

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ESPECIFICACIONES DE ROUTING Y HANDOVER
PARA BLUETOOTH**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR :

JAVIER VALDEZ GUTIERREZ

**PROMOCIÓN
1995 - I**

**LIMA - PERÚ
2002**

DEDICADO A MIS PADRES

HIPOLITO Y MERY

**ESPECIFICACIONES DE ROUTING Y HANDOVER PARA
BLUETOOTH**

SUMARIO

Bluetooth, es el nombre de una tecnología inalámbrica emergente, que tiene como principal objetivo la comunicación a pequeñas distancias entre dispositivos, eliminando el uso de cables. Sin embargo ésta tecnología actualmente tiene 2 limitaciones fundamentales, primeramente, la comunicación debe ser directa entre los dos dispositivos (no routing), y segundo, no soporta el movimiento de un terminal activo de una red(piconet) a otra (no handover).

Este trabajo describe una propuesta para especificar los procedimientos de routing y handover que permitan trabajar en un entorno Bluetooth. La solución propuesta en éste trabajo ha sido llamada Bluetooth Routing Scheme (BRS), el cual es una red distribuida compuesta por 3 elementos fundamentales, formando una arquitectura de 3 capas, el **MSC** (Message Switching Center) que es el hub de la red, los **FMs** (Fixed Masters) que son los dispositivos fijos conectados al MSC y que sirven de interface a la capa mas baja, los **MTs** (Mobile Terminals) que son los dispositivos Bluetooth comunes que se comunican entre si y que forman las llamadas piconets.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	2
BLUETOOTH – DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA	2
1.1 VISIÓN GENERAL	2
1.2 BLUETOOTH SISTEMA FÍSICO	2
1.2.1 RADIO	3
1.2.2 LINK CONTROLLER (LC)	5
1.2.3 LINK MANAGER (LM)	5
1.2.4 SOFTWARE FUNCTIONS/FRAMWORK	5
1.3 PILA DE PROTOCOLOS	6
1.4 TOPOLOGÍA DE RED	7
1.5 TIME SLOTS	8
1.6 FREQUENCY HOPPING SEQUENCE	8
1.7 HOP SELECTION	9
1.8 ENLACES FÍSICOS	10
1.9 FORMATOS Y TIPOS DE PAQUETE	11

1.10 CANALES LÓGICOS	12
1.10.1 CANAL LC	13
1.10.2 CANAL LM	13
1.10.3 CANAL UA/UI	14
1.10.4 CANAL US	14
1.10.5 MAPEO DE LOS CANALES	14
1.11 ELIMINACIÓN DEL DC BIAS EN LOS PAQUETES	14
1.12 ESTADOS Y MODOS EN BLUETOOTH	15
CAPÍTULO II	18
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	18
2.1 CENTRO DE CONMUTACIÓN DE MENSAJES - MESSAGE SWITCHING CENTER : MSC	20
2.1.1 POSICIÓN	20
2.1.2 CONEXIONES	20
2.1.3 FUNCIONALIDAD	20
2.1.4 SETUP/OPERATION	24
2.2 MAESTROS FIJOS - FIXED MASTERS : FM	25
2.2.1 POSICIÓN	25
2.2.2 CONEXIONES	25
2.2.3 FUNCIONALIDAD	26
2.2.4 SETUP/OPERATION	26

2.3 TERMINAL MÓVIL - MOBILE TERMINAL : MT	27
2.3.1 POSICIÓN	27
2.3.2 CONEXIONES	27
2.3.3 FUNCIONALIDAD	27
2.3.4 SETUP/OPERATION	28
CAPÍTULO III	29
LMP - PDU (PROTOCOL DATA UNIT) ESPECIALIZADOS	29
3.1 MENSAJES DE RESPUESTA GENERAL	29
3.2 ACTUALIZACIÓN DEL ROUTING TABLE	29
3.3 CONTROL DE CONEXIÓN DEL ENRUTAMIENTO	30
3.3.1 REQUERIMIENTO DE ESTABLECIMIENTO DE ROUTING DESDE UNA FUENTE	31
3.3.2 CONEXIÓN CON EL DESTINO	31
3.3.3 EL DISPOSITIVO REQUIERE FIN DE ROUTING CONNECTION	32
3.4 HANDOVER	33
3.4.1 OPCIÓN DE HANDOVER	33
3.4.2 REQUERIMIENTO DE QUICK HANDOVER	34
3.5 RESUMEN DE PDUs	35

CAPÍTULO IV	36
ESPECIFICACIÓN DEL ESQUEMA DE ROUTING BLUETOOTH	36
4.1 TIPOS DE ENLACES Y PAQUETES SOPORTADOS	36
4.2 INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN	37
4.2.1 MSC/FM INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN	37
4.2.2 FM/MT INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN	37
4.3 HANDOVER	40
4.3.1 DETECCIÓN DE UN ENLACE MALO	40
4.3.2 PASOS INICIALES PARA EL HANDOVER	43
4.3.3 MSC - HANDOVER NO ASISTIDO	43
4.3.4 MSC HANDOVER ASISTIDO	44
4.3.5 HANDOVER TIMING	45
4.4 ROUTING	49
4.4.1 TIPOS DE CONEXIONES PARA ROUTING	49
4.4.2 ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN DE ROUTING	50
4.4.3 ERRORES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL ROUTING	54
4.4.4 OPERACIÓN DE ENRUTAMIENTO DE PAQUETES	55
4.4.5 SEÑALIZACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING	58
4.4.6 TEMPORIZACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING	58
4.4.7 TERMINACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING	61
4.4.8 CONEXIONES ENTRE EL BRS Y ENTIDADES EXTERNAS	61

CONCLUSIONES	63
ANEXOS	65
ANEXO A : REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES	66
ANEXO B : ACRÓNIMOS	67
BIBLIOGRAFÍA	69

PRÓLOGO

Quien podría dudar que las comunicaciones inalámbricas han revolucionado las comunicaciones, sobre todo en el campo de la telefonía. Pero existen otros campos donde las comunicaciones inalámbricas también están generando una nueva revolución, una de ellas es en la comunicación entre dispositivos a corta distancia. Hoy en día aparecen cada vez mas dispositivos periféricos que necesitan comunicarse entre sí, para intercambiar datos o sincronizarse con una computadora personal, o acceder a Internet. La mayoría de éstos dispositivos usan cables, o en algunos casos interfaces inalámbricas propietarias del fabricante.

Como respuesta a estas necesidades una tecnología emergente llamada Bluetooth hace posible un estándar de comunicación inalámbrica para cortas distancias, ideal para entornos como oficinas, edificios, estaciones, etc. Bluetooth tiene una especificación que está siendo adopta por la mayoría de fabricantes de periféricos (PDA, Teléfonos Celulares, etc) como la tecnología de facto para la comunicación de estos dispositivos con el mundo exterior eliminando así el uso de cables y la complejidad que esto empezaba a implicar.

Este trabajo intenta proponer una mejora a la especificación actual del Bluetooth, proponiendo dos características de la que actualmente carece: La comunicación entre dispositivos Bluetooth que se encuentran en redes distintas (routing) y la transferencia de un dispositivo de una red a otra sin la intervención del usuario (handover). El presente trabajo se desarrolló bajo las últimas especificaciones de la tecnología de Bluetooth.

CAPÍTULO I

BLUETOOTH – DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1 VISIÓN GENERAL

Bluetooth es el nombre dado a una nueva tecnología que usa enlaces de radio de corta distancia, con la intención de reemplazar las conexiones de cable entre dispositivos electrónicos fijos y/o portátiles. Está concebido de tal manera que permitirá la interconectabilidad entre dispositivos de diferentes propietarios a través de un único enlace universal de radio.

Sus principales características son su robustez, simplicidad, baja potencia y costo. Está diseñado para operar en entornos ruidosos, para lo cual usa un esquema de "hopping frequency" y ACK (acknowledgement) lo que lo hace robusto. El espectro de frecuencia usado por Bluetooth está en una banda sin licencia ISM en 2.4GHz, y evita interferencia con otras señales saltando a una nueva frecuencia después de transmitir o recibir un paquete. Comparado con otros sistemas en la misma banda de frecuencia, el radio para Bluetooth salta más rápido y usa paquetes más cortos.

1.2 BLUETOOTH SISTEMA FÍSICO

El sistema completo de Bluetooth consiste de los siguientes elementos

- Unidad de radio (radio unit).

- Unidad de control de enlace (link control unit).
- Unidad de soporte para administración de enlace (support unit for link management).
- Funciones de interfase Host-Terminal (host terminal interfase functions).

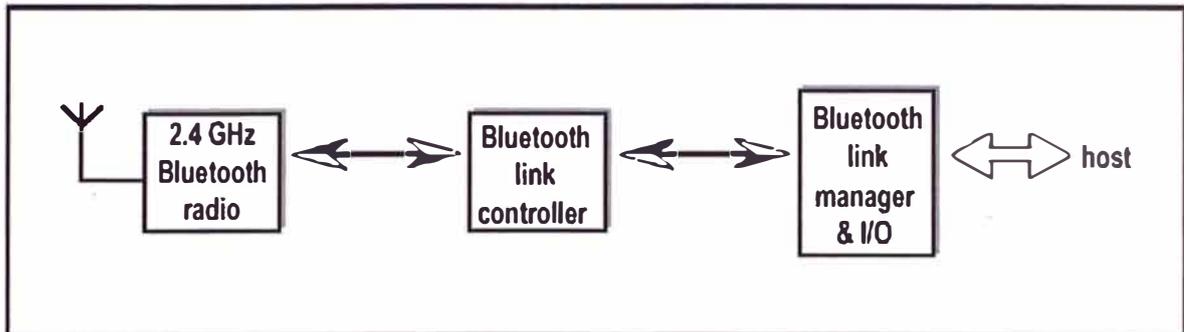


Figura 1: Diagrama de bloques funcional de un sistema Bluetooth

1.2.1 RADIO

La interfase aérea de Bluetooth está basado en una antena de potencia nominal de 0 dBm. El ensanchamiento del espectro (spectrum spreading) esta implementado por el esquema de frequency hopping en 79 saltos distanciados por 1 MHz, empezando en 2.402 GHz y finalizando en 2.480 GHz. La distancia de enlace nominal está entre 10 cm hasta 10 m, pero puede extenderse hasta 100 m incrementando la potencia de transmisión.

Geografía	Rango Regulado	Canales de RF
USA, Europe y la mayoría de países	2400-24835 MHz	$F=2402+k$ MHz, $k=0,\dots,78$

Tabla 1 : Rangos de Frecuencia

1.2.1.1 Características del Transmisor

El equipamiento está clasificado en tres clases de potencia :

Power Class	Maximum Output Power (Pmax)	Nominal Output Power	Minimun Output Power
1	100 mW(20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)

2	2.5 Mw (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A

Tabla 2 : Tabla de Potencia de Transmisión

En el Perú el marco legal en telecomunicaciones estipula que cualquier emisión de potencia hasta 10 mW es libre de uso en cualquier banda de frecuencia. Ver Anexo A.

1.2.1.2 Características del Receptor

El nivel actual de sensibilidad es definido como el nivel de entrada necesario para el cual el BER (bit error rate) sea de 0.1%. El requerimiento para el receptor de Bluetooth es un nivel de sensibilidad de -70 dBm o más. El receptor deberá alcanzar el nivel de sensibilidad de -70 dBm con cualquier transmisor Bluetooth definido en las especificaciones anteriores para el transmisor.

1.2.1.3 Modulación

La modulación es GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) con un BT = 0.5.

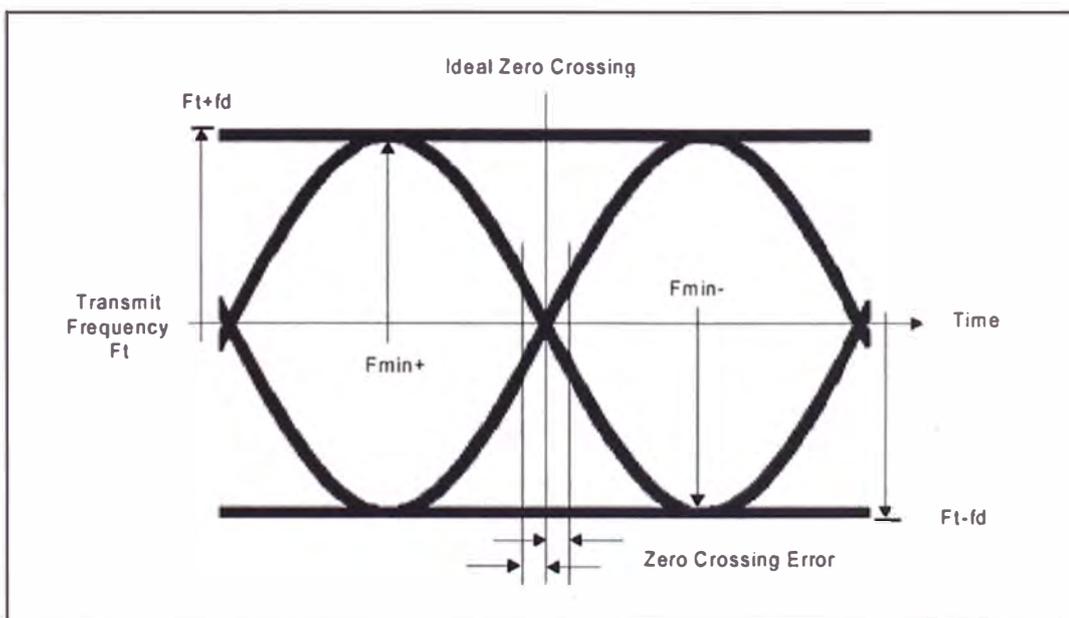


Figura 2: Modulación de la transmisión

El índice de la modulación debe estar entre 0.28 y 0.35. Un uno binario es representado por una desviación de frecuencia positiva, y un cero binario es representado por una desviación de frecuencia negativa.

Para cada canal de transmisión, la desviación mínima de frecuencia (F_{min} =el menor de $\{F_{min+}, F_{min-}\}$) que corresponde a una secuencia 1010, no debe ser menor que $\pm 80\%$ de la desviación de frecuencia (f_d) que corresponde a una secuencia 00001111.

Además, la desviación mínima no debería ser menor que 115 kHz. La velocidad de transmisión es de 1000 sym/s (baudios).

1.2.2 LINK CONTROLLER (LC)

EL LC lleva a cabo los protocolos de Banda Base (Baseband) y otras rutinas de enlace de bajo nivel. Usa banda base para el establecimiento de conexiones de red, define los tipos de enlace y paquetes, además provee la corrección de errores.

1.2.3 LINK MANAGER (LM)

Esta entidad de software lleva a cabo la organización, autenticación y configuración del enlace y otros protocolos. Es capaz de encontrar otros LM remotos y comunicarse con ellos vía el Link Manager Protocol (LMP). Para realizar su rol de proveedor de servicio, el LM usa los servicios de la sub capa Link Controller (LC).

1.2.4 SOFTWARE FUNCTIONS/Framework

Los diferentes dispositivos con Bluetooth tienen diferentes requerimientos y justamente estas funciones son implementadas a través de las funciones de software. Estas están definidas en la pila de protocolos Bluetooth, y abarca desde protocolos de radio de bajo nivel (air), hasta protocolos de aplicación e intercambio de objetos. Aquí es donde las funciones como la emulación de cable, comunicación de audio, etc están implementadas.

1.3 PILA DE PROTOCOLOS

La pila de protocolos de Bluetooth puede ser dividida en 4 partes :

- 1: Bluetooth Core Protocols : Baseband, LMP, L2CAP y SDP
- 2: Cable Replacement Protocol: RFCOMM
- 3: Telephony Control Protocols: TCS Binary, AT-commands
- 4: Adopted Protocols : Todo los demás (excepto Audio)

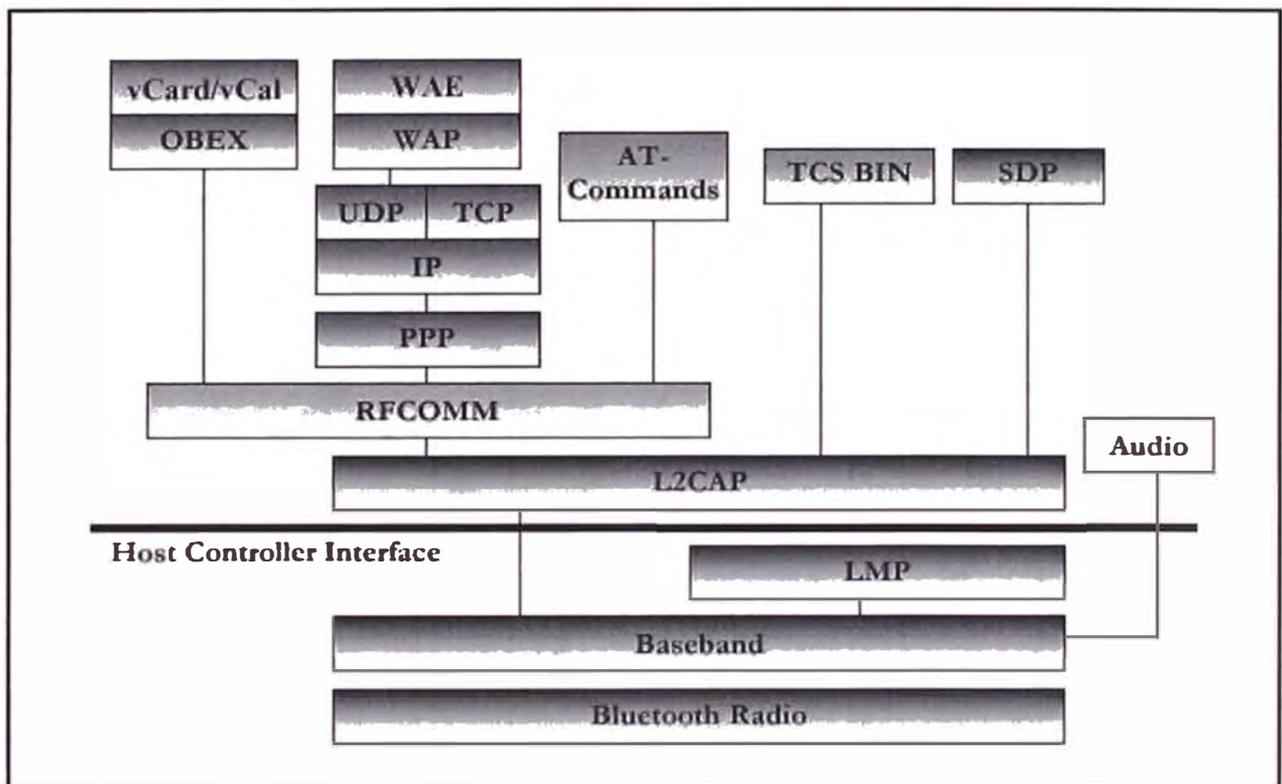


Figura 3: Pila de protocolos Bluetooth

Como puede verse en la figura 3, la pila completa de protocolos está compuesta de los protocolos de Bluetooth específicamente como LMP y L2CAP y protocolos ya existentes como OBEX y UDP.

1.4 TOPOLOGÍA DE RED

Los sistemas Bluetooth proveen una conexión punto-punto (sólo 2 unidades Bluetooth) o una conexión punto-multipunto (Ver figura 4). En una conexión punto-multipunto, el canal es compartido entre varias unidades Bluetooth. Dos o más unidades usando el mismo canal forman una **piconet**. Una unidad Bluetooth actúa como *maestro* de la piconet, y las demás unidades como esclavos. Una piconet puede estar constituida hasta por 7 esclavos en estado **activo**, si es que hubiesen más, estas deben estar en estado de **parked**, pero sincronizadas al *maestro*. En ambos casos para una unidad esclava en estado **parked** o **activo**, el acceso al canal es controlado por el *maestro*.

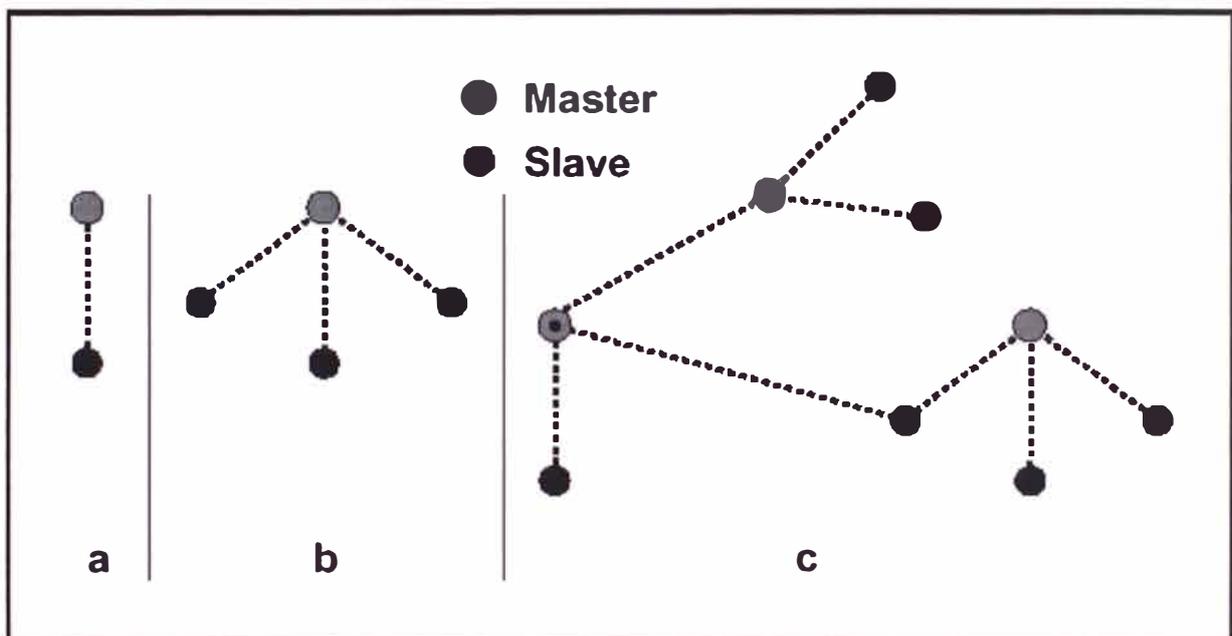


Figura 4 : Piconets (a) single slave, (b) multi-slave, (c) scatternet operation

Múltiples piconets con solapamiento en las áreas de cobertura forman un **scatternet**. Cada piconet puede tener sólo un *maestro*. Sin embargo los esclavos pueden participar en diferentes piconets basándose en una multiplexación por división de tiempo. Además un *maestro* en una piconet puede ser esclavo en otra. Cada piconet está identificado por una secuencia

frecuencia. Los hops consecutivos corresponde a diferentes frecuencias de hop, con una velocidad de hop nominal de 1600 hop/s.

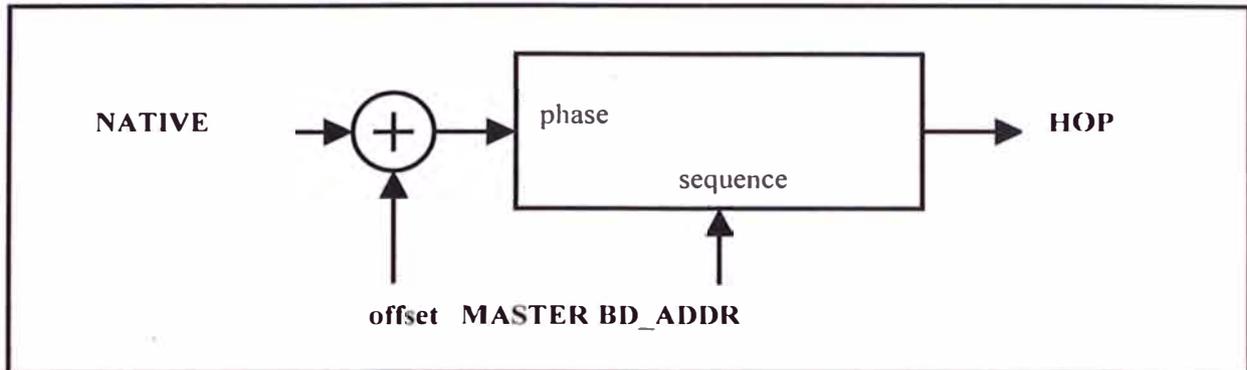


Figura 6 : Hop Selection

Cada dispositivo Bluetooth tiene su propio reloj corriendo independientemente. Un esclavo puede transmitir en la correcta secuencia si conoce el BD_ ADDR del *maestro*. La fase es obtenida por el *esclavo* usando su clock nativo más un offset para obtener el clock del *maestro*. Este offset es ajustado cada vez que un paquete es recibido de el *maestro*. El *maestro* no necesita ningún offset, debido a que su clock nativo es el clock *maestro*.

1.7 HOP SELECTION

Hay 5 tipos de secuencias de salto (hopping sequences) definidas, estas son:

- **Page hopping sequence**, con 32 unicas frecuencias distribuidas igualmente sobre los 79MHz, con una longitud de periodo (segment) de 32.
- **Page response sequence** cubre 32 unicas frecuencias de respuesta y todas en correspondencia una a una en el page hopping sequence en curso. El *maestro* y el *esclavo* usan diferentes reglas para obtener la misma secuencia.

- **Inquiry sequence**, con 32 únicas frecuencias distribuidas igualmente sobre los 79 MHz, con una longitud de periodo (segment) de 32.
- **Inquiry response sequence** cubre 32 únicas frecuencias de respuesta y todas en correspondencia una a una en el inquiry hopping sequence en curso.
- **Channel hopping sequence** tiene una longitud de periodo muy larga, el cual no muestra patrones repetidos sobre un intervalo de tiempo corto, pero distribuye las frecuencias de salto igualmente sobre los 79 MHz durante un intervalo de tiempo corto.

El esquema de selección escoge un segmento de 32 saltos de frecuencia a lo largo de 64 MHz y visita estos saltos (hops) una vez en un orden aleatorio. La próxima vez un segmento diferente de 32 saltos es escogido, etc. En caso de los modos de *page* e *inquiry*, el mismo segmento de 32 saltos es usado todo el tiempo.

1.8 ENLACES FÍSICOS

Dentro de Bluetooth, 2 tipos de enlace han sido definidos

- **Synchronous Connection-Oriented (SCO)** link
- **Asynchronous Connection-Less (ACL)** link

El SCO es un enlace punto-punto entre un *maestro* y un *esclavo* en la piconet. EL *maestro* mantiene el enlace SCO slots reservados en intervalos regulares, por lo que podría ser considerado como una conexión por conmutación de circuitos entre el *maestro* y el *esclavo*. El enlace SCO típicamente soporta tráfico de información de tiempo definido como voz.

El ACL es un enlace punto-multipunto entre el *maestro* y todos los participantes de la piconet. En los slots no reservados para el enlace SCO, el

maestro puede establecer un enlace ACL con cualquier esclavo usando un slot por esclavo. Por lo tanto podríamos decir que funciona como una conexión por conmutación de paquetes entre el *maestro* y todos los esclavos de la piconet.

El Bluetooth puede soportar :

- Un canal de datos asíncrono.
- Hasta 3 canales de voz simultáneos
- Un canal que soporta simultáneamente datos (asíncrono) y voz (síncrono).

Cada canal de voz soporta enlaces síncronos de 64 Kb/s en cada dirección. El canal asíncrono puede soportar un enlace asimétrico como máximo de 723.2 Kb/s en cualquier dirección mientras permita 57.6 kb/s en la dirección de retorno o 433.9 kb/s en un enlace simétrico.

1.9 FORMATOS Y TIPOS DE PAQUETE

Los datos en el canal de la piconet es transportada a través de paquetes.

Cada paquete consiste de 3 partes :

- Access Code
- Header
- Payload

El tamaño en bits de cada parte es mostrada abajo :

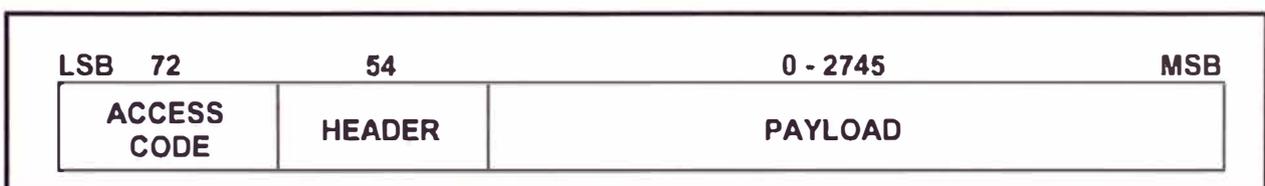


Figura 7 : Formato de un Paquete Estándar

Se han definido diferentes tipos de paquetes. Los paquetes pueden consistir del *access code* solamente, el cual sería el paquete más corto, pueden ser

de *access code + header*, o *access code + header + payload*. Cada paquete debe empezar con un *access code*. Si el paquete contiene un *header* entonces el *access code* es de 72 bits, de lo contrario es de 68 bits.

Este *access code* es usado para la sincronización, compensación del DC offset y autenticación. Existen 3 diferentes tipos de *access code* :

- Device address code (DAC), el cual es usado durante el paginamiento (búsqueda) y es derivado de la BD_ADDR de la unidad.
- Channel access code (CAC), el cual precede a todos los paquetes enviados en la misma piconet, y es derivado del BD_ADDR del *maestro*.
- Inquiry access code (IAC), el cual es usado en las operaciones de requerimiento , y es un código predefinido por Bluetooth. Uno general (GIAC) y otro dedicado (DIAC).

Hay 12 tipos diferentes de paquetes para ambos enlaces ACL y SCO, de las cuales 4 son paquetes de control comunes para ambos tipos de enlace (ver lista de la Figura 8). Adicionalmente está el Identity o ID packet , que no figura en la lista, éste consiste de el *device access code* (DAC) o el inquiry access code (IAC) solamente.

1.10 CANALES LÓGICOS

Para un sistema Bluetooth se han definido 5 canales lógicos; 2 canales de control y 3 canales de usuario

- Link Control - LC (canal de control).
- Link Manager - LM (canal de control).
- User Asynchronous - UA (canal de usuario asíncrono).
- User Isochronous - UI (canal de usuario isocrónico).
- User Synchronous - US (canal de usuario síncrono).

Segment	TYPE code b ₃ b ₂ b ₁ b ₀	Slot occupancy	SCO link	ACL link
1	0000	1	NULL	NULL
	0001	1	POLL	POLL
	0010	1	FHS	FHS
	0011	1	DM1	DM1
2	0100	1	undefined	DH1
	0101	1	HV1	undefined
	0110	1	HV2	undefined
	0111	1	HV3	undefined
	1000	1	DV	undefined
	1001	1	undefined	AUX1
3	1010	3	undefined	DM3
	1011	3	undefined	DH3
	1100	3	undefined	undefined
	1101	3	undefined	undefined
4	1110	5	undefined	DM5
	1111	5	undefined	DH5

Figura 8 : Paquetes definidos para ACL y SCO

1.10.1 CANAL LC

El canal de control LC está contenido en el *header* del paquete. Este canal transporta información de control de enlace de bajo nivel como el ARQ, información para control de flujo y características del *payload*. El canal LC es usado en cada paquete excepto en el ID packet que no tiene *header*.

1.10.2 CANAL LM

El canal de control LM lleva información de control intercambiada entre los link managers del *maestro* y las unidades esclavas. Típicamente el canal LM usa paquetes protegidos DM. El canal LM es indicado por el valor de 2 bits "11" correspondiente al campo L_CH (indicador de canal lógico) en el *header* del *payload*.

1.10.3 CANAL UA/UI

El canal UA transporta datos asíncronos de usuario L2CAP. Esta información puede ser transmitida en uno o mas paquetes en bandabase. Para fragmentar los paquetes, el paquete de inicio usa el valor de 2 bits "10" en el L_CH del *header* del *payload*. Los demás paquetes usan el valor "01". Si no hay fragmentación, todos los paquetes usan el valor "10".

El canal UI es soportado para temporizar el inicio de los paquetes apropiadamente en niveles altos. En el nivel de banda base, el uso del código L_CH es el mismo que en el canal UA.

1.10.4 CANAL US

El canal US lleva sincrónicamente los datos de usuario. Este canal está sobre el enlace SCO.

1.10.5 MAPEO DE LOS CANALES

El canal LC está mapeado en el *header* de los paquetes. Todos los demás canales están mapeados en el *payload*. El canal US sólo puede ser mapeado en paquetes SCO. Todos los otros paquetes son mapeados en paquetes ACL. Los canales LM,UA y UI podrían interrumpir el canal US si contiene información de mayor prioridad.

1.11 ELIMINACIÓN DEL DC BIAS EN LOS PAQUETES

Para evitar el envío de patrones o secuencias binarias de alta redundancia y minimizar el DC bias en el paquete, se lleva a cabo un proceso de "scrambling" al *header* y el *payload* del paquete usando una secuencia binaria llamada "whitening word" (WW).

El receptor hace el proceso inverso de "descrambled" usando el mismo whitening word.

El whitening word (WW) es generado por un polinomio $g(D) = D^7 + D^4 + 1$, y es subsecuentemente aplicado a un XOR con el *header* y el *payload*. El WW es generado con el registro de desplazamiento ciclico lineal mostrado en la figura 9. Antes de cada transmisión, el registro de desplazamiento es inicializado con una porción del clock del Bluetooth *maestro*.

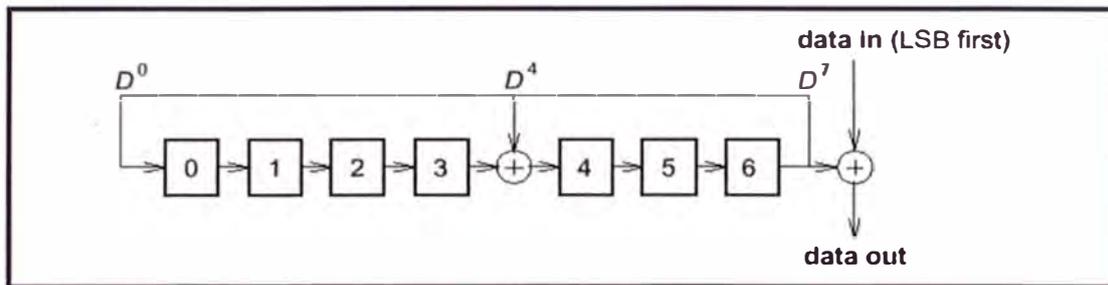


Figura 9: Data Whitenig LFSR

1.12 ESTADOS Y MODOS EN BLUETOOTH

Antes de que alguna conexión sea creada en una piconet, todos los dispositivos se encuentran en modo STANDBY. En éste modo una unidad desconectada está escuchando periódicamente mensajes cada 1.28 segundos. Cada vez que es el turno de un dispositivo, éste escucha por un juego de 32 frecuencias de salto definidas para esa unidad. El procedimiento de conexión es iniciado por cualquiera de los dispositivos, que vendrá a ser el *maestro* de la piconet. Una conexión es hecha por un mensaje PAGE si la dirección es ya conocida, o por un mensaje INQUIRY seguido por un mensaje PAGE si la dirección no es conocida.

En el estado inicial del PAGE, la unidad *maestro* enviará un tren de 16 mensajes PAGE idénticos en diferentes saltos de frecuencia definida para el dispositivo que es paginado (slave unit). Si no hay respuesta, el *maestro* transmite un tren en los sobrantes 16 saltos de frecuencia en la secuencia de wake-up. El mensaje INQUIRY es típicamente usado para encontrar dispositivos Bluetooth de los cuales no se conoce sus direcciones, es muy similar al mensaje page, pero podría requerir un periodo de tren adicional para recolectar todas las respuestas.

Un modo de ahorro de energía puede ser usado para unidades conectadas en una piconet si no hay datos para transmitir. La unidad *maestro* puede poner a la unidad esclavo en modo HOLD, de tal manera que sólo un timer interno esté corriendo. Las unidades *esclavo* pueden también hacer demanda para ponerse en el modo HOLD. La transferencia de datos se reinicia instantáneamente cuando las unidades dejan el modo HOLD. El HOLD es usado cuando se conectan varias piconets o cuando se maneja un dispositivo de baja potencia como un sensor de temperatura. Existen 2 modos adicionales de baja potencia, el modo SNIFF y el modo PARK. En el modo SNIFF, un dispositivo esclavo escucha a la piconet a una velocidad de poll reducida, por lo tanto reduce el duty cycle. El intervalo SNIFF es programable y depende de la aplicación. En el modo PARK, un dispositivo está aún sincronizado a la piconet pero no participa en el tráfico. Los dispositivos en modo PARK han abandonado sus direcciones MAC (AM_ADDR) y ocasionalmente escuchan al tráfico del *maestro* para re-sincronizarse y chequear con mensajes broadcast. Si listáramos la lista de modos en orden creciente de la eficiencia en potencia, entonces el modo SNIFF tendrá el mas alto duty cycle, seguido por el modo HOLD con un bajo duty cycle, y finalmente el modo PARK con el más bajo duty cycle.

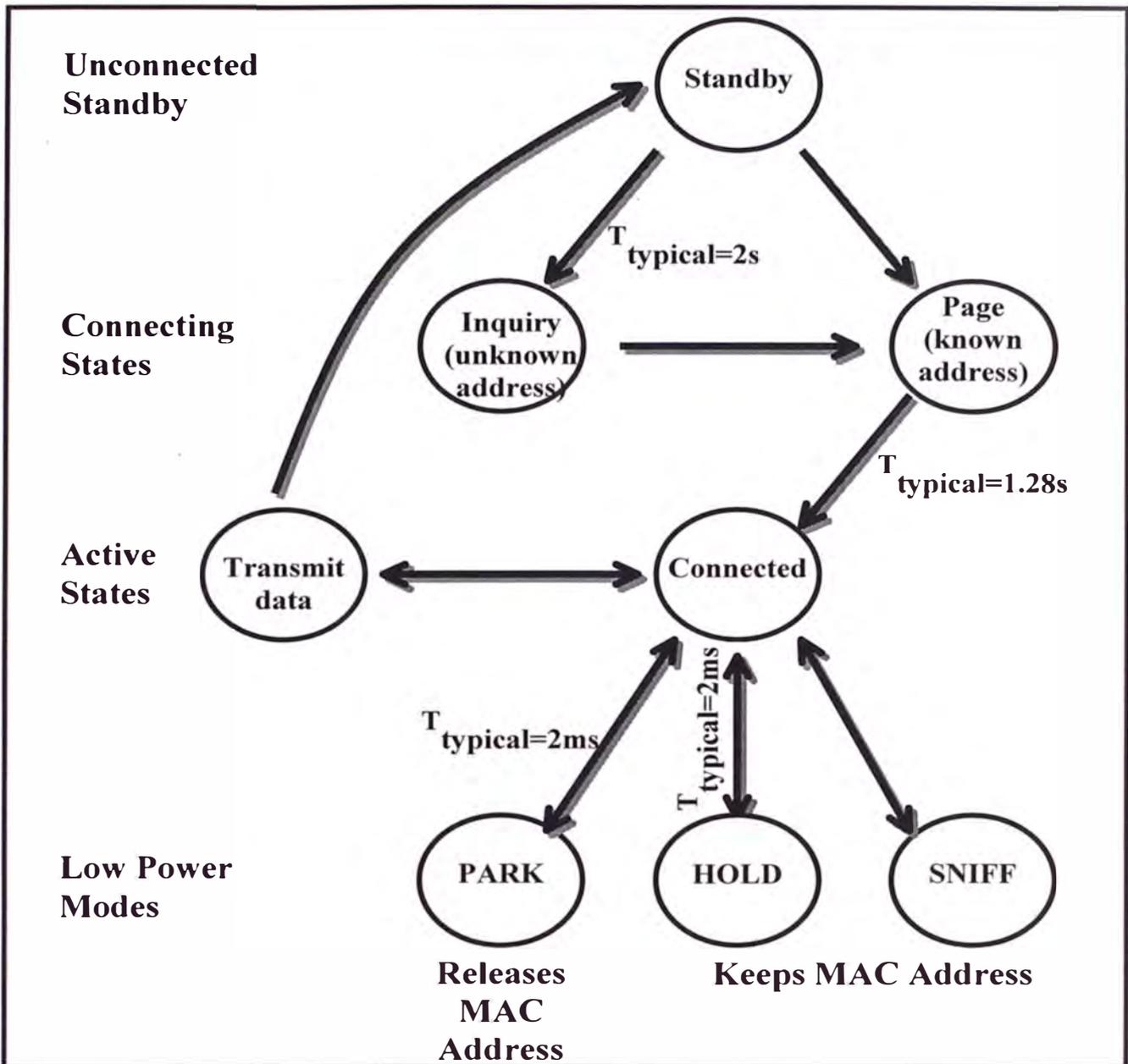


Figura 10 : Diagrama de estados mostrando los posibles estados de una unidad Bluetooth

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El sistema propuesto es una esquema escalable para handover y routing (enrutamiento) que ha sido construido teniendo en cuenta las últimas especificaciones de Bluetooth, que será llamado Esquema de Enrutamiento Bluetooth (BRS Bluetooth Routing Scheme). Este sistema consta de 3 bloques funcionales principales

- El Centro de Conmutación de Mensajes (MSC Message Switching Center), el cual mantiene el monitoreo de los dispositivos dentro del sistema y actúa como un replicador para enrutamiento(routing) cuando es requerido, y está unido por conexiones fijas a :
- Maestros Fijos (FM Fixed Masters), los cuales están ubicados en posiciones fijas dentro del área cubierta y provee la interfase entre el MSC y los dispositivos Bluetooth, como :
- Terminales Móviles (MT Mobile Terminals), que son los terminales Bluetooth ordinarios, que se comunican entre ellos en el sistema.

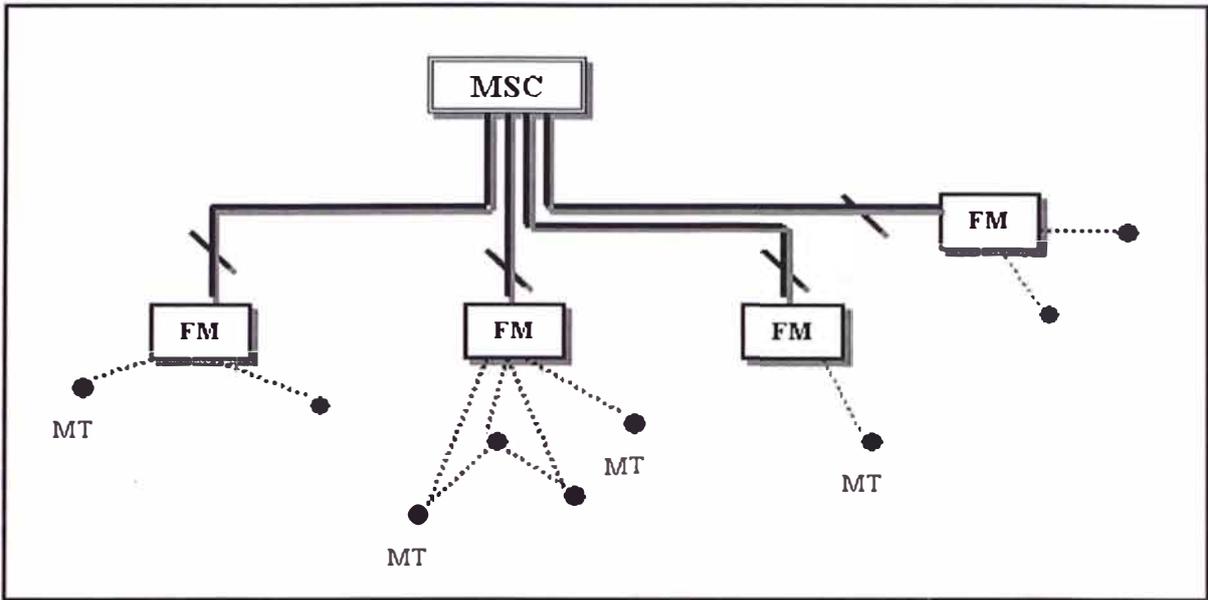


Figura 11 : Bloques funcionales del sistema BRS

Cada una de las 3 capas están conectadas, por ejemplo un MT es un esclavo de un FM, y un FM es un esclavo de el MSC. En las operaciones de configuración cada nuevo Terminal Móvil MT es temporalmente *maestro* de la conexión MT-FM.

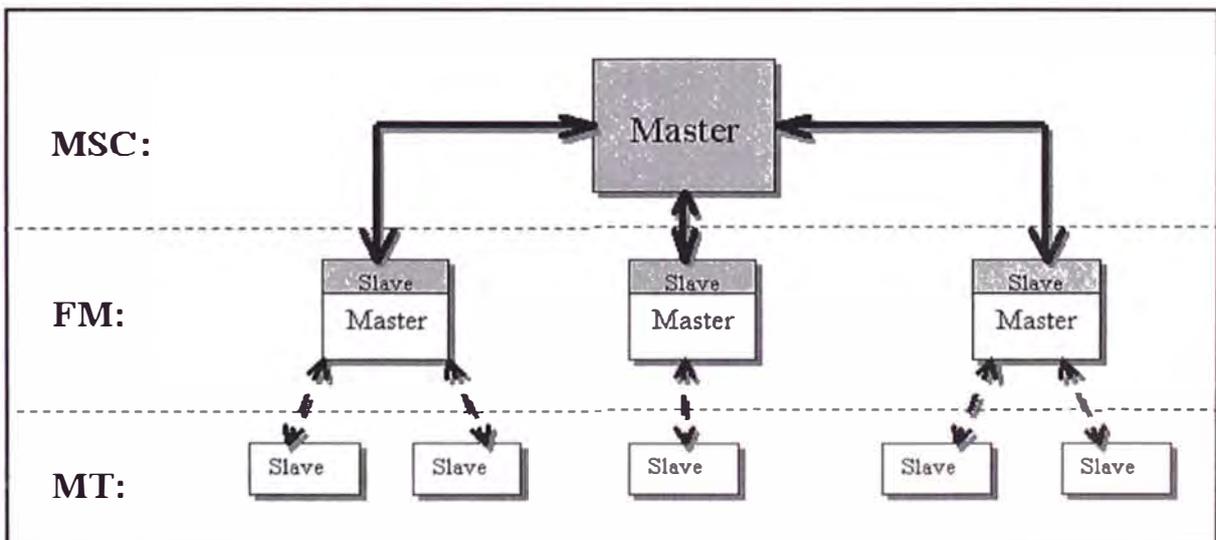


Figura 12 : Diagrama mostrando la interacción de las 3 capas

Todos los bloques usan entre si el protocolo especificado para Bluetooth . El LMP (Link Manager Protocol) es la capa de protocolo usado para transmitir los PDUs para las operaciones de red especializadas del BRS (setup routing links, handover, etc). Sin embargo el enlace MSC/FM usa una conexión Bluetooth de bandabase modificada, por ejemplo el esquema de frequency-hopping está deshabilitado.

A continuación describiremos las características de los diferentes bloques, las diferencias entre ellos, y una breve resumen de cómo operan. Para una explicación mas detallada ver el capítulo 6.

2.1 CENTRO DE CONMUTACIÓN DE MENSAJES - MESSAGE SWITCHING CENTER : MSC

Este es el corazón de el esquema de enrutamiento Bluetooth BRS, y por lo tanto es el más importante. Teóricamente , sin él ningún dispositivo podría comunicarse con otro que se encuentra más allá de 10 metros.

2.1.1 POSICIÓN

Típicamente el MSC debería estar situado en el centro relativo a los FMs, por ejemplo en el centro de un edificio, o al lado de una conexión a Internet.

2.1.2 CONEXIONES

El MSC está unido a los *Maestros Fijos* FM, por una conexión física, como fibra óptica o par de cobre. Esto quiere decir que teóricamente no existe limitaciones en la distancia entre el MSC y los FM, el cual replica el tráfico hacia ellos.

2.1.3 FUNCIONALIDAD

El MSC tiene tres funciones principales

- Rastrear la localización y estado de todos los dispositivos Bluetooth dentro del sistema, a través de su tabla de ruteo - ***routing table***

- Establecer una conexión de enrutamiento entre 2 dispositivos Bluetooth que se encuentran en diferentes piconets, y replicar la información subsecuente entre los 2 dispositivos.
- Asistir, en las operaciones de *handover*.

Además, el MSC puede actuar como un gateway o pasarela hacia redes externas, como internet u otras redes. Esto permite que los mensajes que usan el protocolo Bluetooth entren y salgan de el BRS y se puedan conectar con otros BRSs o sistemas que usen la especificación de Bluetooth.

2.1.3.1 Tabla de Enrutamiento - Routing Table

Al iniciar el MSC se genera la tabla de enrutamiento (routing table) conteniendo todos los Maestros Fijos FM y los MTs que están dentro de su piconet. La tabla de enrutamiento toma el formato de una tabla con una jerarquía de 2 capas, la cual es actualizada cada vez que un MT deja o entra a una piconet de un FM, y cada vez que un FM es activado o desactivado. Un MT puede tener múltiples entradas (reflejando el hecho de que él podría estar en mas de un FM), pero sólo es representado una vez en cada piconet de un FM.

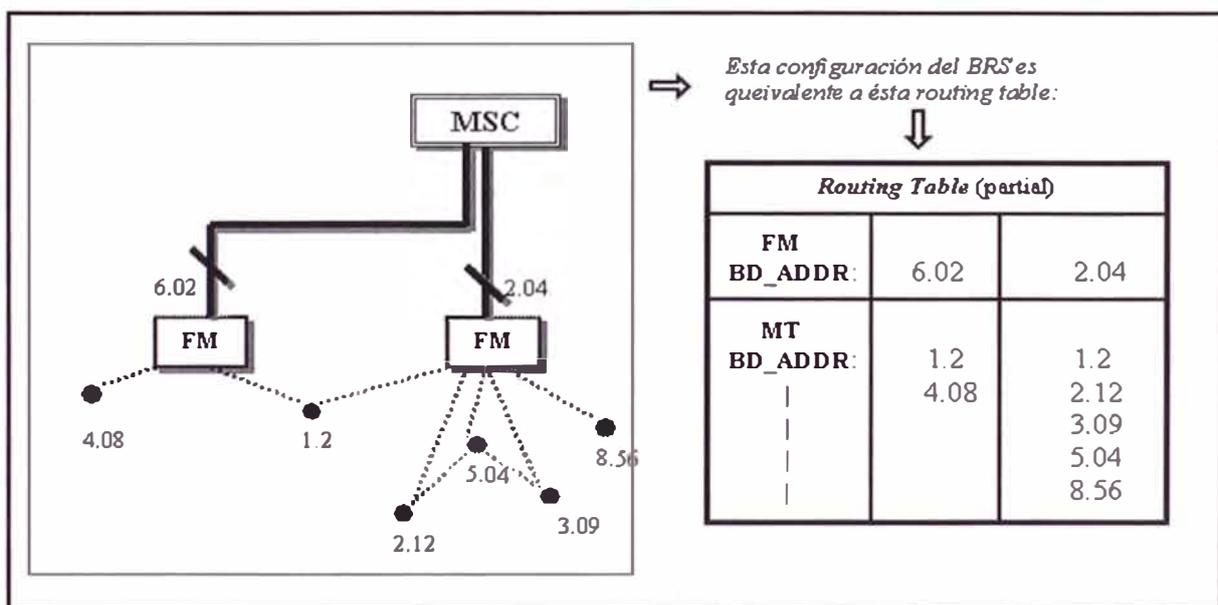


Figura 13 : El BRS y su routing table dentro del MSC

2.1.3.2 Routing Setup/Relay

Durante una operación normal, un dispositivo podría informar al MSC que se requiere de una conexión de enrutamiento con un dispositivo cuya dirección BD_ADDR (device number) es conocido. Los dispositivos en cuestión podrían ser FMs o MTs. El dispositivo que emite el requerimiento es llamado *fuentes* en la conexión de enrutamiento, y el dispositivo del cual se conoce su dirección es llamado *destino*. En respuesta a éste requerimiento el MSC informará al dispositivo destino del requerimiento de conexión. Si el destino es un FM, el MSC enviará el requerimiento directamente a él. Si el destino es un MT, el MSC enviará la información a través de un FM, determinado por la tabla de enrutamiento.

Si la conexión es aceptada, el destino indicará esto al MSC, el cual informará a la fuente que la comunicación puede empezar. Notar que si la fuente es un MT, el MSC deberá recordar que FM está enviando el requerimiento, y subsecuentemente forzar todo el tráfico por la misma ruta.

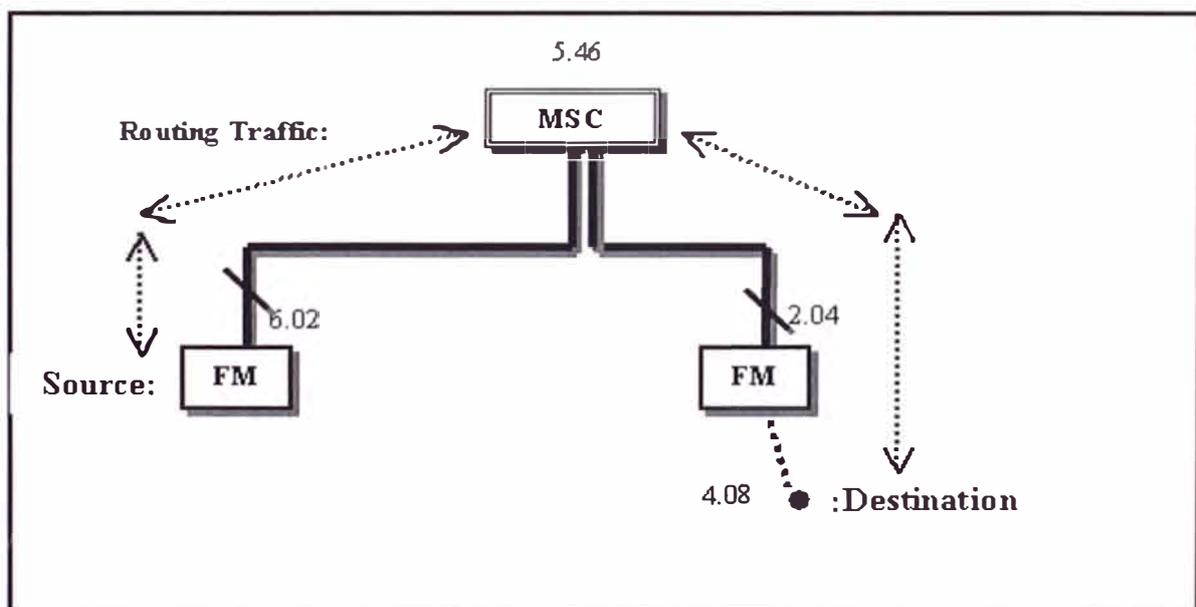


Figura 14 : Routing entre 2 dispositivos Bluetooth (en este caso un FM y un MT)

Para que los paquetes bandabase sean replicados a través de los 2 puntos, el dispositivo receptor examina la cabecera del paquete *-header-* y el código de acceso *-access code-*, y luego re-enruta el paquete hacia el próximo enlace modificando el *header* y/o *access code*. La conexión de enrutamiento existe hasta que un dispositivo en el enlace decida terminar el enlace con un mensaje LMP especializado, o un error en el enlace cause la terminación. Esta estrategia de enrutamiento no se aplica a los mensajes LMP especializados. En estos casos el Link Manager receptor examina el *payload* del paquete LMP, y decide si replicar el mensaje o no.

2.1.3.3 Handover

El MSC puede asistir y acelerar un handover de un MT de un FM a otro si es requerido por el MT. Si el MT desea asistencia del MSC, el enviará un requerimiento de handover (replicado por el *Maestro* en curso) hacia el MSC. Este requerimiento contiene el device address del MT, el device address del nuevo *Maestro* y la diferencia entre el clock nativo del MT y el clock del nuevo *Maestro*, por ejemplo del clock offset. El MSC luego podrá transmitir el device address del MT y el clock offset al nuevo *Maestro*, e instruirlo para que inicie el *paging*(búsqueda) para el MT.

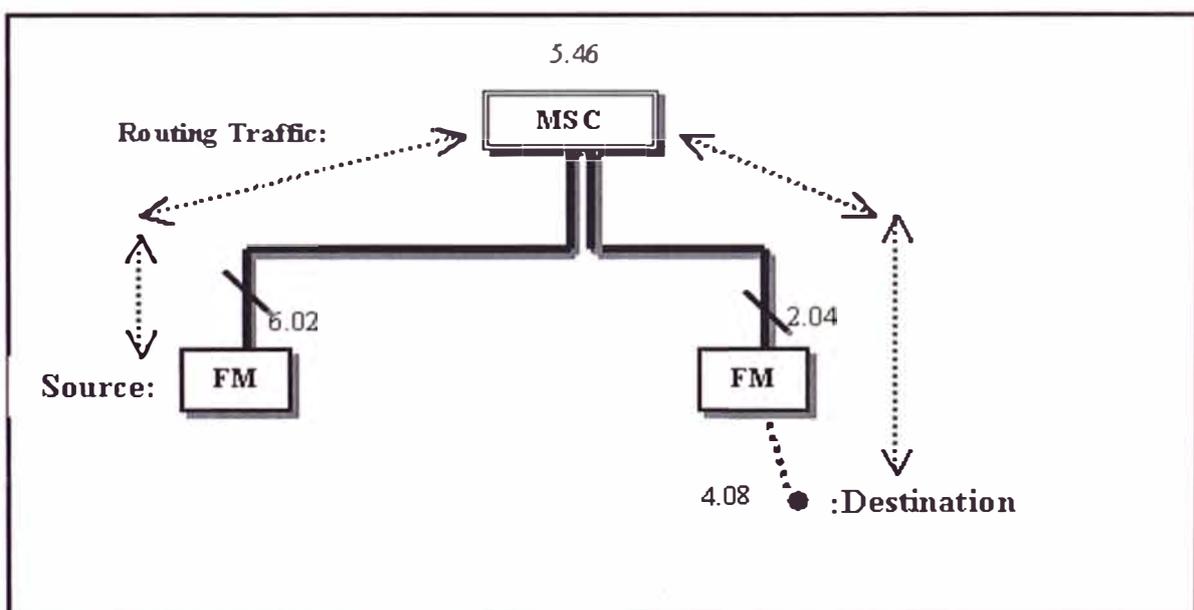


Figura 15 : Un handover asistido por MSC entre 2 FMs Bluetooth

Si ésta instrucción es aceptada se reduce el tiempo de paging, y no hay necesidad para la conmutación *maestro-esclavo*, como es normal cuando un terminal esclavo se une a una piconet. Típicamente es 7 veces mas rápido que un handover no asistido.

2.1.4 SETUP/OPERATION

En la inicialización el MSC establece una conexión LMP con todos los FMs attached a él y obtiene sus BD_ADDRs y los de los MTs conectados a ellos en sus piconets. Los BD_ADDR de los FM son obtenidos de los paquetes FHS y los de los MT son obtenidos usando mensajes LMP especializados. Una vez que una conexión ha sido establecida entre el MSC y el FM, el MSC instruirá al FM a ponerse en modo *park*; la longitud de éste podría estar determinado por la cantidad de FMs conectados al MSC, y la cantidad de veces que el FM se ha comunicado con el MSC recientemente. Cada uno de los FM podría entonces despertar en intervalos para re-sincronizar con el clock del MSC y chequear si hay paquetes de broadcast.

Cuando el MSC quiere comunicarse con un FM (o uno de sus MT esclavos) el podría enviar comandos de *unpark* al FM en cuestión, en el intervalo de tiempo designado para el FM. Si el FM quisiera comunicarse con el MSC, el podría enviar un mensaje de requerimiento de acceso en la mitad del slot *esclavo-a-maestro*, enviando un comando de *unpark* al *maestro*. Una vez que la conexión ha sido configurada, la comunicación puede empezar. Al final de la comunicación, el MSC o el FM podría requerir el modo de *park*, entonces el MSC podría dar servicio a otras FMs.

El uso de el modo de *park* entre el MSC y todos los FMs no activos, significa menos demanda de carga para el MSC, y le permite concentrarse en requerimientos de servicio a todos los FMs. Sin embargo, a mas FMs que haya, mas tiempo tomará poner un FM en modo *unparking*, por la disponibilidad del slot *esclavo-a-maestro*.

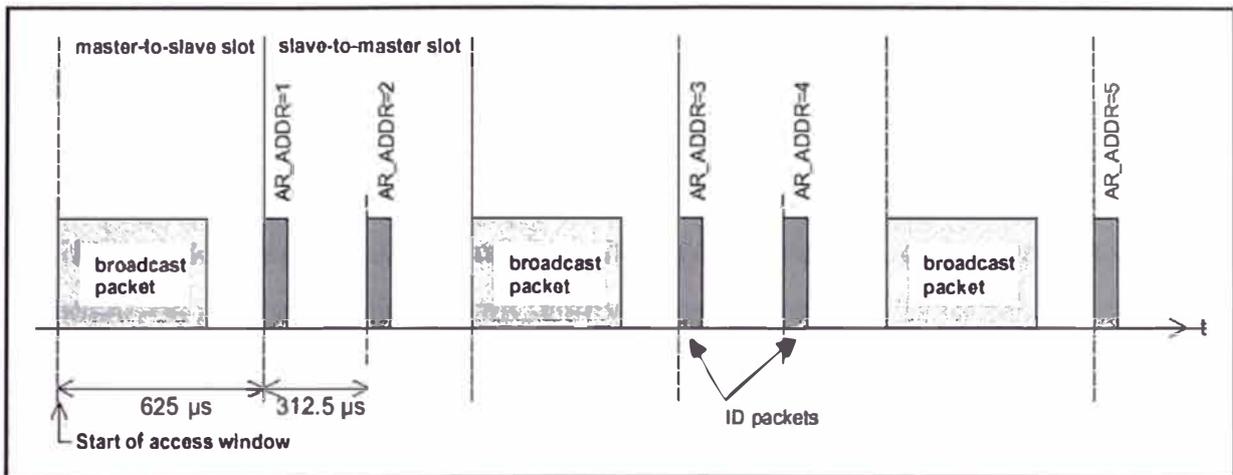


Figura 16 : Cada AR_ADDR representa a un esclavo en modo parked, muestra el tiempo que toma para que un slot esclavo-a-maestro ocurra.

2.2 MAESTROS FIJOS - FIXED MASTERS : FM

Estos son dispositivos Bluetooth fijos y estacionarios, que actúan como interfaces entre los MT y el MSC, y ayudan en la replicación de información entre estos dos cuando es necesario. Estos también pueden realizar operaciones normales de Bluetooth cuando lo requieran.

2.2.1 POSICIÓN

Los FM podrían estar situados a lo largo de toda el área en localizaciones predeterminadas, como en los interiores de oficinas, pasadizos, ofreciendo la máxima cobertura. Teóricamente, un Maestro Fijo operando a 0db de potencia podría tener un área de alcance de aproximadamente 315m².

2.2.2 CONEXIONES

Un Maestro Fijo FM, podría estar enlazado al MSC por una conexión fija, usando como interfase un protocolo de bandabase, con el frequency hopping deshabilitado para el tráfico MSC ↔ FM.

Las comunicaciones con los MTs podrían ser por enlaces de radio Bluetooth ordinarios. No existe comunicación directa entre FMs, todas deben ser a través del MSC.

2.2.3 FUNCIONALIDAD

El FM puede ejecutar un número adicional de tareas comparadas con los dispositivos ordinarios Bluetooth. Estos puede ser :

- Aceptar nuevo MTs dentro del sistema.
- Informar al MSC de cambios en su piconet.
- Encaminar la información a otro dispositivo Bluetooth, que está fuera de su piconet.
- Actuar como replicador cuando la información está siendo enviada desde el MSC a uno de los esclavos del FM, y viceversa.
- Puede paginar un MT, el cual está siendo transferido de una FM a otra.

2.2.4 SETUP/OPERATION

Al inicio, cada FM debe estar conectado por conexión fija al MSC. El MSC debe enviar mensajes de Inquiry a estas conexiones fijas, y cada FM debe retornar un paquete FHS. EL MSC debe establecer una conexión Bluetooth con cada una de las FMs, obteniendo la información que necesita del FM y de los dispositivos de su piconet, antes de configurar al FM en modo park (asumiendo que el FM no necesita asistencia del MSC para una operación de handover/routing).. Cuando el FM no necesita comunicarse con el MSC, un paquete especializado ID, conteniendo el device access code (DAC) de el MSC es enviado en el slot *esclavo-a-maestro* apropiado. EL MSC responderá con una instrucción de *unpark*, y luego el FM podrá enviar los datos al MSC, y viceversa.

La configuración de enlace con los MTs es iniciado por el MT en cuestión. Cuando el MT quiere conectarse con un FM, el envía un paquete de

broadcast DIAC (Dedicated Inquiry Access Channel) ID. Cualquier FM que reciba éste paquete responderá con paquetes FHS. Una vez que el MT recibe los paquetes FHS, el determina cual es el *maestro* más óptimo y establece una conexión de banda base con él.

2.3 TERMINAL MÓVIL - MOBILE TERMINAL : MT

Los terminales móviles MTs dentro del sistema son dispositivos ordinarios Bluetooth con alguna funcionalidad extra. Cuando es requerido, ellos interactúan con el FM, tanto para comunicarse con el FM, requerir asistencia para handover o para comunicarse con otro dispositivo dentro del sistema BRS.

2.3.1 POSICIÓN

Los MTs son móviles dentro del área, por lo tanto su posición es relativa a cualquier FM. Un MT debería estar siempre dentro del rango de al menos un FM.

2.3.2 CONEXIONES

Los MT se comunican con los FM u otros MTs dentro del rango usando el enlace de radio tradicional del Bluetooth : short-range frequency hopping. Cualquier comunicación con el MSC es hecha usando el FM como dispositivo de replicación. La comunicación con un FM u otros dispositivos fuera del rango del MT es hecha ruteando el tráfico a través del sistema.

2.3.3 FUNCIONALIDAD

El MT dentro del BRS Bluetooth Routing Scheme no tiene mucha funcionalidad adicional comparado con los dispositivos que están fuera del sistema, pero comparten algunas de las funcionalidades adicionales de los FM. Sus principales características son

- Integrarse dentro de la piconet de un FM.

- Es sensible a la degradación del enlace entre él y el FM, y agruparse a otro FM.
- Capacidad para requerir asistencia en el handover cuando se está moviendo de un FM a otro.
- Puede requerir establecer un enlace con otro dispositivo Bluetooth que está fuera de su rango y comunicarse con él.

2.3.4 SETUP/OPERATION

El MT se une al sistema enviando paquetes dedicados Inquiry ID (DIAC) para localizar algún FM en el área. Si algún FM recibe estos paquetes, estos envían la respuesta con paquetes FHS. El MT debe recolectar estas respuestas y luego decidir por si mismo a cual FM unirse. Una vez que la conexión está hecha con un FM, se establece una relación *maestro-esclavo* con él. Una vez que está en el estado de CONNECTION el puede ir a otro estado como active, parked, hold, etc., relativo a él y al FM. Si el quisiera iniciar un routing o handover, tiene que informar al FM usando los PDUs especializados.

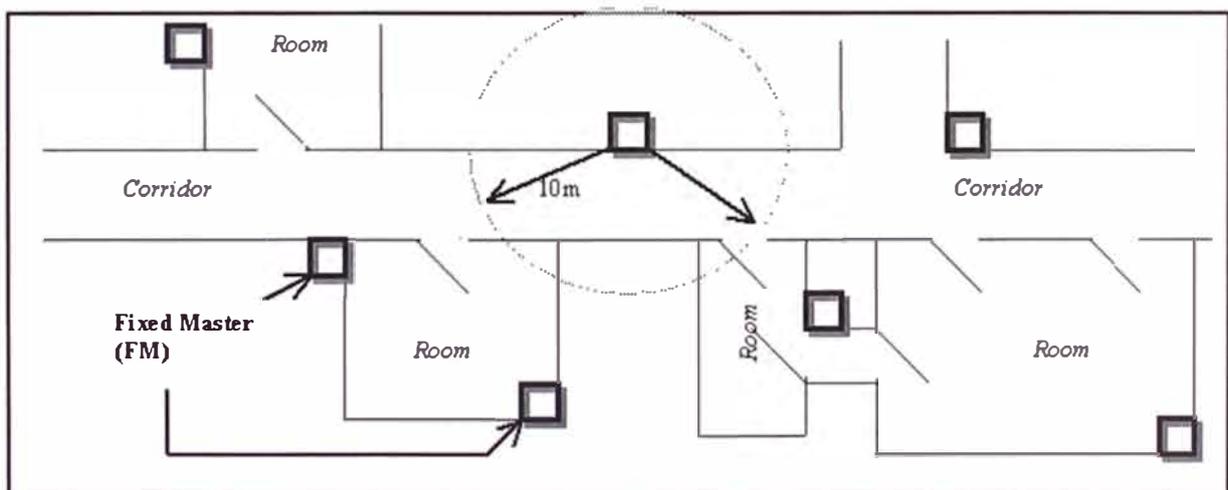


Figura 17 : Diagrama mostrando una posible configuración de FMs dentro de oficinas.

CAPÍTULO III

LMP - PDU (PROTOCOL DATA UNIT) ESPECIALIZADOS

3.1 MENSAJES DE RESPUESTA GENERAL

Los PDUs LMP_accepted y LMP_not_accepted son usados como mensajes de respuesta a otros PDUs en varios procedimientos. El PDU LMP_accepted incluye el opcode de el mensaje que es aceptado. El PDU LMP_not_accepted incluye el opcode de el mensaje que no es aceptado y la razón porque no es aceptada. Estos PDUs están ya especificados en las especificaciones del LMP de Bluetooth.

M/O	PDU	Contents
M	LMP_accepted	opcode
M	LMP_not_accepted	opcode reason

Tabla 3 : Mensajes de Respuesta Generales

3.2 ACTUALIZACIÓN DEL ROUTING TABLE

Cuando un MT se conecta o desconecta de un FM, el FM debe informar al MSC para que actualice el routing table. Para hacer esto el FM debe enviar un LMP_table_update al MSC.

El MSC luego evalúa el DB_ADDR del MT indicado en el PDU contra las entradas que figuran en su tabla para el FM en curso. Si el BD_ADDR está presente se considera que el MT está dejando la piconet y debe ser

removido. Si no está presente en la lista entonces se trata de una nueva MT en la piconet. Un máximo de 2 BD_ADDR podrían ser enviados en el mensaje en curso.

M/O	PDU	Contents
O	LMP_table_update	BD_ADDR BD_ADDR(optional)

Tabla 4 : PDU usado para cambio de piconet

3.3 CONTROL DE CONEXIÓN DEL ENRUTAMIENTO

Si el dispositivo Bluetooth quiere transferir información a otro dispositivo, el cual está fuera de su piconet, y no ésta posibilitado para comunicarse por la vía normal, entonces el dispositivo puede hacer una solicitud de *enrutamiento*. En éste caso un dispositivo deberá informar directa (si es FM) o indirectamente (si es MT) al MSC el BD_ADDR del destino y la fuente.

Si el destino / fuente es un FM, entonces los PDU terminaran en el dispositivo. Si el destino / fuente es un MT , entonces el FM recibirá el PDU y simplemente re-enrutará los mensajes hacia el MSC (MT-> FM -> MSC), o al MT: (MSC-> FM -> MT).

M/O	PDU	Contents
O	LMP_source_link_req	BD_ADDR BD_ADDR
O	LMP_destination_link_req	BD_ADDR BD_ADDR
O	LMP_end_link	BD_ADDR BD_ADDR Reason

Tabla 5 : PDUs usados para inicio/terminación de routing

3.3.1 REQUERIMIENTO DE ESTABLECIMIENTO DE ROUTING DESDE UNA FUENTE

Cuando un dispositivo Bluetooth quiere establecer una conexión con un dispositivo que no se encuentra en su piconet, el enviará un PDU LMP_source_link_req al MSC. El PDU contiene el BD_ADDR del destino y la fuente. Si el destino no está en la tabla o el MSC no puede completar la conexión con el destino, el MSC responderá con un *LMP_not_accepted*. El MSC responderá con *LMP_accepted* una vez que la conexión ha sido totalmente establecida

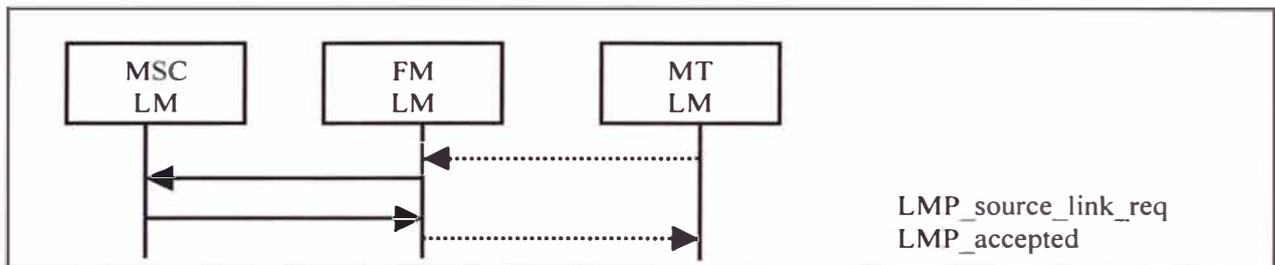


Figura 18 : MSC acepta y configura routing

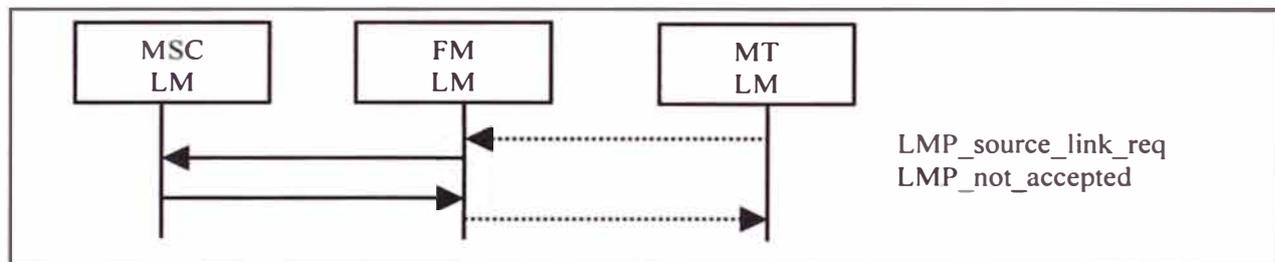


Figura 19 : MSC rechaza routing

3.3.2 CONEXIÓN CON EL DESTINO

Si el MSC ha recibido un requerimiento de routing LMP_source_link_req, localizará el BD_ADDR en su tabla de ruteo e intentará establecer una conexión con el destino. Si el destino es un FM, enviará directamente un PDU LMP_destination_link_req, de lo contrario enviará el PDU al FM (obtenido de la tabla de ruteo) el cual replicará al destino. Si el destino está presente, activo y la conexión se puede establecer, el dispositivo destino

enviará un LMP_accepted al MSC. De lo contrario se enviará un LMP_not_accepted.

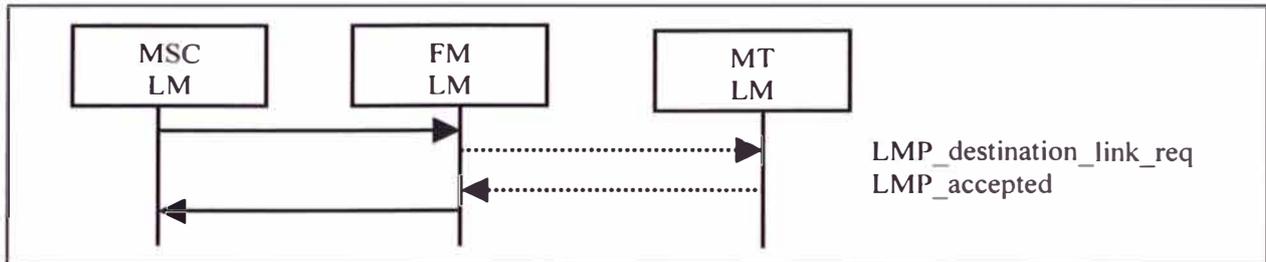


Figura 20 : Dispositivo acepta y prepara conexión de routing

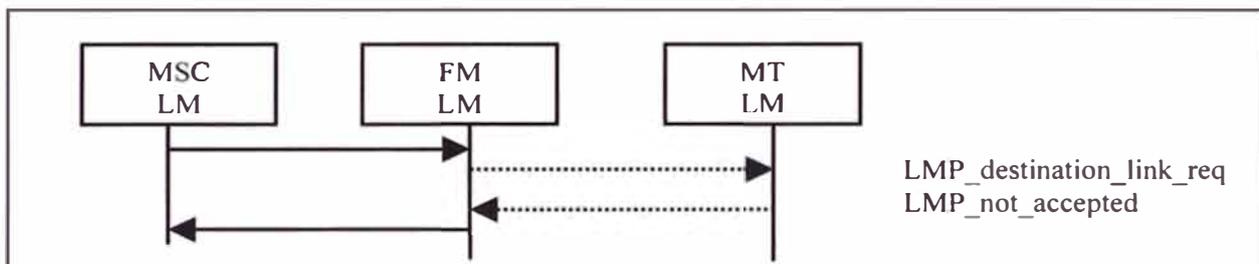


Figura 21 : Dispositivo rechaza la conexión

3.3.3 EL DISPOSITIVO REQUIERE FIN DE ROUTING CONNECTION

Si el dispositivo que es parte de una conexión de routing desea terminar la conexión, tendrá que enviar un PDU LMP_end_link al MSC, con la dirección destino y fuente incluida, así como la razón de la terminación. El MSC deberá enviar éste mensaje al otro dispositivo en el otro lado. No es necesario respuesta a éste PDU. El MSC puede también terminar la conexión en cualquier momento.

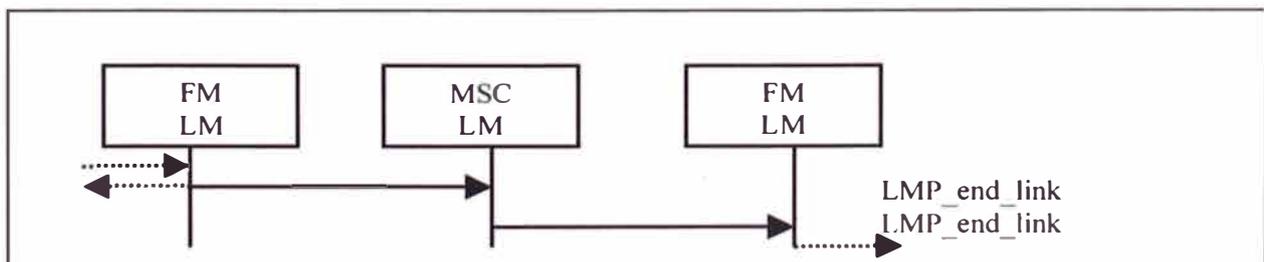


Figura 22 : Conexión de routing cerrada enviando LMP_end_link

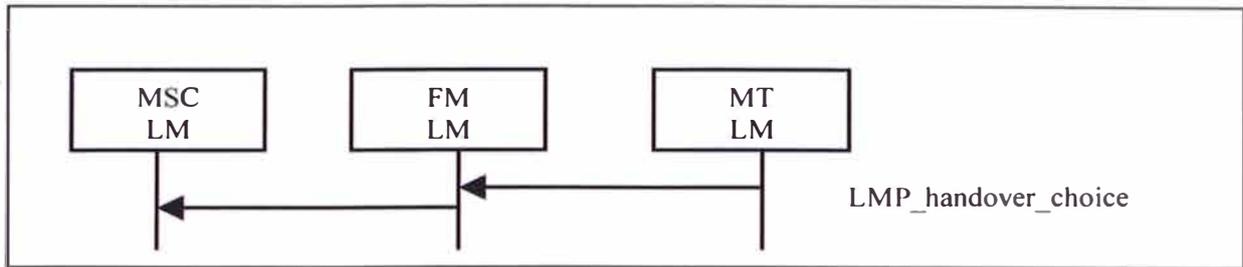


Figura 24 : MT informa al MSC del nuevo maestro al que trata de conectarse

3.4.2 REQUERIMIENTO DE QUICK HANDOVER

Si el MSC ha recibido un handover choice de un MT, el puede decidir que el nuevo FM establezca una conexión con el MT. Esto se hace enviando un LMP_handover_req al potencial nuevo FM.

Este PDU instruye al FM ponerse en modo de paginado y tratar de establecer una conexión con el BD_ADDR enviando en el PDU. El usa esto, y el clock offset provisto para formar una paginación rápida. Si el FM no puede paginar en ese momento , o si el MT ya está conectado a éste FM, el enviara como respuesta un LMP_not_accepted. En cualquier otro caso el enviará una respuesta de aceptación LMP_accepted.

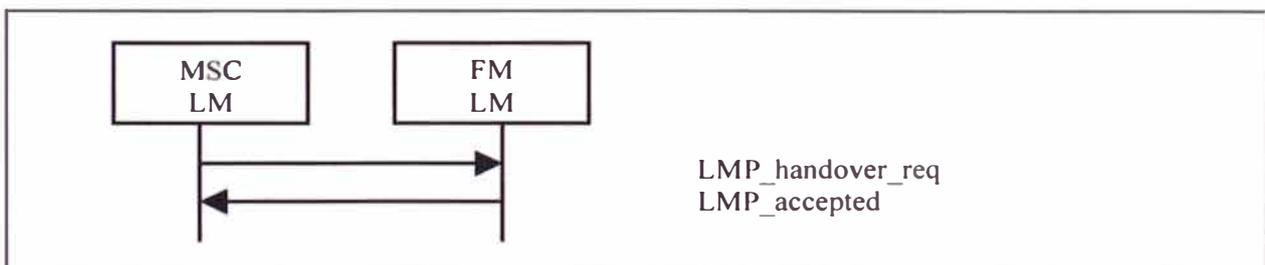


Figura 25 : FM acepta requerimiento de MSC para paginar a un esclavo designado

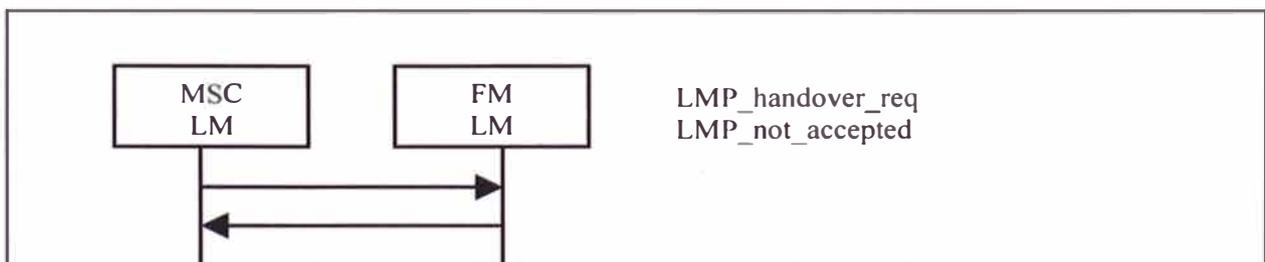


Figura 26 : FM rechaza requerimiento de MSC para paginar al esclavo

3.5 RESUMEN DE PDUs

LMP PDU	Length (bytes)	Op code	Packet type	Possible direction	Contents	Position in payload
LMP_end_link	14	BRS1	DM1	M ↔ s	Reason BD_ADDR link source BD_ADDR link destination	2 3-8 9-14
LMP_handover_choice	14	BRS2	DM1	M ← s	clock offset BD_ADDR slave BD_ADDR new master	2-3 3-8 9-14
LMP_handover_req	9	BRS3	DM1/ DV	M → s	clock offset BD_ADDR slave	2-3 4-9
LMP_source_link_req	13	BRS4	DM1	M ← s	BD_ADDR link source BD_ADDR link destination	2-7 8-13
LMP_destination_link_req	13	BRS5	DM1	M → s	BD_ADDR link source BD_ADDR link destination	2-7 8-13
LMP_table_update	variable	BRS6	DM1	M ← s	BD_ADDR 1 st update BD_ADDR 2 nd update	2-7 8:0-5

Tabla 7 : Códigos de los diferentes PDUs

Nota : Los Opcodes mayores de 57 están definidos en el protocolo LMP, por lo tanto los opcodes de los PDU mostrados arriba podrían ser 57+ BRS opcode.

CAPÍTULO IV

ESPECIFICACIÓN DEL ESQUEMA DE ROUTING BLUETOOTH

El esquema de enrutamiento de Bluetooth (Bluetooth Routing Scheme BRS) es una estrategia para el routing y handover basado en el protocolo de Bluetooth, pero con algunas adiciones con la finalidad de permitir características avanzadas. El tipo de comunicación es un enlace bidireccional (two-way duplex), con el destino y la fuente transmitiendo. Es una sistema escalable, cuyo requisito mínimo es tener un MSC y un dispositivo adicional. El esquema propuesto puede escalar hasta un máximo de 256 FMs y 65536 MTs, (256 MTs por cada FM). De hecho mas de un MSC puede ser usado para crear una red Bluetooth.

4.1 TIPOS DE ENLACES Y PAQUETES SOPORTADOS

Primeramente hay algunas asunciones que debemos hacer para el sistema BRS.

- El sistema BRS permite enrutar solamente enlaces ACL, los enlaces SCO no pueden ser usados. Esto debido a que el MSC debe atender a otros dispositivos que quisieran comunicarse con él. Los enlaces SCO harían imposible éste requerimiento por el uso reservado del slot.
- El enlace FM ↔ MSC es una conexión fija. No usa frequency hopping.

- Los paquetes ACL que son posibles de enrutar son DM1, DH1, AUX1, DM3, DM5 y DH5. Los paquetes ID, NULL, POLL y FHS no son ruteados a través del sistema.
- Todos los PDUs especializados son transmitidos entre el LM de los dispositivos. Las capas de encima y de abajo del LM permanecen sin cambio. Por lo tanto la funcionalidad del BRS reside en la capa LMP solamente.

4.2 INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN

4.2.1 MSC/FM INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN

- En el momento de inicialización, todos los FMs activos conectados al MSC reciben un mensaje de Inquiry de el MSC. Hasta que los FMs respondan con sus respectivos paquetes FHS.
- Luego una conexión de bandabase es establecida entre los dos dispositivos, antes de que una conexión LMP se establezca.
- Una vez que la conexión LMP esté establecida, el MSC actualiza su tabla de ruteo y adiciona los BD_ADDR de los FM (obtenida de los paquetes FHS) a su lista de direcciones de FM. Si el FM tiene MT attached a éste, entonces el FM enviará los BD ADDR de éstos al MSC vía un LMP_table_update.
- Una vez que estos han sido enviados, el FM solicita ponerse en modo park. Si el FM no solicita ponerse en modo park, luego de un pre-determinado periodo de tiempo, el MSC solicitará hacerlo, si aún así el FM no se pone en modo park voluntariamente, el MSC forzará la operación.

4.2.2 FM/MT INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN

- Cuando un MT quiere conectarse con un FM, el envía una flujo de paquetes DIAC (dedicated inquiry access). Estos son paquetes ID conteniendo un DIAC, que es un predeterminado inquiry code escogido

para preguntar la clase de FM del dispositivo Bluetooth. Este DIAC es asignado para ser el LAP3(Lower Address Portion) cuyo valor es : 0x9E8B01. LAP1 y LAP2 están ya predefinidos.

step	message	direction	hopping sequence	access code
1	ID	master to slave	inquiry	inquiry
2	FHS	slave to master	inquiry response	inquiry

Tabla 8 : Mensajería durante las rutinas de inquiry

- Una vez recibido este DIAC, el FM sabe que un dispositivo activo en el BRS está presente, y responde con un paquete FHS. Si el MT recibe múltiples paquetes FHS, el calcula el ratio entre paquetes vs tiempo recibidos :

$$R = \frac{N}{T} \quad (\text{EQ 1})$$

donde T es el tiempo desde el inicio de broadcast DIAC hasta el presente, y N el número de paquetes recibidos en el período T. A mayor R la conexión es mejor.

- El MT compila una lista de FMs y sus valores R , y decide después de 10.24s para proceder a conectar con el mejor FM. Para iniciar el MT se pone en modo page y envía un paquete ID al FM. Esto inicia el procedimiento de Paging. El FM responde con un paquete de respuesta al Paging (un paquete ID), después que el MT envía un paquete FHS al FM, el cual luego responderá con un paquete ID. La conexión Baseband ahora está establecida, con el MT siendo el *maestro*, y el FM siendo el *esclavo*.

Step	Message	Direction	Hopping Sequence	Access Code and Clock
1	slave ID	master to slave	page	slave
2	slave ID	slave to master	page response	slave
3	FHS	master to slave	page	slave
4	slave ID	slave to master	page response	slave
5	1st packet master	master to slave	channel	master
6	1st packet slave	slave to master	channel	master

Tabla 9 : Mensajería durante las rutinas de paging

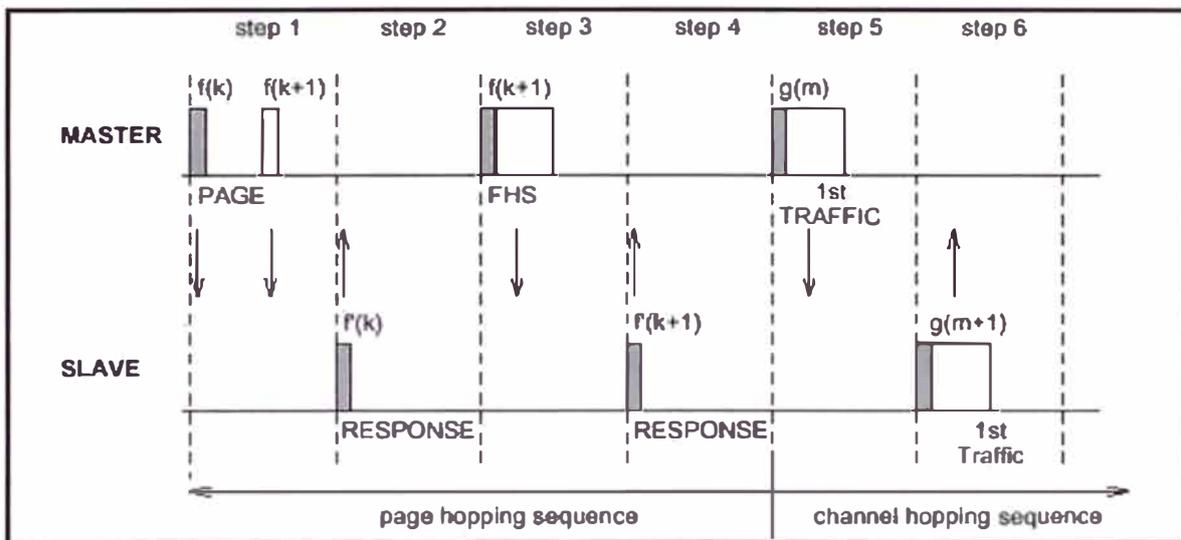


Figura 27 : Mensajes al inicio de la conexión cuando el esclavo responde a un mensaje de page

- Cualquier error o falla al establecer un enlace ocasionará que el MT descarte a éste FM. El MT intentará conectarse con el siguiente FM en la lista. Si no hay mas FMs en la lista, el MT no debería continuar con el procedimiento de establecimiento de enlace. Este debería ser reiniciado.
- Una vez que el enlace de bandabase está establecido el FM y el MT deben intercambiar roles, para llevar la conexión entre los dos dentro del sistema BRS. El FM inicia esto enviando LMP_slot_offset al MT una vez

que la conexión de bandabase esté establecida y el establecimiento de la conexión LMP haya empezado.

El LMP_slot_offset contiene las diferencias entre los límites de los slots de las dos piconets (dispositivos). EL FM luego envía un LMP_switch_req al MT y el cambio a *maestro-esclavo* se inicia. Si algún procedimiento LM falla, o si el enlace se pierde en algún momento, entonces el MT no tomará en cuenta a éste FM.

- Tan pronto como el cambio *maestro-esclavo* ha finalizado el MSC solicita al FM salir del modo park. Cuando el FM sale del estado park, envía el BD_ADDR del MT al MSC enviando un LMP_table_update. Una vez que esto se hace el MT pertenece al sistema BRS.

4.3 HANDOVER

Cuando un enlace de un MT a un FM se está degradando, ambos dispositivos pueden tomar acción para forzar que el MT permanezca en el BRS, éste proceso de cambio de una piconet a otra de un dispositivo móvil MT es llamado *Handover*. Este proceso es similar al de las redes de telefonía celular donde un teléfono móvil puede pasar de una celda a otra automáticamente, manteniendo la conexión a la red.

4.3.1 DETECCIÓN DE UN ENLACE MALO

Cada MT constantemente monitorea su conexión con su FM. Un indicador llamado RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) al nivel de radio hace esto posible. El receptor de potencia del MT debe tener un rango con límites mínimo y máximo. El RSSI debe tener como mínimo un rango dinámico igual al del receptor.

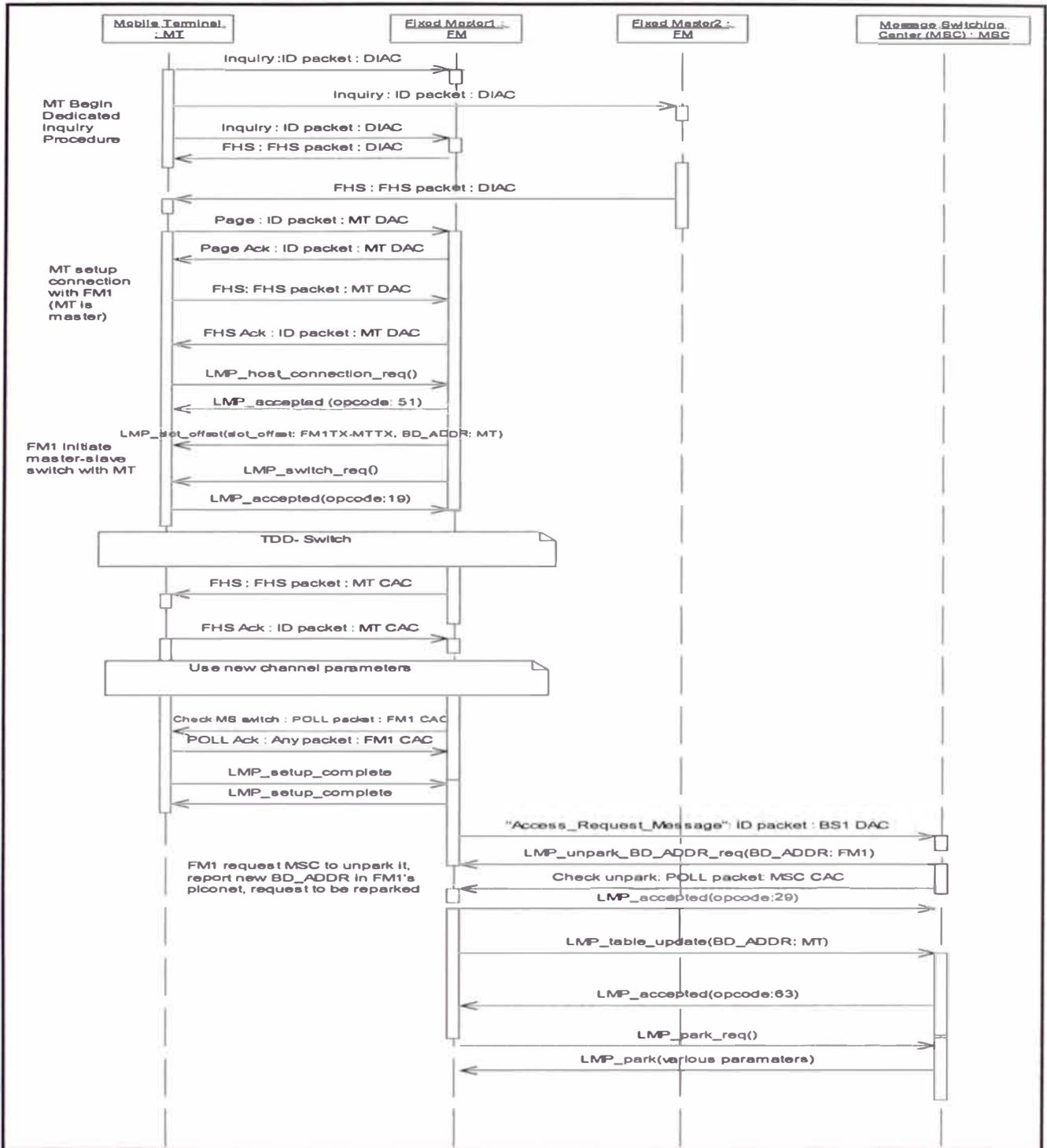


Figura 28 : MT-FM Inicialización de Enlace

Ambos lados puedan requerir un incremento o decremento de la potencia de TX del otro lado, esto es realizado usando mensajes LMP LMP_incr_power_req/LMP_decr_power_req. Sin embargo una vez que el nivel de potencia máximo ha sido alcanzado, el receptor de LMP_incr_power_req debe retornar LMP_max_power. Los pasos de potencia están definidos como secuencias monotónicas, con un paso máximo de 8 dB y un paso mínimo de 2 dB. Un dispositivo de potencia **clase 2**, que son los MT y FMs, tienen una potencia nominal de salida de 0dBm, y una potencia máxima de salida de 4dBm, y una potencia mínima de salida de -6dBm.

Dos valores de potencia son monitoreados en un sistema BRS: *handover_prepare* y *handover_init*.

Handover Stage 1 : handover-prepare

El valor de potencia escogido para reconocer el estado handover-prepare debe ser lo suficientemente bajo para dar tiempo al MT a encontrar un nuevo FM, pero lo suficientemente alto para prevenir operaciones de inquiry innecesarias.

Cuando el MT se pone en estado handover-prepare, éste iniciará automáticamente periódicamente (10 cada minuto) un procedimiento de inquiry. Esto hará que todos los FM del área respondan. Estas respuestas podrán ser usadas para formar una nueva conexión mas tarde, si el enlace continua deteriorándose. Este valor handover-prepare es seteado a 1 dBm (1.25 mW). Este valor es arbitrario, y podría ser seteado mas o menos si es requerido.

Handover Stage 2 : handover-init

Existen 2 posibles niveles de potencia que forzarían al MT a ponerse en estado de *handover-init*. El primer nivel ocurre en la configuración de la potencia de prueba, la segunda no debería ocurrir a menos que haya un dispositivo dañado o movido rápidamente.

- Si el MT envía/recibe un LMP_incr_power_req hacia/desde el FM, o
- Si el MT recibe un LMP_incr_power_req y su nivel de potencia máxima ya ha sido alcanzada, o el MT recibe una respuesta LMP_max_power de el FM.

4.3.2 PASOS INICIALES PARA EL HANDOVER

- Una vez que enlace malo ha sido detectado, y se estableció el estado de handover-init, el MT envía paquetes DIAC, buscando nuevamente FMs en el área. Los FMs responden con paquetes FHS. Esto puede demorar por un máximo de 0.64s (un FM replicará un promedio de 2 veces en éste periodo).
- El MT no diferencia entre los paquetes FHS recibidos, él eventualmente establecerá la conexión teniendo en cuenta el mejor R. Independientemente si es el actual FM o es uno nuevo.
- Una vez que el FM con el mejor R ha sido escogido, el MT enviará LMP handover choice al MSC. Este PDU contiene el BD_ADDR de el MT, el BD_ADDR de el nuevo FM N-FM, y el clock offset entre los 2 clocks .
Esto es calculado en el MT cuando recibe los paquetes FHS. El clock offset es la diferencia entre el clock del MT el clock del N-FM.
- El MT luego iría a un modo de page por un máximo de 1.28 s. Durante éste tiempo, el MSC podría asistir en el handover, dependiendo del estado actual del MT.

4.3.3 MSC - HANDOVER NO ASISTIDO

El MSC no intentará asistir en dos tipos de requerimiento de handover :

Invalid Handover Request

Si la dirección del N-FM es un FM que el MT ya está attached actualmente, entonces el MSC no tomará acción.

Irrelevant Handover Request

Si la dirección del N-FM no está conectado actualmente al MT, entonces el MSC chequeará si el MT en cuestión está conectado a un FM diferente en el sistema (determinado de la tabla de ruteo), Si es así, entonces el MSC no tomará acción, por que el MT permanece atachado a un FM y puede ser ruteado. Por lo tanto el handover puede ser no asistido, siguiendo el proceso normal de Inicialización y Configuración.

4.3.4 MSC HANDOVER ASISTIDO

Si el MT no está conectado a un FM dentro del BRS, entonces el MSC empezará una serie de eventos para asegurarse que el MT permanece en el BRS.

- El MSC enviará un LMP_handover_req al potencial new FM N-FM. Este PDU contiene el BD_ADDR de el MT en cuestión y el clock offset entre el MT el N-FM.
- Si el N-FM no puede paginar al MT en ese momento, o si ya está conectado al MT, el enviará una respuesta con LMP_not_accepted. Si esto ocurre el MSC no intentará asistir en la operación de handover. En cualquier otro caso el N-FM enviará una respuesta de conformidad vi un PDU LMP_accepted, y continuará con el procedimiento.
- El N-FM enviará los paquetes ID, conteniendo el DAC (Device Access Code) de el MT,. Para una correcta fase en la secuencia, el N-FM deberá usar un estimando del clock del MT (CLKE),
- Como el MT está en continuo modo de scan, él responderá el paquete ID con otro paquete ID de respuesta al paginado. Una vez que el N-FM reciba esta confirmación, éste enviara un paquete FHS al MT, al cual se tendrá otra respuesta vía un paquete ID . En este punto la conexión en bandabase está establecida.

- Luego el N-FM enviará un LMP_table_update al MSC, informando que el Nuevo FM ha establecido satisfactoriamente una conexión con el MT.

Fase de Resolución en un Handover Asistido por MSC

Para tener una operación de paging rápida y por lo tanto un handover veloz, es necesario conocer cuando un esclavo estará en un cierto hop channel (su fase en la secuencia). Esto se determina de el clock de dispositivo Bluetooth. El MSC informa al N-FM de la diferencia del clock (clock offset) entre el N-FM y el MT en un LMP_handover_req. Este clock offset es originalmente calculado por el MT en cuestión. Usando éste clock offset y el clock del N-FM, el N-FM puede tener un estimado del clock del MT (CLKE). Con éste estimado CLKE, el N-FM puede predecir cuando el esclavo "despertará " en un canal.

4.3.5 HANDOVER TIMING

El esquema de handover sólo tiene validez si se prueba que es mas eficiente y rápido que los métodos existente del Bluetooth. Para hacer esto primero analizaremos el paging e inquiry timing dentro de Bluetooth , y luego como intervienen en el handover asistido y no asistido.

Initial Inquiry Substate Timing

Las frecuencias de TX y RX siguen a las secuencias de hopping para los inquiry e inquiry response, y son determinados por el BRS DIAC y el clock nativo del dispositivo. En ambas transmisiones de Inquiry, el receptor Bluetooth busca por mensajes de inquiry response. Cuando las encuentra, el paquete de respuesta (que es un FHS) es leído, y luego el dispositivo continua con las transmisiones de inquiry. El timing para RX/TX es ligeramente diferente de los normal, el velocidad de los hop para TX es incrementado en 3200 hops/s, esto permite que el dispositivo transmitirá 2 hop frecuencias cada slot de TX. La fase es determinada por el clock nativo de la unidad que lleva la búsqueda del inquiry, la fase cambia cada 1.28s. Como en el modo page, 2 trenes A & B de 10 ms son definidos, dividiendo

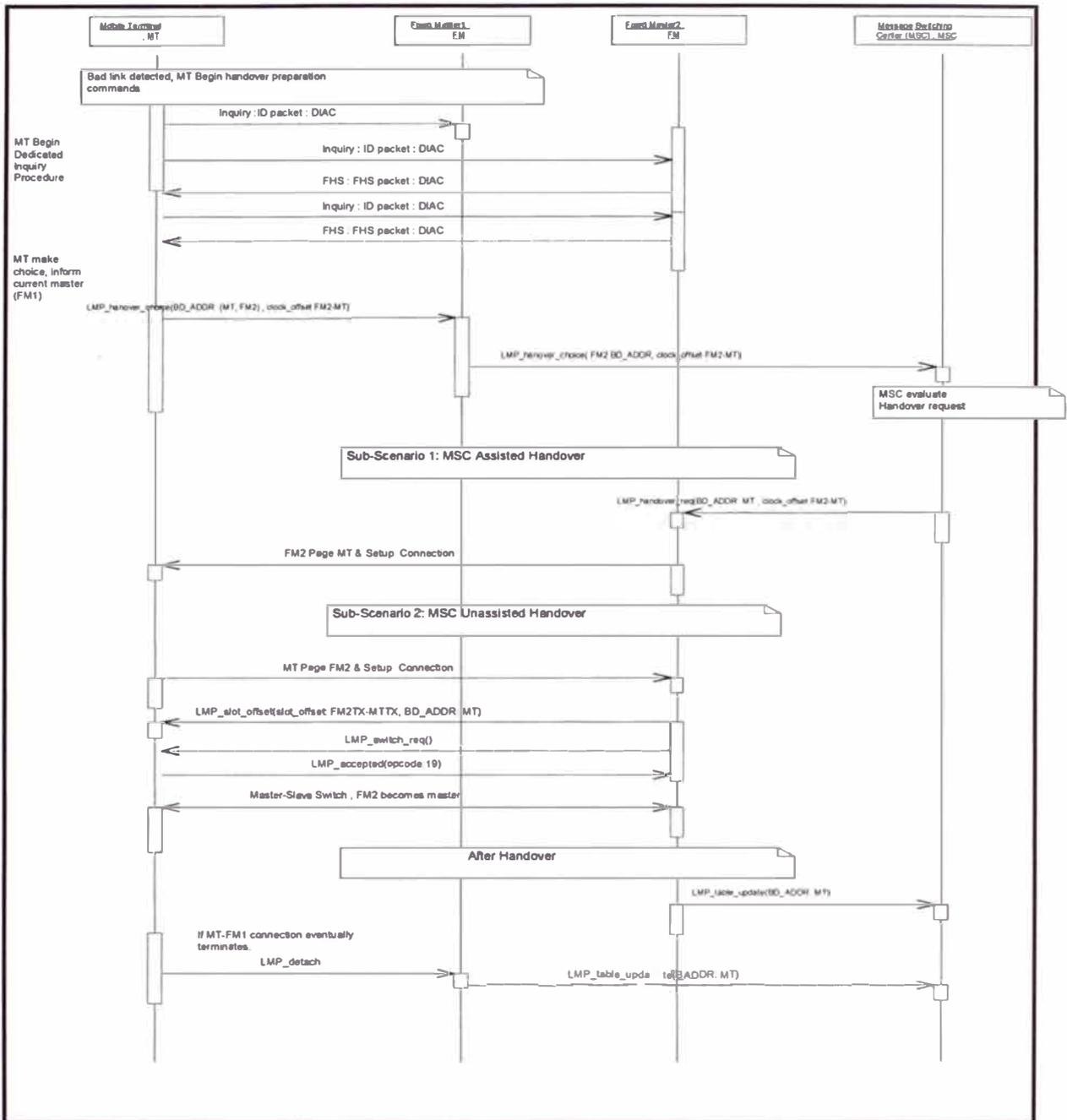


Figura 29 : Secuencia de Mensajes de Handover

las 32 frecuencia de el inquiry hopping sequence en 2 trenes de 16-hop. Un tren debe repetirse al menos 256 veces, antes de que otro tren sea usado.

Initial Page Substate Timing

Como en el modo inquiry, el hop rate de TX es incrementado en 3200 hops/s, lo cual permite al dispositivo transmitir en 2 hop frequencies cada slot de TX. Hay 32 posibles frecuencia de paging dentro de cada intervalo de 1.28s. La mitad de estas frecuencias pertenecen al tren A;

$$\text{A-train} = \{f(k-8), \dots, f(k), \dots, f(k+7)\}, \quad (\text{EQ 2})$$

(donde $f(k)$ es la frecuencia estimada del receptor de la fuente), el resto pertenece al tren B.

$$\text{B-train} = \{f(k+8), \dots, f(k+15), f(k-16), \dots, f(k-9)\}, \quad (\text{EQ 3})$$

En el estado page, la unidad paginada empezará usando el tren A. Debido al incremento en el hopping rate, cada uno de estos trenes pueden ser transmitidos en 16 slots (10 ms). Estos +/- hop frequencies son seleccionados de la función $f(k)$ estimada, en el caso de que el CLKE del dispositivo paginado esté incorrecto.

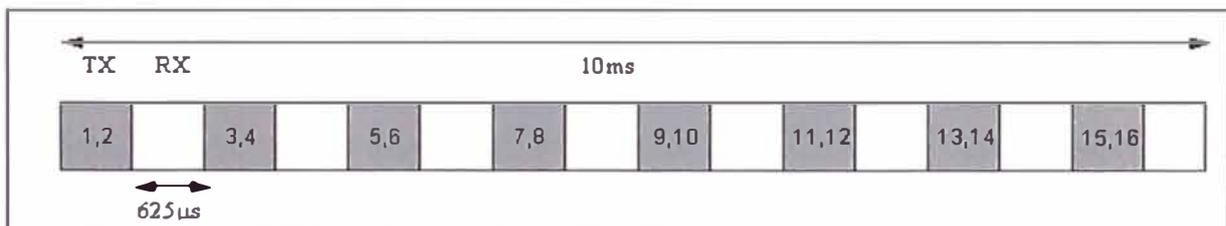


Figura 30 : Formato Page A

Cuando la diferencia entre los clocks del *maestro* y el *salve* están entre $8 \times 1.28\text{s}$ y $+7 \times 1.28\text{s}$, una de las frecuencia usadas por el *maestro* será la hop frequency que el *esclavo* deberá escuchar. Sin embargo, desde que el *maestro* no conoce cuando el *esclavo* entrará al subestado de page scan, el

tiene que repetir este tren A N_{page} veces o hasta que una respuesta es obtenida. Si el modo SR es 0, el otro tren es usado después de cada transmisión. En el modo SR, cada tren es repetido 128 veces, antes del intercambio de trenes.

Cuando la diferencia entre los clocks del *maestro* y el *esclavo* es menos que 8×1.20 o más grande que $+7 \times 128s$, la frecuencia más distante debe ser probada, estos están contenidos en el tren B. La fase en la secuencia es determinada por el $CLKE_{16-12}$ de la unidad paginada, por lo tanto cada $1.28s$ una frecuencia principal diferente es seleccionada.

Timing en Handover Asistido y No Asistido

Puede ser fácilmente mostrado que el MSC puede reducir considerablemente el tiempo que le toma transferir a un MT a un diferente *maestro*.

- ***Inquiry Time***

Un MT asistido sólo podría estar en modo inquiry por $0.64s$, antes de rendirse y contactar a un FM identificado en uno de sus intervalos de inquiry de período $10s$. Un MT no asistido tendría que solicitar a todos los FMs y esperar encima de $10.24s$, antes de que esté seguro de que ha recolectado las respuestas. El tiempo promedio podría estar entre $2.56s$ a $5.12s$, después de intentar con uno o ambos trenes.

- ***Paging Time***

Un MT no asistido podría ir en modo scan R0, y debido a la muy reciente transmisión de su información de CLKN (vía $LMP_handover_req$), podría esperar ser paginado en una transmisión bi-tren ($A+B$ train time= $20ms$). El máximo tiempo sería $1.28s$. Un MT no asistido podría tener en promedio un tiempo de conexión de $1.28s$, con un tiempo máximo de $2.56s$.

- **Otros Factores**

Para un handover asistido por el MSC, el tiempo óptimo (asumiendo que no hay retardos) es 3.125 ms - 6.25 ms. Este tiempo es tomado de un MT-FM routing link. Para un handover no asistido por el MSC, la conmutación *maestro-esclavo* debe llevarse a cabo, esto requiere 7 paquetes, significando un tiempo óptimo de 4.375 ms.

En resumen, el tiempo promedio para un handover asistido es de 0.6 a 0.8 segundos, contra los aproximadamente 5 segundos para un handover no asistido.

4.4 ROUTING

Si un dispositivo Bluetooth dentro del BRS quisiera comunicarse con un MT o FM fuera de su piconet, deberá solicitar al MSC que establezca un conexión con éste dispositivo. Al procedimiento para establecer éste tipo de conexión se le llama *routing* o *enrutamiento*.

4.4.1 TIPOS DE CONEXIONES PARA ROUTING

Existen 4 posibles tipos de conexiones para routing:

1. Cuando un MT quiere comunicarse con otro MT que está fuera de su piconet (MT-MT). Esta es la más larga y más complicada conexión de routing. Este requiere un enlace MT → FM → MSC → FM → MT.
2. Cuando un MT quiere comunicarse con un FM (MT-FM), o un FM quiere comunicarse con un MT (FM-MT). Esta es la segunda más complicada, y requiere un enlace MT → FM → MSC → FM (MT-FM), a FM → MSC → FM → MT (FM-MT).
3. Cuando un FM quiere comunicarse con otro FM (FM-FM). Esta es la forma de enlace más simple y es un enlace inter-piconet, para lo cual se usa una ruta como FM → MSC → FM.

4. Cuando un dispositivo externo, quiere conectarse a un dispositivo dentro de la BRS, usando el MSC como gateway. Este tipo de conexión no está cubierto en éste documento pero está abierto a implementarlo.

4.4.2 ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN DE ROUTING

Cuando un dispositivo Bluetooth ha sido buscado dentro de su piconet por algún mensaje de un dispositivo, y no ha sido encontrado, el tiene la opción de requerir la intervención del MSC. Los diferentes tipos de enlaces requieren diferentes procedimientos.

Pasos del Procedimiento de Establecimiento de Routing

- El dispositivo iniciador (fuente) envía un LMP PDU especializados; LMP_source_link_req, al MSC. Este PDU contiene el BD_ADDR de el dispositivo que envía (la fuente), y el BD_ADDR de el dispositivo receptor eventual (el destino).
- Si se requiere replicación del FM, entonces el FM primero requerirá salir del modo park. Si no está en la capacidad de hacerlo o no puede replicar el PDU en ese momento, el FM enviará de respuesta un LMP_not_accepted a la fuente. El MT entonces seleccionará un diferente FM. Si ninguno está disponible, entonces la operación se detiene, y el procedimiento sólo puede ser reiniciado por el usuario. Si el FM replica satisfactoriamente el PDU entonces el MSC registra de que FM *esclavo* se replica el PDU.
- El MSC procesa éste PDU y realiza algunos chequeos. Si las direcciones BD_ADDR de la fuente o destino no están presentes en su tabla de ruteo, entonces envía de retorno un LMP_not_accepted al dispositivo fuente. Si estos dos dispositivos están presentes en la tabla de ruteo, entonces el MSC intentará completar el enlace en el otro lado.

Link Type	Steps Required for Link Setup					
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6
MT-MT	•	•	•	•	•	•
MT-FM	•	•	•	•		•
FM-MT	•		•	•	•	•
FM-FM	•		•	•		•

<p>MT-MT link: Steps 1,2,3,4,5,6 MT-FM link: Steps 1,2,3,4,6 FM-MT link: Steps 1,3,4,5,6 FM-FM link: Steps 1,3,4,6</p>

Tabla 10 : Pasos requeridos para cada tipo de Routing

- Hasta éste punto, el enlace de la fuente está establecido, pero el MSC no indicará esto enviando LMP_accepted a la fuente. El MSC sólo hará esto una vez que el enlace en el destino esté completamente establecido. Para completar el enlace el MSC enviará el PDU LMP_destination_link_req al dispositivo destino, éste contiene las direcciones BD_ADDR de la fuente y el destino, y es un requerimiento al dispositivo destino de que un dispositivo diferente está solicitando un enlace de routing con él.
- Si el dispositivo destino es un MT, el MSC seleccionará el FM adecuado para replicar el PDU y subsecuentemente enrutar el tráfico usando el siguiente criterio : (asumiendo que un FM existe para el MT)

Si el FM escogido no está disponible, o no desea aceptar el PDU, entonces enviará de respuesta un LMP_not_accepted al MSC. El MSC tendrá que escoger un FM diferente que esté conectado al destino. Si todos no están disponibles, entonces el MSC responderá LMP_not_accepted a la fuente, en respuesta al LMP_source_link_req inicial. El procedimiento sólo puede ser reiniciado por el usuario.

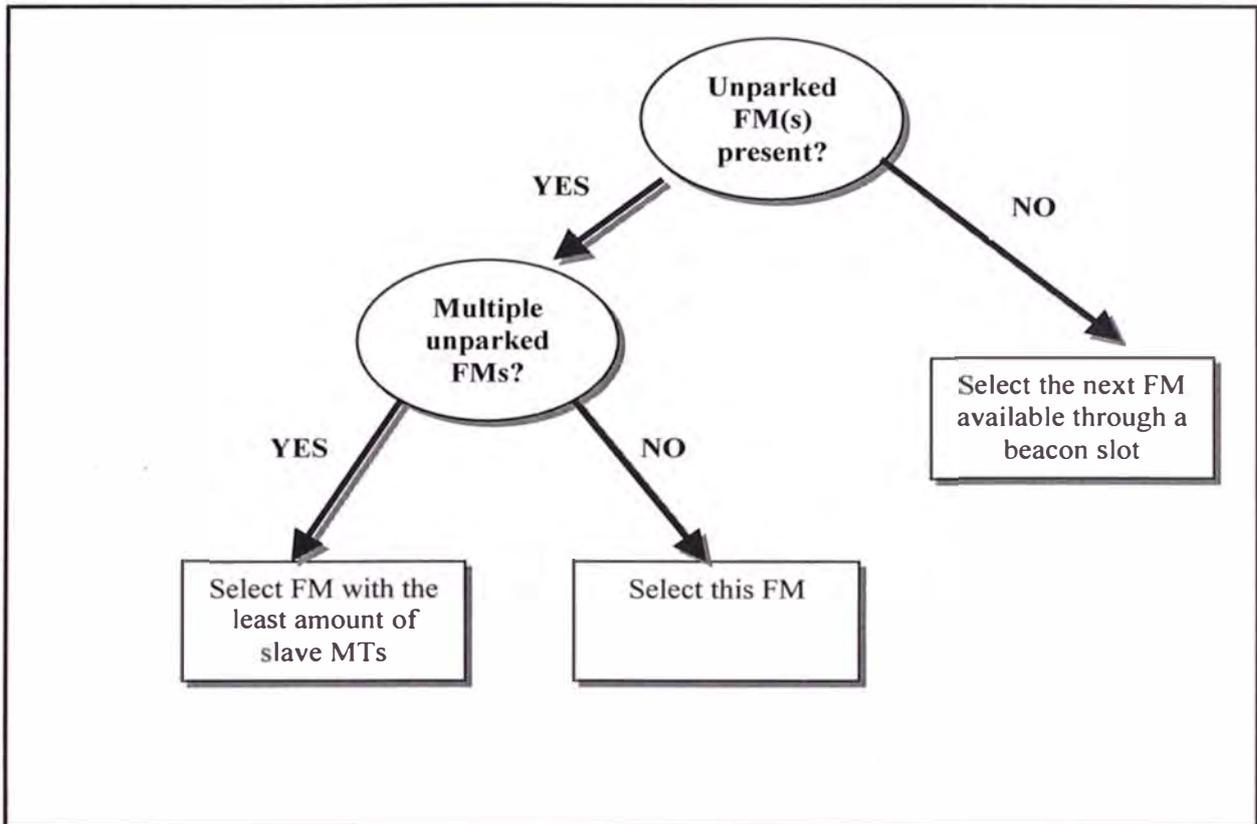


Figura 31 : Determinación de la conexión FM-MT

- Si el dispositivo destino acepta la conexión, responderá LMP_accepted al MSC. Esto es replicado por el MSC a la fuente, y la comunicación puede iniciar.

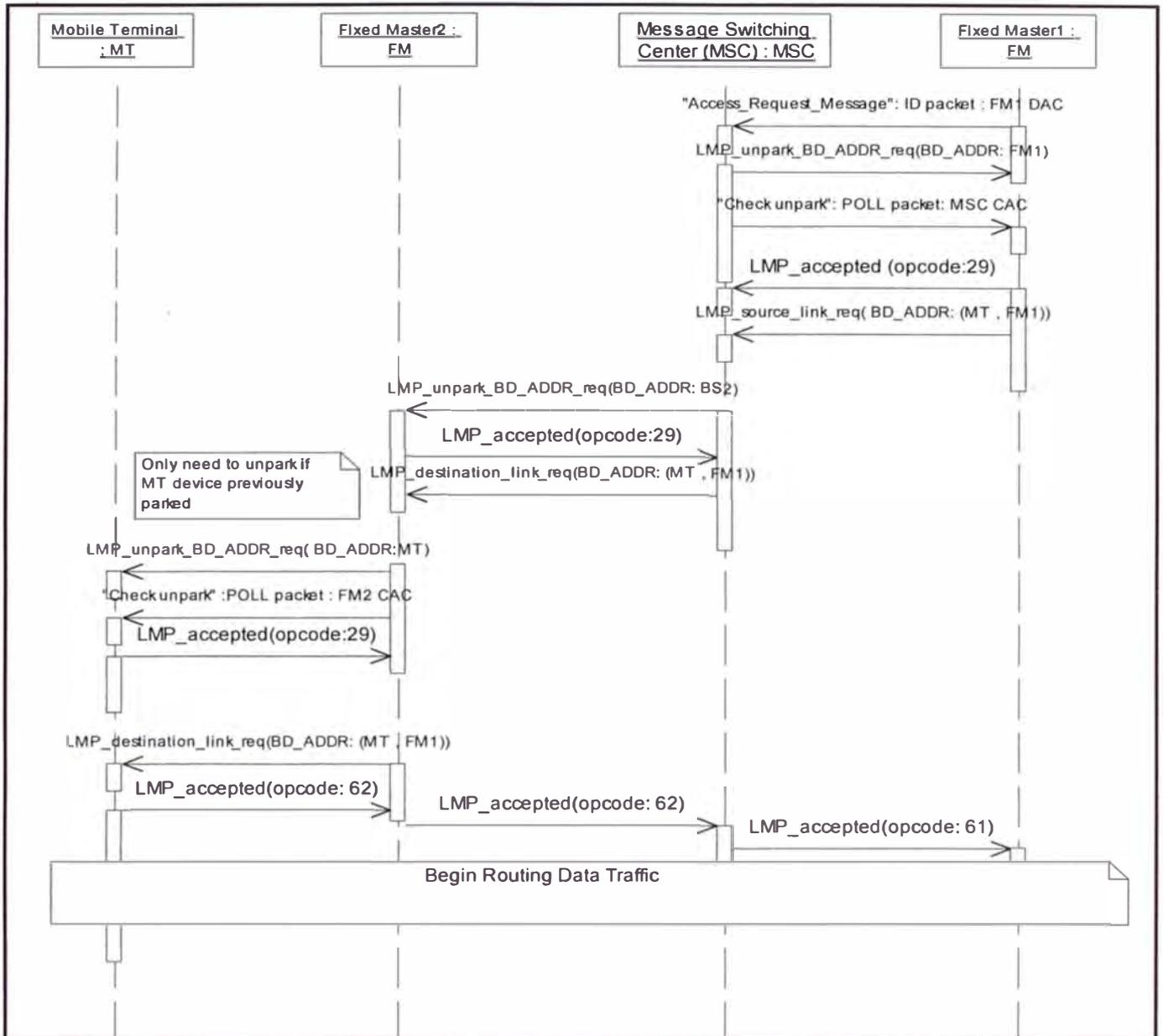


Figura 32 : Diagrama de secuencia de mensajes para establecimiento de la conexión de routing

4.4.3 ERRORES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL ROUTING

Sólo cuando el dispositivo fuente recibe LMP_accepted el enlace puede estar listo. Cualquier error en cualquiera de los puntos, ocasionará LMP_not_accepted como respuesta a todos los puntos del enlace.

Errores de Enlace en la Fuente

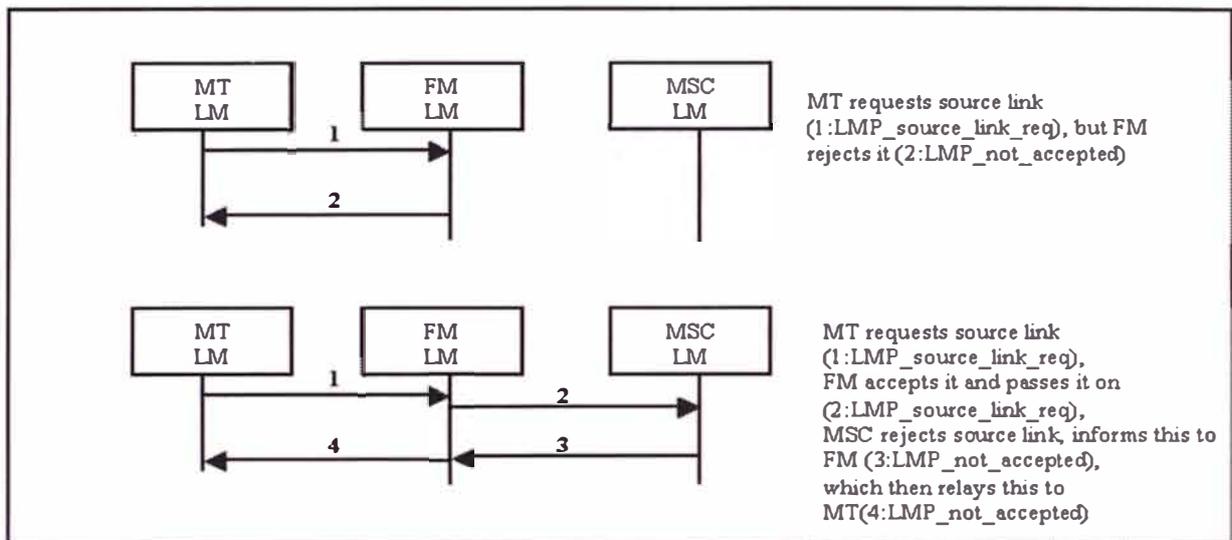


Figura 33 : Mensajes de la fuente al MSC, con respuestas de error

Una vez que la fuente ha agotado todas las formas posibles de contactar al MSC, el procedimiento termina, y es necesario que el usuario reinicie.

Errores de Enlace en el Destino

El diagrama de respuestas de error del MSC → Destino es el mismo que el anterior, con la excepción de que el MSC y el MT se intercambian, y el mensaje de routing que envía es LMP_destination_link_req.

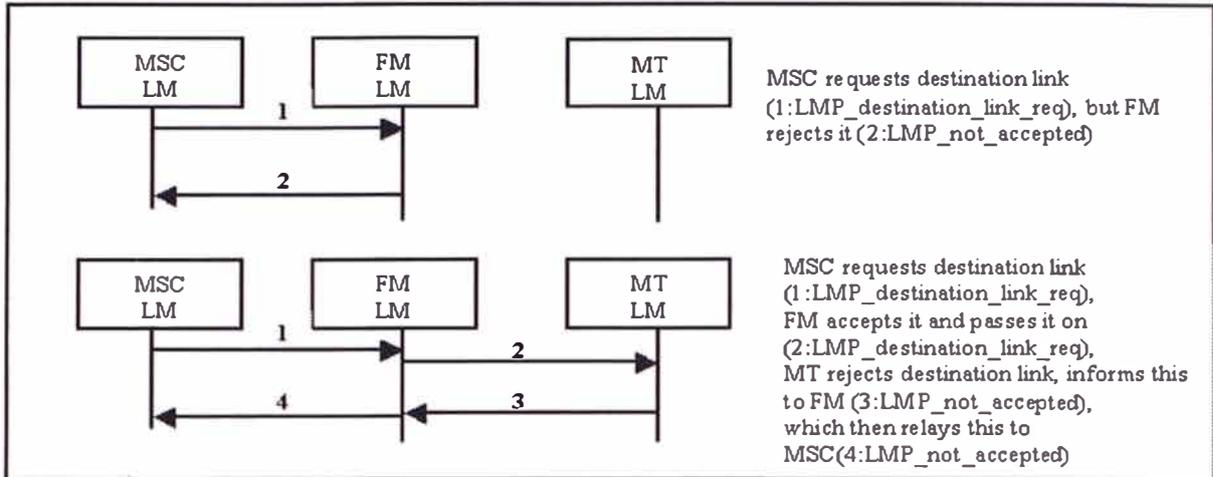


Figura 34 : Mensajes del MSC al destino, con respuestas de error

Una vez que el MSC ha agotado todas las formas posibles de contactar al destino, el MSC envía un LMP_not_accepted a la fuente, y el procedimiento termina, y es necesario que el usuario reinicie.

4.4.4 OPERACIÓN DE ENRUTAMIENTO DE PAQUETES

Cada dispositivo conoce cuando un paquete debe ser ruteado o no, examinando el bit de control FLOW en la cabecera del *payload*. Sólo los paquetes de datos tienen cabecera en el *payload*.

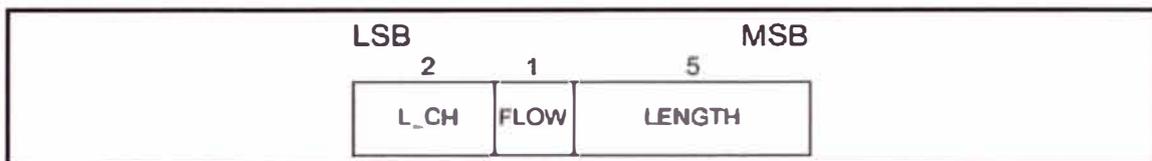


Figura 35 : Formato del Payload header para paquetes single-slot

Actualmente el valor 00 no está definido y está reservado para uso futuro. Este valor significará ahora que el paquete recibido está en un enlace de routing, y por lo tanto debe ser reenviado a la dirección adecuada. Por ejemplo si un FM recibe un paquete de routing de un MT, obviamente debe reenviarlo al MSC, ahora si el FM recibe un paquete normal de un MT lo reenviará a otro MT (si ese es el destino). Este bit es sólo seteado por el dispositivo fuente.

Dos tipos de operaciones de routing pueden ser elaboradas :

- El primero es cuando un paquete es replicado de un dispositivo de una piconet a otro de otra piconet. Esto significa mover un paquete de una secuencia de hopping a otra. Por ejemplo un paquete que viaja de un MT1 al MSC tendrá que cambiar su secuencia de hopping de A a B.

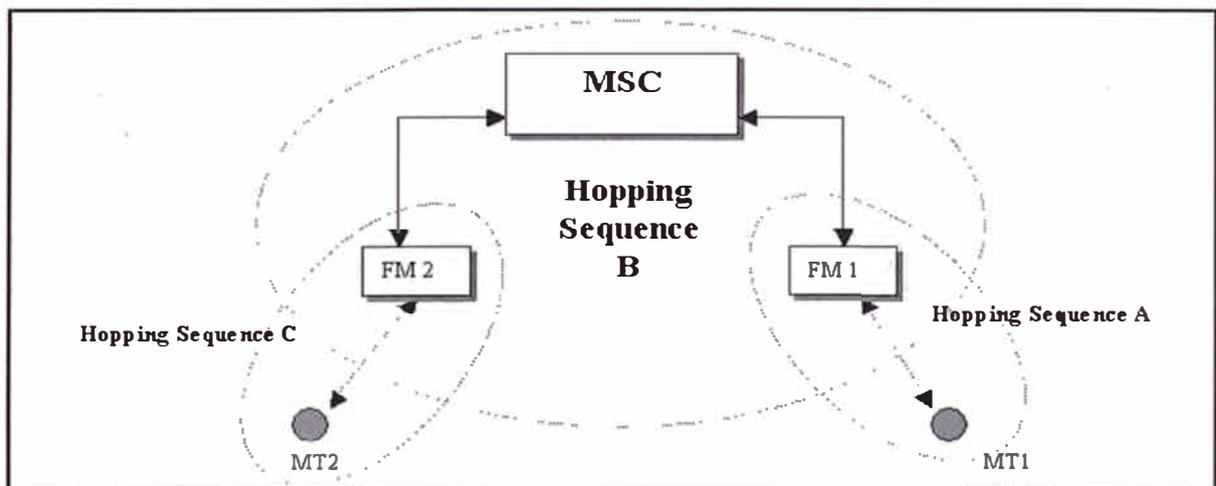


Figura 36 : Diferentes secuencias de hopping en un BRS

- La segunda es cuando un paquete es replicado de un dispositivo a otro en la misma piconet. El paquete permanece en la misma secuencia de hopping. Por ejemplo un paquete que viaja de FM1 a FM2 permanece en la secuencia de hopping B.

Inter-Piconet Routing

Los paquetes que son ruteados de una secuencia de hopping (piconet) a otra deben tener sus *Access Code* cambiados y sus *Packet Header* modificados. Esto ocurre en los enlaces MT-MT, MT-FM y FM-MT.

- El *Access code* es derivado de el Lower Address Part (LAP) del BD address de la piconet *maestro*.

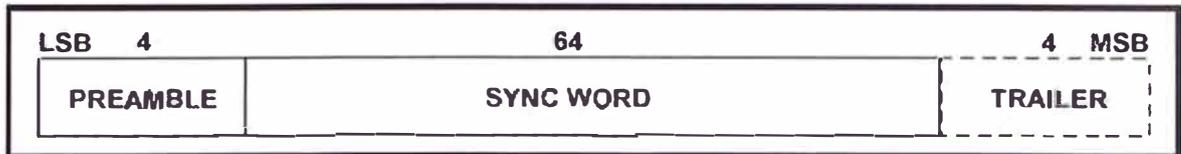


Figura 37 : Formato del Access Code

El BD address es usado para deducir el sync word. Obviamente esto debe ser cambiado, de tal forma que cada piconet tenga una diferente piconet master address. El routing funcionalmente remueve el access code de el paquete y recalcula el sync word.

- El *header* del paquete contiene información de control de enlace, y debe tener 2 de sus campos modificados.



Figura 38 : Formato del Header

El AM_ADDR representa una dirección miembro y es usada para distinguir entre los miembros activos que participan en la piconet. Esto debe ser modificado por ser una dirección temporal dentro de una piconet, y no exclusivo de la piconet. El software del routing remueve el AM_ADDR provisto, encuentra el AM_ADDR del dispositivo destino en el enlace y lo adiciona.

- El otro campo a ser modificado es el campo HEC (header-error-check). Este es generado de el Upper Address Portion (UAP) de el dispositivo *maestro*. El software de routing remueve el campo HEC y calcula su valor, de el BD_ADDR de el dispositivo *maestro* nuevo.

Intra-Piconet Routing

Este es un método de mucho más simple, el *esclavo* envía un paquete al *maestro*, el cual redirecciona a un diferente *esclavo* dentro de la piconet. El

Access code no tiene que ser cambiado, ni el campo HEC dentro del *header* del paquete. El único cambio es el *AM_ADDR* en el *header* del paquete. Este debe ser cambiado por el *AM_ADDR* del dispositivo destino del paquete.

4.4.5 SEÑALIZACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING

Como se mencionó en la sección 4.1 sólo los paquetes DM1, DH1, AUX1, DM3, DH3, DM5 y DH5 son ruteados a través del sistema. Los paquetes ID, NULL, POLL y FHS no son ruteados a través del sistema. Si algunos de estos paquetes son enviados por el destino o la fuente, éstos no son propagados a través del enlace de routing. No se hace acknowledgement para la comunicación pan-BRS. Los únicos paquetes con ACK son los ACK de Baseband hechos entre los dispositivos Bluetooth dentro de la misma piconet. El dispositivo fuente puede empezar la transmisión una vez que reciba el *LMP_accepted* de el MSC. El dispositivo destino no puede enviar ningún paquete a la fuente hasta que el reciba el primer paquete de la fuente en el enlace. Una vez que esto está hecho ambos dispositivos pueden transmitir en sus respectivos slots *esclavo-a-maestro*.

4.4.6 TEMPORIZACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING

El siguiente diagrama muestra los eventos típicos involucrados en la transmisión de un mensaje en un slot desde un MT1 a un MT2, replicado a través de 2 FMs y un MSC. Esto es un enlace MT-MT, el más complejo y más lento. El enlace MT-MT involucra que el paquete vaya a través de 3 secuencias de hopping (piconets). Por razones de ancho de banda, es recomendable pero no mandatorio para ambos dispositivos usar paquetes multi-slot.

El máximo tiempo de replicación, que le toma a un paquete one-slot viajar de recepción RX a transmisión TX entre 2 secuencias de hopping es 2 slots (1250 μ s), y el mínimo es 0 s.

Esto depende de el alineamiento de las dos secuencias de hopping en cuestión. El siguiente diagrama muestra 3 posibilidades diferentes,

1. Las 2 secuencias de hopping están alineadas exactamente, entonces el slot *esclavo-a-maestro* está en la secuencia de hopping B, inmediatamente al slot *esclavo-a-maestro* en la secuencia de hopping A.
2. Las 2 secuencias están siempre opuestamente sincronizadas, FM1 debe esperar antes que el transmite al MSC.
3. Las 2 secuencias están siempre alineadas exactamente, pero el FM1 no puede replicar un paquete una vez que un slot *esclavo-a-maestro* haya empezado, por lo tanto tiene que esperar por el siguiente.

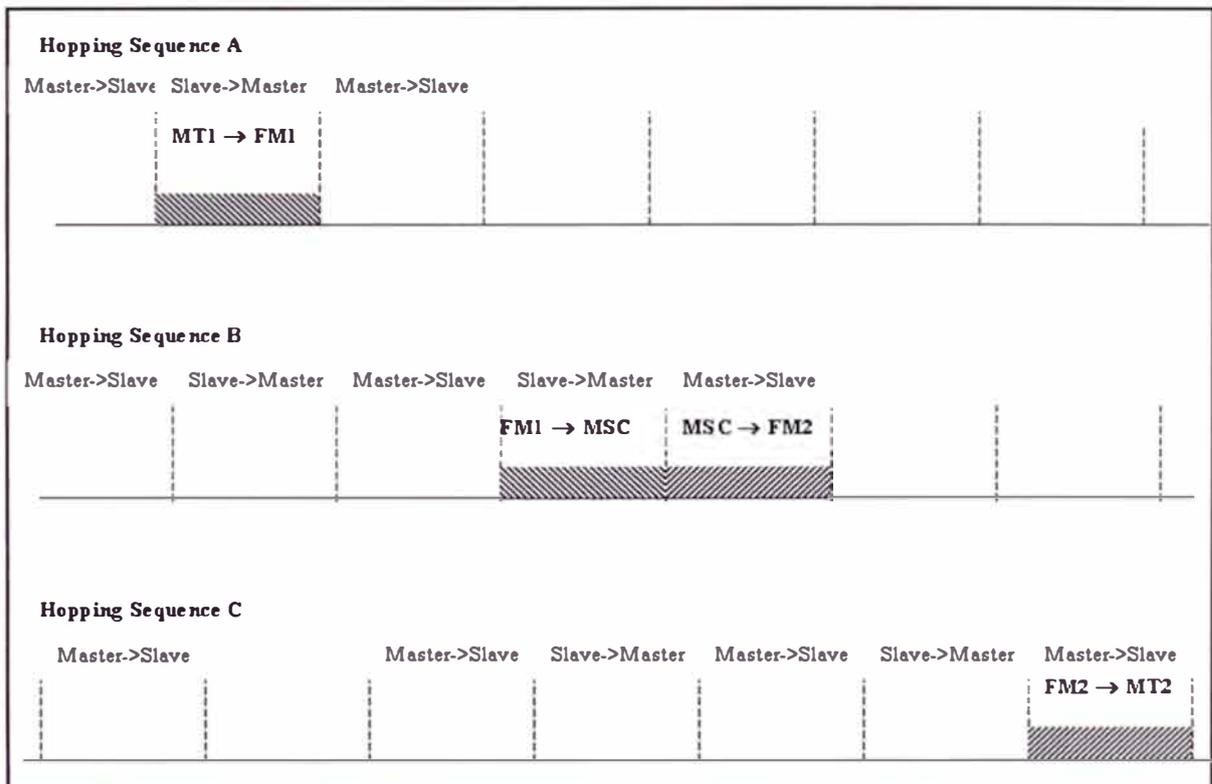


Figura 39 : Temporización de slots para el viaje de un paquete a través de 3 piconets (un enlace MT-MT)

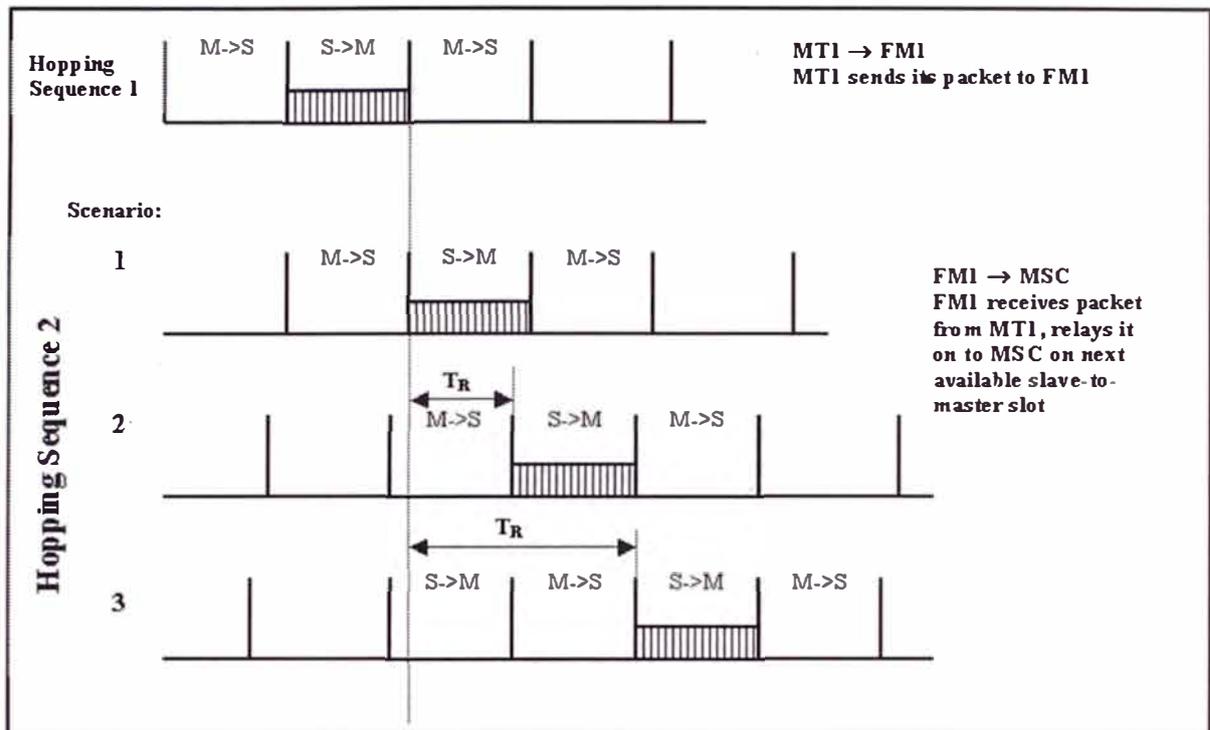


Figura 40 : Los diferentes posibles tipos de retardos de replicación

De esto T_R es: $0 < T_R < 1250 \mu s$. Este procedimiento debe repetirse en el lado del MSC-MT, excepto los paquetes transmitidos en los slots *maestro-esclavo*. En total los detalles de temporización para un solo slot -paquete que se propaga de un lado de el enlace a otro es :

Link Type	Total Propagation Factors	Min. Time (μs)	Max. Time (μs)
MT-MT	$2 T_R + 4$ transmission slots	2500	3750
MT-FM	$1 T_R + 3$ transmission slots	1875	3125
FM-MT	$1 T_R + 3$ transmission slots	1875	3125
FM-FM	$0 T_R + 2$ transmission slots	1250	1250

Tabla 11 : Tiempos de propagación mínimos y máximos de un paquete para los diferentes tipos de enlace

4.4.7 TERMINACIÓN DE LA CONEXIÓN DE ROUTING

En cualquier momento de la conexión de enrutamiento (*routing*) un dispositivo dentro del enlace, por ejemplo la fuente, replicador o destino, pueden terminar el enlace. Este es un comando sin ACK para ambos lados del enlace y se filtra a través de todo el enlace. Un parámetro en el mensaje indica la razón para informar a las otras partes de por que la conexión se cerró. Cualquier dispositivo que reciba el comando LMP_end_link finalizará la transmisión del paquete. La dirección de la fuente y destino está incluido en el PDU para indicar a cada dispositivo en el enlace que la conexión terminó, en el caso de una conexión de routing múltiple del mismo dispositivo.

El enlace puede ser terminado por varias razones :

1. Por el usuario.
2. Falla en la conexión Baseband/LMP.
3. Terminado por el MSC u otro dispositivo replicador, si estos no proveen los servicios apropiados.
4. Terminación de uso del enlace, la fuente o destino a enviado o recibido la información requerida.

4.4.8 CONEXIONES ENTRE EL BRS Y ENTIDADES EXTERNAS

A pesar de no estar cubierto en éste documento ésta modalidad, mencionaremos los casos para los cuales el BRS está preparado, usando el MSC como gateway. En este caso el dispositivo destino/fuente podría ser un Bluetooth, o un No Bluetooth localizados fuera de la BRS. Existen varias posibilidades :

- Un **Inter-BRS Routing System**, donde cada MSC, está unido por un conector tipo Ethernet, que podría rutear paquetes de uno hacia otro. El sistema podría ser un connectionless, con cada MSC, reenviando y

examinando los mensajes para ver si el BD_ADDR provisto (de el UAP) en el *Access code*, coincide con alguno de su tabla de ruteo. Si éste fuera el caso, absorbería el paquete y lo rutearía al dispositivo en cuestión dentro de su piconet.

- Un **LAN/WAN system**, donde los dispositivos Bluetooth podrían usar el MSC para convertir sus paquetes en formato TCP/IP, y ponerlo en las redes existentes que usan TCP/IP para encaminar el mensaje al dispositivo final. El MSC en la recepción podría recoger los mensajes del formato TCP/IP y rutearlos a sus destinos.
- Un **Bluetooth-Non Bluetooth Relay System**, en este caso un dispositivo No Bluetooth podría asignarse un BD_ADDR temporal lo cual permite que se le replique paquetes vía el MSC desde un dispositivo Bluetooth. El MSC podría convertir el paquete a un formato de sus propio protocolo.

CONCLUSIONES

La tecnología inalámbrica es cada vez más importantes en nuestra vida diaria, lo vemos en la explosión de los teléfonos móviles en la sociedad. La atracción principal de estos dispositivos es la facilidad de poder portarlos en cualquier lugar, sin necesidad de estar conectados a través de un cable.

Bluetooth busca ser una respuesta a ésta necesidad constante de eliminar los cables en entornos más pequeños, sin embargo algunas de las limitaciones existentes actualmente en las especificaciones de Bluetooth pueden ser resueltas y potenciadas, tal como lo demuestra el presente trabajo, donde se especifica los alcances necesarios para proveer los servicios de Bluetooth de forma más flexible sin las restricciones de espacio.

Algunas de las características que permiten estas nuevas funcionalidades en Bluetooth y que son expuestas en éste trabajo son

- Uso de DIACs para que los MTs puedan detectar nuevos *maestros* en el área del BRS
- MT inteligente, permite un handover mucho más eficiente y mejorado, sobre el proceso normal de transferencia de dispositivos de una red a otra.
- Las conexiones fijas entre los FMs permiten un alto nivel de tráfico de enrutamiento.

Estas características son un pequeño ejemplo de lo que el BRS adiciona sobre la funcionalidad actual del Bluetooth. El BRS, es un sistema escalable y suficientemente flexible para manejar nuevos requerimientos, con mínimos cambios en la arquitectura de Bluetooth. Una de las características a la que está abierta, es la posibilidad de usarlo como una vía hacia otras redes

externas, como un Inter-BRS, LAN/WAN o un Bluetooth-No Bluetooth gateway.

Obviamente hay otras maneras de implementar un BRS, y éste trabajo intenta ser una alternativa para hacer que una buena tecnología como es el Bluetooth pueda ser mejor.

ANEXOS

ANEXO A : REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES

REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES

Aprobado por D.S. N° 06-94-TCC y modificado por D.S. 005-98-MTC,
022-98-MTC, 002-99-MTC y 003-99-MTC, 029-2002-MTC.

SECCION SEGUNDA

DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

TITULO I

DE LA CLASIFICACION GENERAL

Artículo 25°.- Están exceptuados de la clasificación de servicios de la Ley, del presente Reglamento y de los Reglamentos específicos que se dicten, las telecomunicaciones instaladas dentro de un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y no tienen conexión con redes exteriores.

También están exceptuados de la clasificación, aquellos servicios cuyos equipos, utilizando el espectro radioeléctrico, no transmiten con una potencia superior a **10 milivatios (mW)** en antena (potencia efectiva irradiada), dichos servicios en ningún caso podrán operar en las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios públicos de telecomunicaciones.

ANEXO B : ACRÓNIMOS

ACL Asynchronous Connection-Less
AM ADDR Active Member Address
BD Bluetooth Device
BD ADDR Bluetooth Device Address
BRS Bluetooth Routing System/Scheme
BSC Base Switching Center
BSS Base Station Subsystem
BTS Base Transceiver Station
CAC Channel Access Code
C-FM Current Fixed Master
CLK Master Clock
CLKE Estimated Clock
CLKN Native Clock
DAC Device Access Code
DCID Destination Channel Identifier
DIAC Dedicated Inquiry Access Code
FM Fixed Master
FYP Final Year Project
GHz GigaHertz
GIAC Generic Inquiry Access Code
GSM Global System for Mobile communications
GUI Graphical User Interface
HCI Host Controller Interface
HEC Head Error Check
HLR Home Location Register
IAC Inquiry Access Code
ISM Industrial Scientific Medicine
L2CAP Logical Link Control and Adaptation Protocol

LAN Local Area Network
LAP Lower Address Portion
LC Link Controller
LM Link Manager
LMP Link Manager Protocol
MAN Metropolitan Area Network
MFC Microsoft Foundation Classes
MSC Message Switching Center
MT Mobile Terminal
N-FM New Fixed Master
PDU Protocol Data Unit
PM ADDR Parked Member Address
PSTN Public Switched Telecommunications Network
RSSI Receiver Signal Strength Indicator
SBT Super Bluetooth Device
SCID Source Channel Identifier
SCO Synchronous Connection-Oriented
SR Scan Repetition
TCP/IP Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
TDD Time Division-Duplex
UAP Upper Address Portion
VLR Visitor Location Register
WAN Wide Area Network

BIBLIOGRAFÍA

1. HALSALL F. ; Data Communications, Computer Networks and Open Systems ; Addison-Wesley , Essex , 1996
2. BLACK U. ; Mobile and Wireless Networks ; Prentice Hall , New Jersey ,1996
3. GHAI R. , SINGH S. ; An Architecture and Communication Protocol for Picocellular Networks ; IEEE Personal Communications ;Vol. 1(3), 1994 ; p36-46

BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP ;

4. Bluetooth Radio Specification, Version 1.0B , SIG, 1999
5. Bluetooth Baseband Specification ,Version 1.0B , SIG, 1999
6. Bluetooth Link Manager Protocol Specification ,Version 1.0B , SIG, 1999
7. Bluetooth Logical Link Control and Adaptation Protocol Specification, Version 1.0B , SIG, 1999
8. Bluetooth Host Controller Interface Functional Specification ,Version 1.0B , SIG, 1999
9. Bluetooth Specification :Appendix VI, Baseband Timers, SIG 1999
10. Bluetooth Specification :Appendix VII, Optional Paging Schemes, SIG 1999
11. Bluetooth Specification :Appendix VIII, Bluetooth Assigned Numbers, SIG 1999
12. Bluetooth Specification :Appendix IX, Message Sequence Charts , SIG 1999
13. Bluetooth Profiles, LAN Access Profile , SIG 1999
14. DR. HAARTSEN J. Hardware Architecture Overview , SIG, Tokyo Conference, 1999

15.MÜLLER T. ; Link Manager Protocol , SIG, London Developers
Conference, 1999