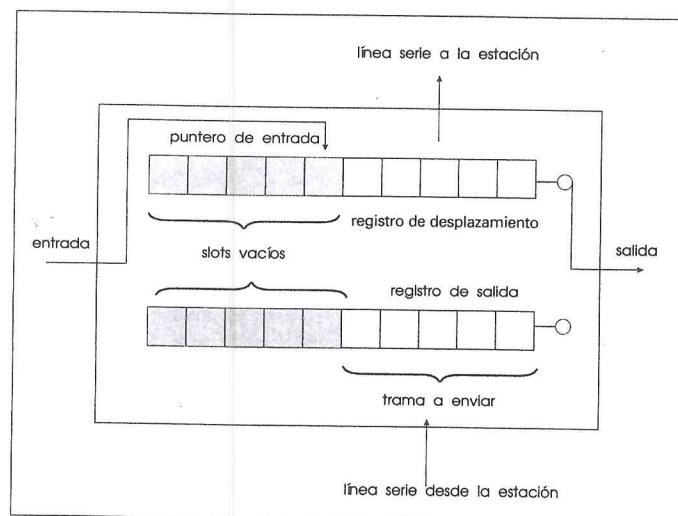


Figura 5.7. Ejemplo de inserción de registro

Considérese, en primer lugar, el caso en que la estación no tiene nada que transmitir; en esta situación trata únicamente la información procedente del anillo. Cuando el anillo está inactivo, el puntero de entrada señala la posición situada más a la derecha del registro de desplazamiento, indicando así que está vacío. Cuando llegan

datos del anillo, éstos se insertan bit a bit en el registro de desplazamiento, desplazándose el puntero una posición a la izquierda por cada bit. La trama tiene como primer campo la dirección destino. Tan pronto como este campo se encuentre totalmente en el registro de desplazamiento, la estación puede determinar si la trama está dirigida a ella; si no es así, la trama es retransmitida mediante el desplazamiento de un bit fuera del registro a medida que un nuevo bit llega por el extremo izquierdo, permaneciendo, por tanto, el puntero estacionario. Cuando se ha recibido el último bit de la trama, la estación continua desplazando bits hacia la derecha hasta que toda la trama es transmitida. Si durante este tiempo llega alguna nueva trama, ésta comenzará a acumularse en el registro a medida que la primera se transmite; si no se recibe ninguna trama el puntero vuelve a la posición inicial.

Consideremos ahora el caso en que la estación tenga datos que transmitir. Para que pueda proceder a transmitir deben cumplirse las siguientes condiciones:

- debe haber un mensaje preparado en el *buffer* de salida.
- debe existir un hueco en el registro de desplazamiento al menos tan grande como el mensaje a enviar. Es decir, el puntero de entrada debe estar situado suficientemente a la derecha.
- debe haberse detectado el final del mensaje que está pasando en ese momento por la estación (si está pasando alguno).

Si se cumplen estas tres condiciones, se transfiere en paralelo el área de salida al registro de desplazamiento, ocupando la zona a la izquierda del apuntador de entrada y éste se desplaza a la izquierda tantos lugares como bits tiene el mensaje a transmitir. Seguidamente, si no aparecen bits por el extremo izquierdo del registro de desplazamiento, es decir, si no se reciben mensajes, el apuntador se desplaza a la derecha a medida que se transmiten los bits.

Esta técnica permite tener mensajes de distintas estaciones circulando simultáneamente por el anillo. Como puede observarse existe un retraso en cada nodo, cuyo valor mínimo equivale a la longitud del campo de dirección y el valor máximo es la longitud del registro de desplazamiento.

La técnica de inserción de registro en anillo da lugar a un reparto equitativo del medio: cuanto más inactivo esté el anillo, la estación podrá transmitir trama tras trama utilizando todo el ancho de banda; por el contrario, si el anillo tiene una carga elevada, una estación se encontrará con que después de transmitir una trama el registro de desplazamiento no se ajustará adecuadamente a otra trama y deberá esperar, por tanto, a que los espacios o "gaps" entre los mensajes se acumulen para poder volver a transmitir.

La ventaja más destacable de la técnica de inserción de registro es que consigue la máxima utilización del anillo. Otras características son que permite tramas de longitud variable y la posibilidad de que existan varias tramas a la vez en el anillo.

La desventaja fundamental la constituye el mecanismo de control de errores. Permitir múltiples tramas exige el reconocimiento de la dirección destino para retirar la trama, ya sea ésta retirada por el emisor o por el receptor. Si esta dirección se daña y ninguna estación es capaz de reconocer la trama, ésta circulará indefinidamente por el anillo. La exigencia de reconocer las direcciones impone además un retraso en cada nodo por trama igual a la longitud de ese campo. Otro problema surge de la sincronización de los registros de desplazamiento cuando se utilizan velocidades elevadas.

5.5 Métodos de acceso para redes de alta velocidad

En este apartado se describen los mecanismos de control de acceso específicos para redes de alta velocidad: FDDI, DQDB y ATM, que se tratarán en mayor profundidad en la Parte IX. Para más información, véase el libro "Redes de Alta Velocidad", también publicado por RA-MA.

5.5.1 FDDI: Fiber Data Distributed Interface

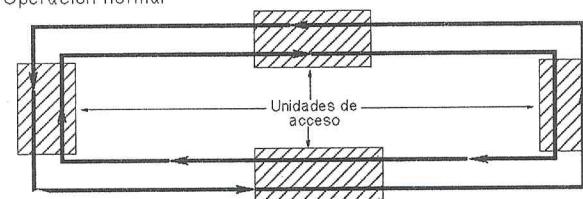
A comienzos de los años ochenta se identificó la necesidad de interconectar computadores a muy alta velocidad. Este requerimiento, como se ha visto en los apartados anteriores, no estaba cubierto por los procedimientos existentes. Surgió así el estándar ANSI X3T9.5 FDDI que opera a 100 Mbps.

El método de control de acceso se definió para una topología en anillo, utilizando el principio del paso de testigo: sólamente la estación que tiene el testigo puede transmitir. FDDI utiliza una topología con doble anillo tal como se indica en la figura 5.8.

Con este doble anillo se puede continuar la operación con todas las estaciones en caso de avería de un enlace.

La diferencia fundamental con la técnica de paso de testigo en anillo convencional utilizado en el estándar IEEE 802.5 es que, en FDDI, cuando una estación ha terminado de transmitir sus tramas libera un testigo, con lo cual pueden existir simultáneamente múltiples tramas de distintas fuentes, si bien sólo puede haber un testigo libre. De esta manera se incrementa el rendimiento a alta velocidad.

a) Operación normal



b) Fallo de un enlace. Reconfiguración en FDDI con doble anillo

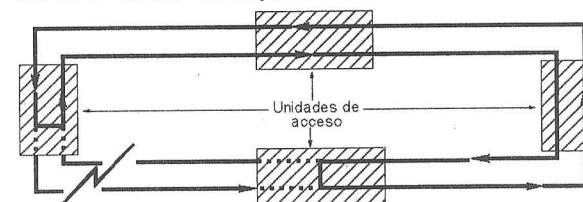
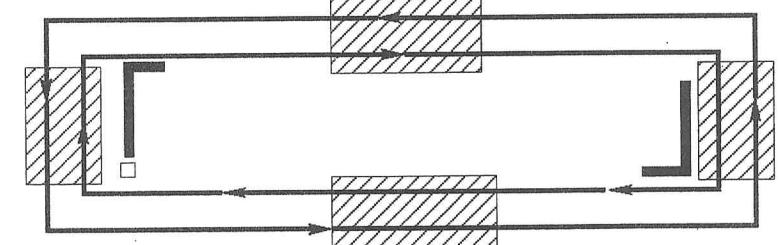


Figura 5.8. Reconfiguración en FDDI con doble anillo

En la Figura 5.9 se representa un ejemplo de circulación de varias tramas en FDDI.



□ Testigo libre

■ Trama

Figura 5.9. Circulación de múltiples tramas en FDDI

5.5.2 DQDB: Distributed Queue Dual Bus

El procedimiento DQDB se generó como respuesta a la necesidad de redes MAN de alta velocidad, con características compatibles con la tecnología ATM emergente, que comenzaba a ser considerada como respuesta universal para todo tipo de redes y servicios. La solución aceptada y normalizada por el subcomité del IEEE 802.6 se basa en el principio de un bus dual físico con un procedimiento de acceso con cola distribuida y fue denominada DQDB, *Distributed Queue Dual Bus*. Se basó en una propuesta de la Universidad de Western Australia denominada originalmente QPSX (*Queued Packed and Synchronous Switch*).

La topología de las MAN DQDB se compone de dos buses unidireccionales a los que acceden los nodos conectados. Debe existir una estación que genere las tramas en cada bus (que en el caso de DQDB son células de tamaño fijo, de 48 octetos de información y 5 octetos de cabecera para conseguir la máxima compatibilidad con la tecnología ATM). Los dos buses operan en direcciones opuestas, tal como se indica en la figura 5.10. Los nodos se conectan a ambos buses utilizando conexiones de lectura y escritura. La operación de lectura no afecta a los datos entrantes, y la operación de escritura se realiza mediante un circuito OR lógico, entre la señal entrante y los datos del nodo. De esta forma se garantiza una fiabilidad muy alta, pues los datos no pasan por el nodo.

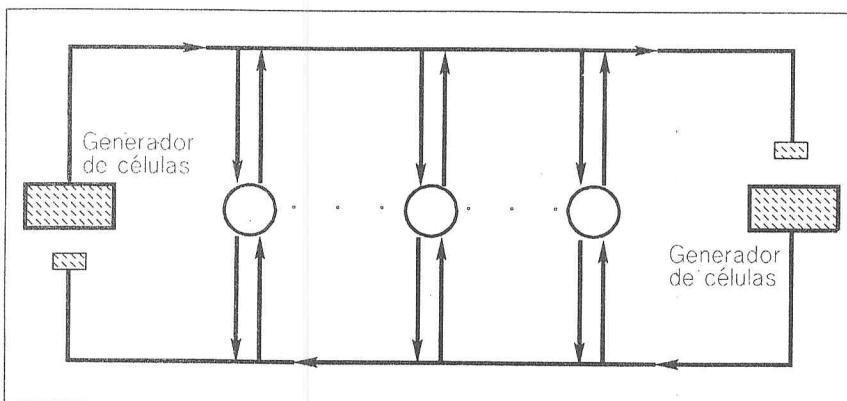


Figura 5.10. Operación de la técnica DQDB

En caso de fallo del bus se realiza un procedimiento de reconfiguración que permite mantener operativos a todos los nodos. Esto es posible porque el bus se instala inicialmente en bucle (véase figura 5.11). De esta forma, cuando falla el bucle, los dos nodos adyacentes a la localización de la avería toman la función de generadores de trama y el nodo cabecera del bus pasa a ser un nodo normal, manteniéndose operativo todo el bus.

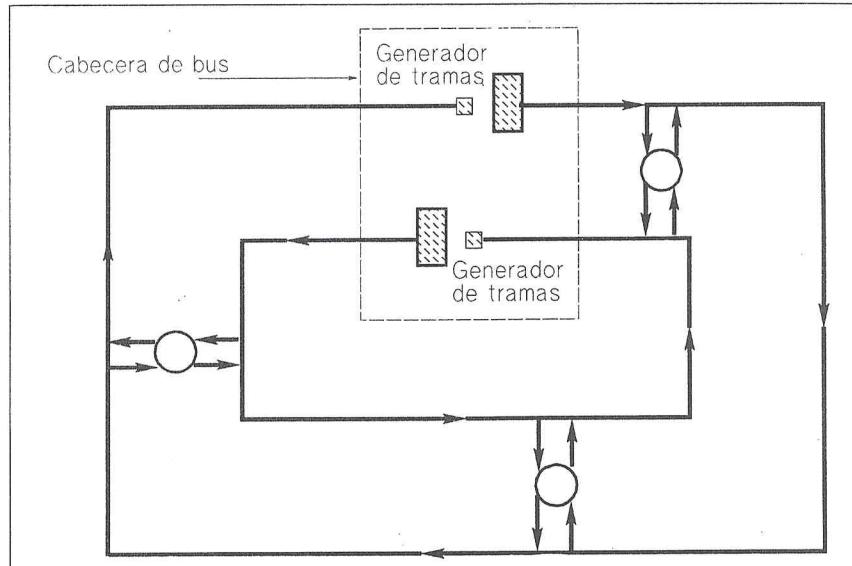


Figura 5.11. DQDB con bus en doble bucle

El control de acceso al medio se basa en el principio de cola distribuida, es decir, a nivel lógico, existe una cola de información por cada bus, si bien físicamente la cola está distribuida entre todos los nodos. En este apartado se realiza una breve descripción del procedimiento, cuyo detalle se desarrollará en el capítulo 26. En la figura 5.12 se indica que hay dos bits de control de la operación en cada célula: un bit de ocupado y un bit de petición. La figura representa el caso de transferencia de información por el bus A; en consecuencia, las peticiones de reserva se realizan por el bus B, para que las estaciones anteriores del bus A sepan cuántas peticiones previas hay para transferir datos. De forma simétrica tendría lugar la transferencia sobre el bus B. Las estaciones conocen, por la dirección de destino, el bus por el que tienen que transmitir las células. En cada nodo se proporciona un contador, denominado *Request Counter* (RC), que cuenta los bits de petición cuando pasan por el nodo. El contador RC se incrementa en una unidad cada vez que pasa un bit de petición. A su vez, el contador se decremente en una unidad cada vez que pasa una célula vacía por el bus A; con ello, el nodo en cuestión deja libre la célula para que la pueda ocupar una estación posterior en el bus A que previamente lo hubiese solicitado. Cuando un nodo tiene una célula para transmitir, lo coloca en la cola distribuida, informando a los nodos anteriores mediante el bit de petición para asegurar que le dejen una célula vacía cuando le llegue el turno. Para que las células se transmitan en el momento oportuno, el valor del contador RC se copia en un contador de cuenta atrás, CD (*Countdown Counter*), en el momento de hacer la petición, mientras que el contador RC se inicia a cero. De esta forma, el contador CD conoce el número de células en

cola de las estaciones anteriores del bus A. Cuando todas las células en la cola han sido transmitidas, el nodo puede poner la suya en el bus. Se pueden encontrar más detalles de este procedimiento en el Capítulo 26.

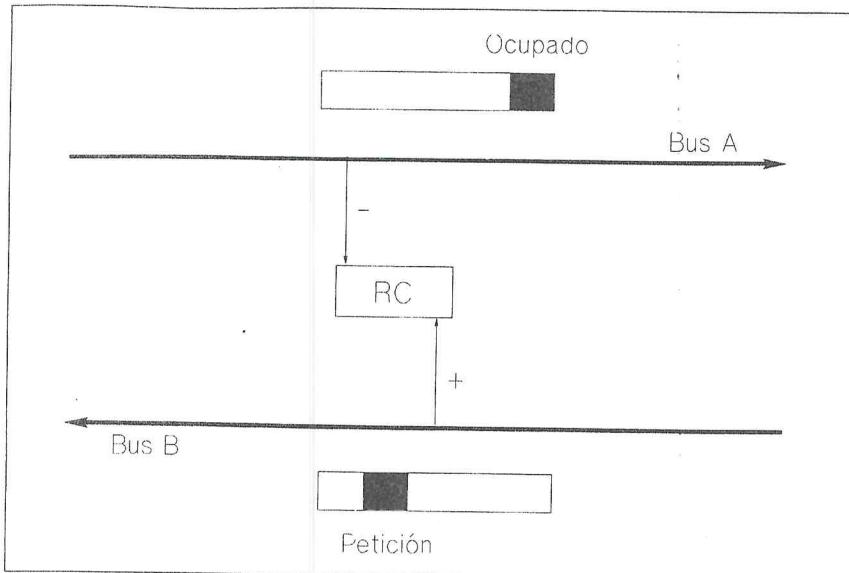


Figura 5.12 DQDB. Operación de la cola distribuida

El ejemplo comentado corresponde al método denominado de cola arbitrada (QA). También existe un procedimiento para señales isócronas denominado cola prearbitrada (PQ).

5.5.3 RDSI: Red Digital de Servicios Integrados

La tecnología RDSI basada en TDM no se utiliza específicamente en entornos LAN o MAN, si bien sí se está utilizando en interconexiones entre LAN remotas, interconexión de un nodo remoto a una LAN, o para acceso de una LAN a los servicios de Internet, utilizando WAN RDSI. Se analiza en el capítulo 26 de la PARTE IX.

En esencia, RDSI permite la transmisión de datos, imágenes estáticas, voz y vídeo sobre un mismo canal físico. Opera por conmutación de circuitos utilizando técnicas TDM. El canal portador básico es de 64 Kbps y se denomina canal B. Para obtener flexibilidad a la demanda de los usuarios, típicamente se proporcionan las siguientes interfaces: *Basic Rate Interface*, BRI, y *Primary Rate Interface* (PRI). BRI consiste de dos canales B, a 64 kbps y un canal D (delta), a 16 kbps, para señalización y manejo de paquetes de datos. En la figura 5.13 se representa un ejemplo de operación LAN-LAN y LAN-Sistema Central a través de una red WAN RDSI.

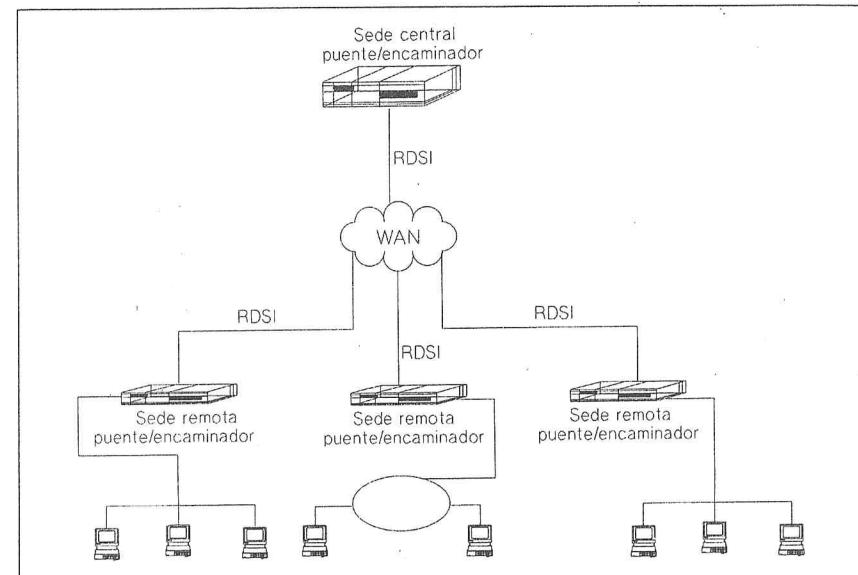


Figura 5.13. Interoperación remota con RDSI

5.5.4 La tecnología ATM (Asynchronous Transfer Mode) en Redes de Área Local

Para satisfacer las crecientes necesidades de ancho de banda de las aplicaciones, para todo tipo de servicios, voz, datos, imagen estática o vídeo, y tratar de encontrar una solución universal para todo tipo de entornos, LAN, MAN o WAN, la tecnología ATM se perfila como la opción más prometedora. Aunque existen varios aspectos que están en proceso de normalización, ya existen productos y soluciones, tanto para estaciones de trabajo como para interoperación de LAN, basados en tecnología ATM.

ATM es un procedimiento orientado a conexión. Las conexiones se pueden establecer de forma semipermanente o bien por la duración de una llamada en el caso de circuitos comutados. La transferencia de información puede considerarse como una transferencia de paquetes basada en TDM asíncrono y en el uso de células de tamaño constante: 48 octetos de información y 5 octetos de cabecera. La cabecera de las células se utiliza fundamentalmente para identificar las células pertenecientes al mismo canal virtual en la multiplexación por división en el tiempo asíncrona, así como para funciones de encaminamiento. La integridad de las células se preserva por canal virtual. El campo de información de las células se transfiere transparentemente a través de la red. Dentro de la red no se realizan procesos tales como control de errores, y todos los servicios (voz, datos, vídeo...) pueden ser transmitidos a través de una red ATM, incluyendo los servicios no orientados a conexión propios de las redes locales.

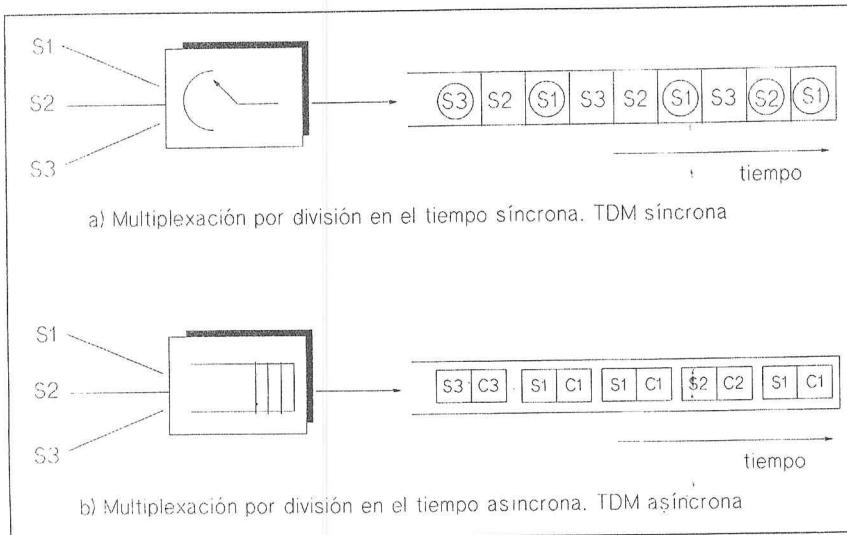


Figura 5.14. TDM síncrona y asíncrona

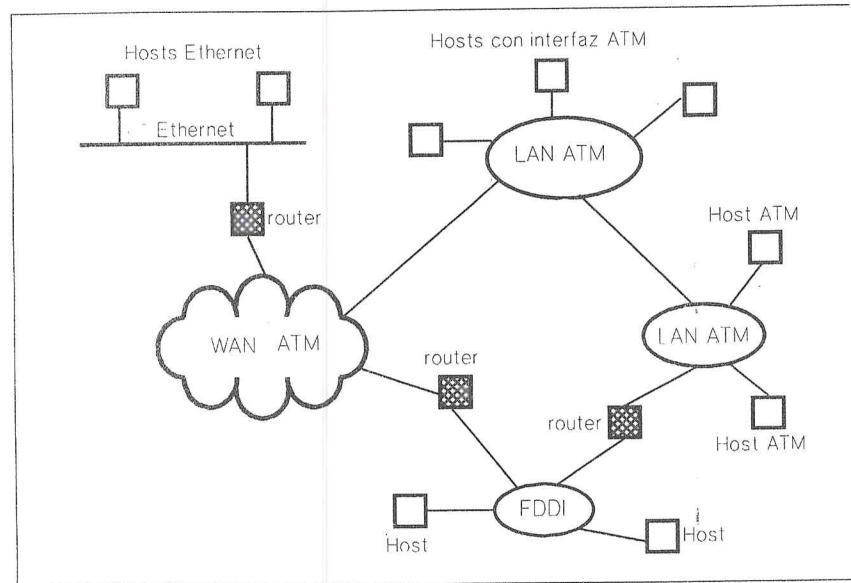


Figura 5.15. Utilización de tecnología ATM

En la figura 5.14 se representa gráficamente el funcionamiento TDM síncrona y asíncrona. En la figura 5.15 se representa un escenario ejemplo de aplicación de la tecnología ATM tanto en redes LAN como WAN. Se puede encontrar más información en el Capítulo 26 de la Parte IX.

5.6 Resumen

El control de acceso al medio define los protocolos o mecanismos que deben seguir las estaciones para compartir de manera satisfactoria un recurso común como es la capacidad de transmisión de la red.

Sin duda alguna constituye el factor más característico en el funcionamiento de una red local, determinante de parámetros como el rendimiento, fiabilidad, disponibilidad y gestión de red.

En el capítulo actual se han analizado y estructurado, en función de criterios básicos, los principales métodos de acceso al medio, así como el modo de funcionamiento de los mismos.

Especial interés se ha mostrado en las técnicas más representativas: sondeo, paso de testigo en bus, paso de testigo en anillo y CSMA/CD, así como en las técnicas más recientes e innovadoras para redes de alta velocidad: FDDI, DQDB y ATM.

5.7 Lecturas recomendadas

- E. Alcalde, Jesús García Tomás. *Introducción a la Teleinformática*. McGraw Hill, 1993.
- U. Black. *Redes de Ordenadores: Protocolos, Normas e Interfaces*. RA-MA, 1995.
- Jesús García Tomás. *Sistemas y Redes Teleinformáticas*. RA-MA, 1990.
- Jesús García Tomás, Santiago Ferrando Girón, Mario Piattini Velthuis. *Redes de Alta Velocidad*. RA-MA, 1996.
- William Stallings. "Handbook of Computer Communications Standards". Volume 2 Local Area Networks Standards. Macmillan Publishing, 1990.