

3.5 VERIFICACIÓN DE LOS PROTOCOLOS

3.5.1 Modelos de máquinas de estado finito

Un concepto clave es el de la máquina de estados finitos, en esta técnica cada máquina de protocolo (emisor o receptor) siempre está en un estado específico en cualquier instante. Su estado consiste en todos los valores de sus variables, incluido el contador de programa. Puede agruparse un gran número de estados a fin de analizarlos. El concepto de una trama que está “en el canal” es, por supuesto, una abstracción. Es posible que una trama se haya recibido, pero no procesado, en el destino. Una trama permanece “en el canal” hasta que la máquina de protocolo ejecuta FromPhysicalLayer y la procesa. De cada estado hay cero o más transiciones posibles a otros estados. Las transiciones ocurren cuando sucede algún evento. Para una máquina de protocolo, podría ocurrir una transición al enviar una trama, al llegar una trama, al terminar un temporizador, al ocurrir una interrupción, etcé. Usando técnicas bien conocidas de la teoría de grafos es posible determinar los estados que son alcanzables y los que no. Esta técnica se denomina análisis de asequibilidad (Lin y cols., 1987). Este análisis puede ser útil para determinar si un protocolo es correcto o no. El análisis de asequibilidad puede servir para detectar una variedad de errores en la especificación del protocolo. Se utilizan tres caracteres para etiquetar cada estado, SRC, donde S es 0 o 1 y corresponde a la trama que el emisor está tratando de enviar; R también es 0 o 1 y corresponde a la trama que el receptor espera, y C es 0, 1, A o vacío (–) y corresponde al estado del canal.

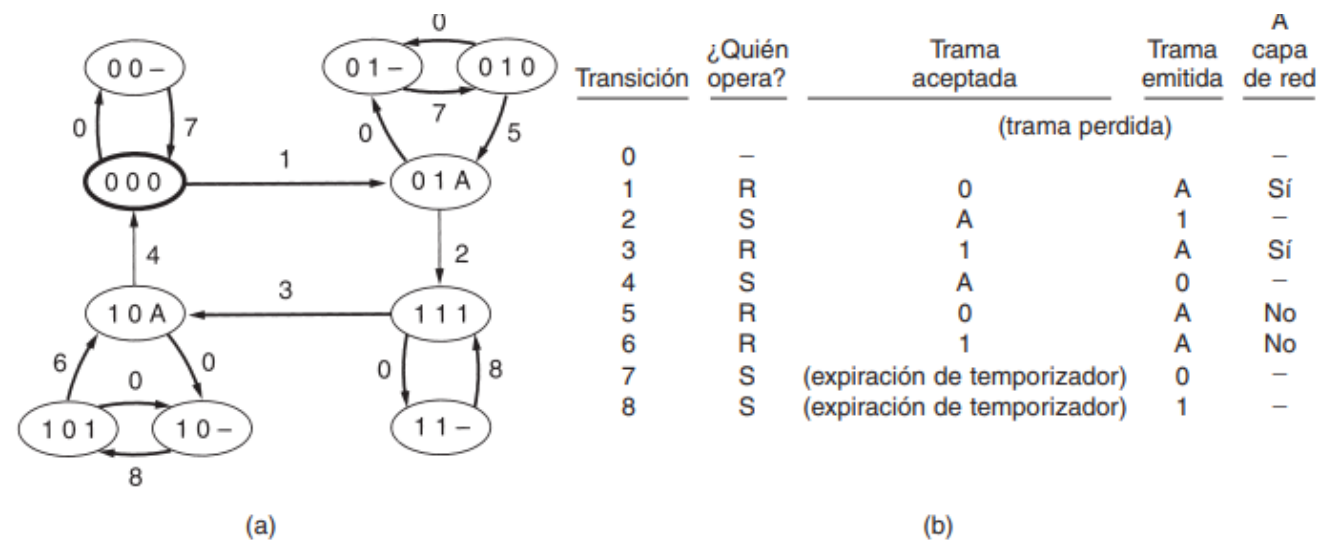


Figura 3-21. (a) Diagrama de estado para el protocolo 3. (b) Transiciones.

Un bloqueo irreversible es una situación en la que el protocolo no puede seguir avanzando, sea cual sea la secuencia de eventos que ocurra. En términos del modelo gráfico, un bloqueo irreversible se caracteriza por la existencia de un subconjunto de estados que es alcanzable desde el estado inicial y que tiene dos propiedades:

- 1. No hay transición hacia fuera del subconjunto.
- 2. No hay transiciones en el subconjunto que causen un avance.

Una vez en el estado de bloqueo irreversible, el protocolo permanece ahí eternamente.

3.5.2 Modelos de red de Petri

Una red de Petri tiene cuatro elementos básicos: lugares, transiciones, arcos y tokens. Un lugar representa un estado en el que puede estar parte del sistema. El sistema actualmente está en el estado A, indicado por el token (punto grueso) en el lugar A. Se utiliza una barra horizontal o vertical para indicar una transición. Cada transición tiene cero o más arcos de entrada, que llegan de sus lugares de entrada, y cero o más arcos de salida, que van a sus lugares de salida.



Figura 3-22. Red de Petri con dos lugares y dos transiciones.

Se habilita una transición si hay cuando menos un token de entrada en cada uno de sus lugares de entrada. Cualquier transición habilitada puede dispararse a voluntad, quitando un token de cada lugar de entrada y depositando un token en cada lugar de salida. Si el número de arcos de entrada no es igual al número de arcos de salida, no se conservarán los tokens. Si se habilitan dos o más transiciones, cualquiera de ellas puede dispararse. La decisión de disparo de una transición es indeterminada, por lo que las redes de Petri son útiles para modelar protocolos.

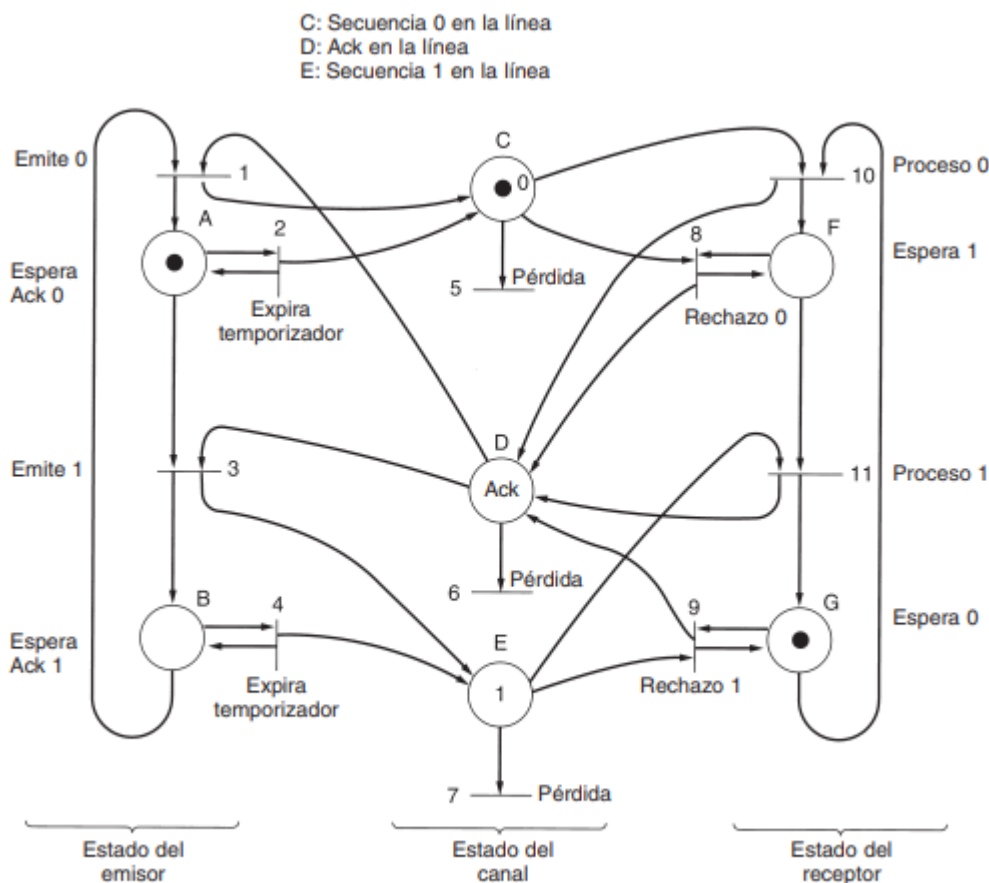


Figura 3-23. Modelo de red de Petri para el protocolo 3.

Las redes de Petri pueden servir para detectar fallas de protocolo de una manera parecida a como se hace con máquinas de estados finitos y pueden representarse convenientemente en una forma algebraica semejante a una gramática.

4.6 BLUETOOTH

En 1994, la empresa L. M. Ericsson se interesó en conectar sus teléfonos móviles y otros dispositivos (por ejemplo, PDAs,) sin necesidad de cables. En conjunto con otras cuatro empresas (IBM, Intel, Nokia y Toshiba), formó un SIG (grupo de interés especial, es decir, un consorcio) con el propósito de desarrollar un estándar inalámbrico para interconectar computadoras, dispositivos de comunicaciones y accesorios a través de radios inalámbricos de bajo consumo de energía, corto alcance y económicos. Al proyecto se le asignó el nombre Bluetooth, en honor de Harald Blaatand (Bluetooth) II (940-981).

4.6.1 Arquitectura de Bluetooth

La unidad básica de un sistema Bluetooth es una piconet, que consta de un nodo maestro y hasta siete nodos esclavos activos a una distancia de 10 metros. En una misma sala (grande) pueden encontrarse varias piconets y se pueden conectar mediante un nodo puente. Un conjunto de piconets interconectadas se denomina scatternet.

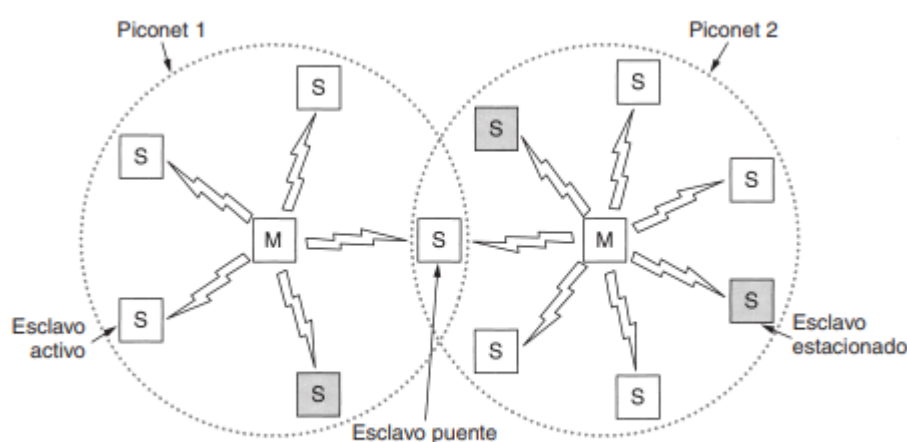


Figura 4-35. Dos piconets se pueden conectar para conformar una scatternet.

Además de los siete nodos esclavos activos de una piconet, puede haber hasta 255 nodos estacionados en la red. Éstos son dispositivos que el nodo maestro ha cambiado a un estado de bajo consumo de energía para reducir el desgaste innecesario de sus pilas. La razón para el diseño maestro/esclavo es que los diseñadores pretendían facilitar la implementación de chips Bluetooth completos por debajo de 5 dólares. La consecuencia de esta decisión es que los esclavos son sumamente pasivos y realizan todo lo que los maestros les indican. En esencia, una piconet es un sistema TDM centralizado, en el cual el maestro controla el reloj y determina qué dispositivo se comunica en un momento determinado. Todas las comunicaciones se realizan entre el maestro y el esclavo; no existe comunicación directa de esclavo a esclavo.

4.6.2 Aplicaciones de Bluetooth

Nombre	Descripción
Acceso genérico	Procedimientos para el manejo de enlaces
Descubrimiento de servicios	Protocolo para descubrir los servicios que se ofrecen
Puerto serie	Reemplazo para un cable de puerto serie
Intercambio genérico de objetos	Define la relación cliente-servidor para el traslado de objetos
Acceso a LAN	Protocolo entre una computadora móvil y una LAN fija
Acceso telefónico a redes	Permite que una computadora portátil realice una llamada por medio de un teléfono móvil
Fax	Permite que un fax móvil se comuniquen con un teléfono móvil
Telefonía inalámbrica	Conecta un handset (teléfono) con su estación base local
Intercom (Intercomunicador)	Walkie-talkie digital
Headset (Diadema telefónica)	Posibilita la comunicación de voz sin utilizar las manos
Envío de objetos	Ofrece una manera de intercambiar objetos simples
Transferencia de archivos	Proporciona una característica para transferencia de archivos más general
Sincronización	Permite a un PDA sincronizarse con otra computadora

Figura 4-36. Los perfiles de Bluetooth.

El perfil de acceso genérico no es realmente una aplicación, sino más bien la base sobre la cual se construyen las aplicaciones; su tarea principal es ofrecer una manera para establecer y mantener enlaces (canales) seguros entre el maestro y los esclavos. El perfil de puerto serie es un protocolo de transporte que la mayoría de los perfiles restantes utiliza. Emula una línea serie y es especialmente útil para aplicaciones heredadas que requieren una línea serie. El perfil de intercambio genérico define una relación cliente-servidor para el traslado de datos. Los clientes inician operaciones, pero tanto un cliente como un servidor pueden fungir como esclavo. El siguiente grupo de tres perfiles está destinado a la conectividad. Los tres perfiles siguientes son para telefonía. El perfil de telefonía inalámbrica proporciona una manera de conectar el handset (teléfono) de un teléfono inalámbrico a la estación base. Los tres perfiles restantes sirven para intercambiar objetos entre dos dispositivos inalámbricos, como tarjetas de presentación, imágenes o archivos de datos.

4.6.3 La pila de protocolos de Bluetooth

La estructura de capas no sigue el modelo OSI, el modelo TCP/IP, el modelo 802 o algún otro modelo conocido. Sin embargo, el IEEE se encuentra modificando actualmente Bluetooth para ajustarlo al modelo 802. La capa inferior es la capa de radio física, la cual es bastante similar a la capa física de los modelos OSI y 802. La capa de banda base tiene algunos puntos en común con la subcapa MAC, aunque también incluye elementos de la capa física.

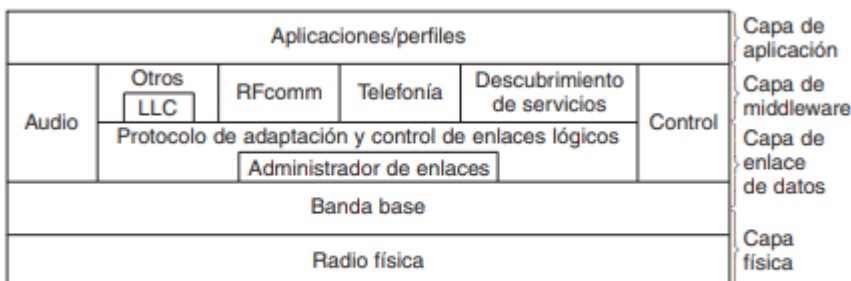


Figura 4-37. Versión 802.15 de la arquitectura de protocolos de Bluetooth.

4.6.4 La capa de radio de Bluetooth

La capa de radio traslada los bits del maestro al esclavo, o viceversa. Es un sistema de baja potencia con un rango de 10 metros que opera en la banda ISM de 2.4 GHz. La banda se divide en 79 canales de 1 MHz cada

uno. La modulación es por desplazamiento de frecuencia, con 1 bit por Hz, lo cual da una tasa de datos aproximada de 1 Mbps, pero gran parte de este espectro la consume la sobrecarga. Para asignar los canales de manera equitativa, el espectro de saltos de frecuencia se utiliza a 1600 saltos por segundo y un tiempo de permanencia de 625 μ seg. Todos los nodos de una piconet saltan de manera simultánea, y el maestro establece la secuencia de salto

4.6.5 La capa de banda base de Bluetooth

La capa de banda base de Bluetooth es lo más parecido a una subcapa MAC. Esta capa convierte el flujo de bits puros en tramas y define algunos formatos clave. En la forma más sencilla, el maestro de cada piconet define una serie de ranuras de tiempo de 625 μ seg y las transmisiones del maestro empiezan en las ranuras pares, y las de los esclavos, en las ranuras impares. Ésta es la tradicional multiplexión por división de tiempo, en la cual el maestro acapara la mitad de las ranuras y los esclavos comparten la otra mitad. Las tramas pueden tener 1, 3 o 5 ranuras de longitud. Cada trama se transmite por un canal lógico, llamado enlace, entre el maestro y un esclavo. Hay dos tipos de enlaces. El primero es el ACL (Asíncrono no Orientado a la Conexión), que se utiliza para datos conmutados en paquetes disponibles a intervalos irregulares. El otro tipo de enlace es el SCO (Síncrono Orientado a la Conexión), para datos en tiempo real, como ocurre en las conexiones telefónicas. A este tipo de canal se le asigna una ranura fija en cada dirección. Por la importancia del tiempo en los enlaces SCO, las tramas que se envían a través de ellos nunca se retransmiten. En vez de ello, se puede utilizar la corrección de errores hacia delante para conferir una confiabilidad alta.

4.6.6 La capa L2CAP de Bluetooth

La capa L2CAP tiene tres funciones principales:

- Acepta paquetes de hasta 64 KB provenientes de las capas superiores y los divide en tramas para transmitirlos.
- Maneja la multiplexión y demultiplexión de múltiples fuentes de paquetes.
- La capa L2CAP se encarga de la calidad de los requerimientos de servicio, tanto al establecer los enlaces como durante la operación normal.

4.6.7 Estructura de la trama de Bluetooth

Existen diversos formatos de trama, el más importante empieza con un código de acceso que identifica al maestro, cuyo propósito es que los esclavos que se encuentren en el rango de alcance de dos maestros sepan cuál tráfico es para ellos.

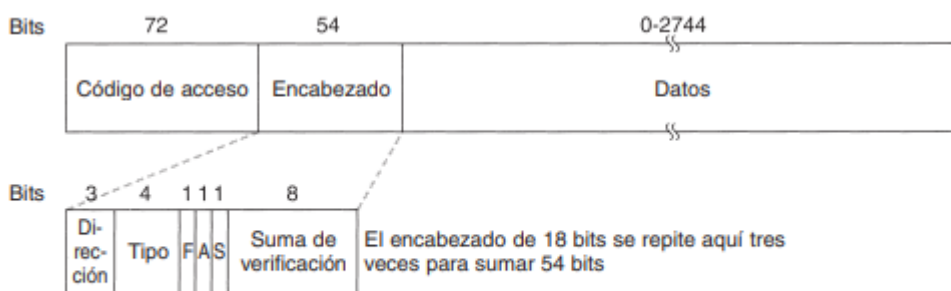


Figura 4-38. Trama de datos típica de Bluetooth.

El campo Dirección identifica a cuál de los ocho dispositivos activos está destinada la trama. El campo Tipo indica el tipo de trama (ACL, SCO, de sondeo o nula), el tipo de corrección de errores que se utiliza en el

campo de datos y cuántas ranuras de longitud tiene la trama. Un esclavo establece el bit F (de flujo) cuando su búfer está lleno y no puede recibir más datos. Ésta es una forma primitiva de control de flujo. El bit A (de confirmación de recepción) se utiliza para incorporar un ACK en una trama. El bit S (de secuencia) sirve para numerar las tramas con el propósito de detectar retransmisiones. El protocolo es de parada y espera, por lo que 1 bit es suficiente.