



MEMORIA

de proyecto de fin de carrera de ingeniero superior de telecomunicaciones

presentado por

Rafael Alcántara Rivas

Estudio de la probabilidad de funcionamiento de una red Hiperlan/2 en presencia de diferentes tipos de interferentes

Publicado el 10 de abril de 2000

Índice

Índice.....	1
Índice de figuras	4
Índice de acrónimos.....	6
Agradecimientos.....	8
Introducción.....	10

CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BÚSQUEDA DE CANAL LIBRE .15

I.1 Definición	15
I.2 Panorama de los métodos de asignación de frecuencias.....	15
I.2.1 Métodos estáticos.....	15
I.2.1.1 Protocolo de Selección de Frecuencia por Planificación.....	15
I.2.1.2 Protocolo de Selección de Frecuencia por Expansión	16
I.2.1.2.1 Bluetooth.....	16
I.2.1.2.2 HomeRF.....	17
I.2.1.2.3 IEEE 802.11b.....	17
I.2.2 Métodos dinámicos:	18
I.2.2.1 Protocolo Descentralizado de Selección de Frecuencia.....	18
I.2.2.2 Protocolo Centralizado de Selección de Frecuencia.....	19
I.2.3 Síntesis	19
I.3 HIPERLAN/2	20
I.3.1 Nivel físico	20
I.3.2 Bandas de frecuencia.....	21
I.3.3 Reglamentación.....	22
I.3.4 Organización de la red	23
I.3.5 Eventos de BCL	25
I.3.5.1 BCL a la iniciativa del PA	25
I.3.5.1.1 Puesta en funcionamiento del Punto de Acceso	25
I.3.5.1.2 Algoritmo de DFS.....	27
I.3.5.1.3 Handover iniciado por PA (Handover Forzado).....	31
I.3.5.2 BCL a la iniciativa del TM	33
I.3.5.2.1 Puesta en funcionamiento del TM	33
I.3.5.2.2 Funcionamiento nominal del TM	34
I.3.5.2.3 Handover iniciado por el TM.....	35
I.3.5.2.3.1 Network Handover.....	35
I.3.5.2.3.2 Radio Handover	35
I.3.5.2.3.3 Sector Handover (Opcional)	38
I.3.6 Medidas realizadas por un TM.....	38
I.3.7 Sensibilidad del receptor	42

I.3.8	Limites de interferencia.....	42
I.4	DECT	44
I.4.1	Nivel físico	44
I.4.2	Bandas de frecuencia.....	44
I.4.3	Reglamentación.....	45
I.4.4	Organización de la red	46
I.4.5	Eventos de BCL	47
I.4.5.1	BCL a la iniciativa de la PFR	47
I.4.5.1.1	Puesta en funcionamiento de la PFR	47
I.4.5.2	BCL a la iniciativa de la PP	49
I.4.5.2.1	Puesta en funcionamiento de la PP	49
I.4.5.2.2	Funcionamiento nominal de la PP	51
I.4.6	Medidas realizadas por la PP	52
I.4.7	Limites de interferencia.....	55
I.5	Referencias	56

CAPÍTULO II: ESTUDIO DE LAS FÓRMULAS DE PÉRDIDAS EN 5GHZ.....58

II.1	Descripción.....	58
II.2	Notación	58
II.3	Fórmulas de propagación	58
II.3.1	Pérdidas asociadas a la vegetación.....	58
II.3.2	Fórmula con índice "n" fijo	59
II.3.3	Fórmula con índice "n" variable.....	60
II.3.4	Pérdidas asociadas al paso de un piso a otro	60
II.3.5	Fórmula del peor caso	61
II.3.6	Pérdidas asociadas a la altura del emisor y el receptor	61
II.3.7	Fórmula 'in/out'	61
II.3.8	Fórmula 'SpotiC2'.....	62
II.4	Referencias	65

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE HIPERLAN/2 EN PRESENCIA DE ELEMENTOS INTERFERENTES.....66

III.1	Introducción	66
III.2	Escenarios	66
III.2.1	Ruido.....	68
III.2.2	Ruido + Radar	70
III.2.3	Ruido + Hiperlan/2.....	73
III.2.4	Ruido + Hiperlan/2 + Radar.....	77
III.2.5	Ruido + Robot.....	78
III.2.6	Ruido + Robot + Radar	83
III.2.7	Ruido + Hiperlan/2 + Robot.....	84
III.2.8	Ruido + Hiperlan/2 + Robot + Radar.....	87
III.3	Referencias	89

Conclusiones	90
--------------------	----

ANEXO I: CÓDIGOS DE LAS SIMULACIONES MATLAB.....97

1 Código de la función "cálculo de probabilidad"	97
2 Código de la función "disttopertes"	102
3 Código de la función "disttopertes2"	102
4 Código de la función "Spotic2"	104

ANEXO II: SOBRE LAS FÓRMULAS DE PROPAGACIÓN UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO DE COMPARTICIÓN DE CANALES SPOTI (M. MICHEL TERRE)105

1 Notaciones.....	105
2 En todas las bandas de frecuencia.....	105
3 En la banda [1'3 GHz – 2'7 GHz].....	106
4 En la banda [4'4 GHz - 5 GHz]	106
5 Ilustración de las fórmulas de propagación.....	107
6 Anexo I: El modelo de propagación SpotiC	109
7 Anexo II: Difusión troposférica	114

Índice de figuras

Fig.1.	Modos físicos de Hiperlan/2, [1] pg.7.....	20
Fig.2.	Valores de OFDM utilizados en Hiperlan/2, [2] pg.19.	20
Fig.3.	Tabla de frecuencias Hiperlan/2, [2] pg. 28.	21
Fig.4.	Restricciones para la potencia transmitida. [2] pg. 29.	22
Fig.5.	Trama MAC, [4] pg. 113.	24
Fig.6.	Puesta en funcionamiento del PA [5], pg. 2.	26
Fig.7.	Algoritmo de DFS, [6] pg. 3 et 4.	29
Fig.8.	Valores de RSS1, [2] pg. 36.	30
Fig.9.	Handover iniciado por el PA, [7] pg. 73.	32
Fig.10.	Puesta en funcionamiento del TM. Sin referencias.	34
Fig.11.	Radio y Network Handover, [7] pg. 61-68.....	37
Fig.12.	Sector Handover, [7] pg. 60.	38
Fig.13.	Medidas realizadas a la iniciativa del TM, [7] pg. 77-87 y [8] pg. 3.	40
Fig.14.	Valores de RSS0 y SLN0 correspondientes, [7] pg. 34-35.	42
Fig.15.	Niveles de sensibilidad del receptor, [7] pg. 36.	42
Fig.16.	Nivel máximo de potencia de entrada permitido sin bloqueo, [7] pg. 37.....	42
Fig.17.	Tolerancia a las interferencias sobre los canales adyacentes y no adyacentes, [7] pg. 37.	43
Fig.18.	Niveles admitidos en otras bandas de frecuencia para la potencia interferente, [7] pg. 38.	43
Fig.19.	Bandas de frecuencia en la implementación de DECT entre 1.880 y 1.940 MHz, [10] pg. 51.....	45
Fig.20.	Límites de potencia transmitida, [10] pg. 22.....	45
Fig.21.	Trama DECT, [10] pg. 11.	46
Fig.22.	Formato del medio intervalo o "half slot", [10] pg. 12.	46
Fig.23.	Formato del intervalo doble o "double slot", [10] pg. 12.	47
Fig.24.	Puesta en funcionamiento de la PFR, [11] pg. 21.	48
Fig.25.	Puesta en funcionamiento de una PP, [11] pg. 20.	50
Fig.26.	Funcionamiento nominal de la PP, [11] pg. 20 y [12] pg. 1303.....	51
Fig.27.	Tabla de correspondencias entre tipo de portadora y canal relevante, [11] pg. 189.....	52
Fig.28.	Modelo de clasificación de canales, [11] pg. 190.	53
Fig.29.	Potencia máxima soportada en el receptor para un nivel de -73 dBm en M, [10] pg. 26.	55
Fig.30.	Niveles admitidos en otras bandas de frecuencia para la potencia de interferencias, [10] pg. 27.	55
Fig.31.	Parámetros para la fórmula de pérdidas en diferentes situaciones, [3] pg. 614 (3).	60
Fig.32.	Probabilidad de funcionamiento de Hiperlan/2 vs. probabilidad de falsa alarma.	69
Fig.33.	Probabilidad de falsa alarma vs. umbral de detección.	69
Fig.34.	Señal de test radar [2].....	71
Fig.35.	Probabilidad de detección de la señal radar en función del umbral.	72

Fig.36.	Límites de distancia mínima con 'in/out' para Hiperlan/2 sin ser considerado como un radar.....	74
Fig.37.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para un Hiperlan/2 que no quiere ser considerado como un radar. ...	74
Fig.38.	Límites de distancia con 'in/out' para un Hiperlan/2 teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.	76
Fig.39.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para Hiperlan/2 teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.	76
Fig.40.	Límites de distancia con 'in/out' para un robot que no quiere ser considerado como un radar.....	79
Fig.41.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot que no quiere ser considerado como un radar.	79
Fig.42.	Límites de distancia con 'in/out' para un robot teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.	81
Fig.43.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.	82
Fig.44.	Límites de distancia con 'in/out' para un robot cuando hay un Hiperlan/2.....	84
Fig.45.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot cuando hay un Hiperlan/2.	85
Fig.46.	Límites de distancia con 'in/out' para un Hiperlan/2 con un robot.	86
Fig.47.	Límites de distancia con 'SpotiC2' para un Hiperlan/2 con un robot.	86
Fig.48.	Tabla resumen de los escenarios	91
Fig.49.	Tabla de características de los radares en la banda de 5GHz,[1] Pg. 2.	93
Fig.50.	Características de antenas de búsqueda de rayoen sistemas radar en la banda de 5 GHZ,[1] Pg.2.....	93
Fig.51.	Características de distribución de población y de clientes del servicio WAS,[2] Pg.8.	95
Fig.52.	Determinación del número de puntos de acceso WAS en cocanal,[2] Pg.8.....	95
Fig.53.	Propagación en la banda 1'3-2'7 GHz.	107
Fig.54.	Propagación en la banda 4'4-5 GHz	107
Fig.55.	Propagación troposférica.....	108

Índice de acrónimos

ACH: Access feedback Channel (Canal de realimentación de demandas de Acceso)

BCH: Broadcast Channel (Canal de Difusión)

BCL: Búsqueda de Canal Libre

BER: Bit Error Rate (Tasa de Error Binaria)

BPSK: Binary Phase Shift Keying (Modulación Binaria por Cambio de Fase)

CDMA: Code Division Multiplex Access (Acceso Múltiple por División por Código)

CIR: Carrier to Interference Ratio (Relación entre Portadora e Interferencia)

CNAM: Conservatoire National d'Arts et Métiers (Conservatorio Nacional de Artes y Oficios)

CPA: Controlador del Punto de Acceso

CSMA/CA: Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance (Acceso al Medio por Escucha de la Portadora con Supresión de Colisiones)

DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone (Teléfono Digital Mejorado sin Hilos)

DFS: Dynamic Frequency Selection (Selección Dinámica de Frecuencia)

DIFS: [Distribution Coordination Function] Inter Frame Spacing (Espaciamiento de la Función de Coordinación de la Distribución Entre Tramas)

DiL: Direct Link (Enlace Directo)

DL: Down Link (Enlace Descendente)

DS-CDMA: Direct Sequence Code Division Multiplex Access (Acceso Múltiple por División por Código en Secuencia Directa)

ENST: Ecole Nationale Supérieure de Télécommunications (Escuela Nacional Superior de Telecomunicaciones)

ETSI: European Technical Standardization Institute (Instituto Técnico Europeo para la Estandarización)

GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying (Modulación Gaussiana por Cambio de Frecuencia)

GPRS: General Packet Radio Services (Servicios Radio para Paquetes en General)

GSM: Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineering (Instituto de Ingeniería Eléctrica o Electrónica)

ISEP: Instituto Superior de Electrónica de París

LCH PDU: Long Channel PDU (PDU de Canal Larga)

MAC: Medium Access Control (Control de Acceso al Medio)

NTP: Normalized Transmitted Power (Potencia Normalizada Transmitida)

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexión por División en Frecuencias Ortogonales)

PA: Punto de Acceso

PDU: Protocol Data Unit (Unidad de Datos del Protocolo)

PF: Parte Fija

PFR: Parte Fija de Radio

PP: Parte Portátil

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación por Amplitud en Cuadratura)

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación en Cuadratura por Cambio de Fase)

RBCH: RLC Broadcast Channel (Canal de Difusión de RLC)

RCH: Random access CHannel (Canal de acceso Aleatorio)

RF: Radio Frecuencia

RFP: Radio Fixed Part (Parte Fija de Radio)

RLC: Radio Link Control (Control del Radio Enlace)

RSS: Received Signal Strength (Potencia de la Señal Recibida)

SCH PDU: Short Channel PDU (PDU de Canal Corta)

SLN: Signal Level Number (Número de Nivel de Señal)

TDMA: Time Division Multiplex Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

TM: Terminal Móvil

TPA: Transmisor del Punto de Acceso

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

UL: Up Link (Enlace Montante)

VTC: Vehicular Technology Conference (Conferencia sobre Tecnologías Vehiculares)

WLAN: Wireless Local Area Net (Red Inalámbrica de Área Local)

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a M. Yves SERIZIER, jefe de relaciones internacionales y con las empresas del ISEP, por la ayuda prestada a lo largo de todo el curso pasado en dicho establecimiento y más particularmente durante mi búsqueda de prácticas. Le debo mi gratitud por las numerosas correcciones del dossier de candidatura que ha realizado, al mismo tiempo que por los contactos y consejos que me ha proporcionado.

A continuación, un caluroso agradecimiento también para M. Nizar HICHERI, colega en el laboratorio, hacia el que me he dirigido cuando los resultados esperados no llegaban. Me ha ayudado a definir bien los parámetros de las simulaciones en función de los resultados buscados y optimizar el tiempo de simulación.

No puedo olvidar tampoco, a M. Michel TERRE, profesor en el ISEP y el CNAM, que me ha guiado siempre bien en la realización de este estudio. Le agradezco vivamente por el tiempo que me ha dedicado, por enseñarme como se puede mejorar la redacción de un documento y a realizar diagramas de flujo, y las directivas recibidas cuando las investigaciones llegaban a un callejón sin salida.

Mis más sinceros agradecimientos también para Monsieur el Catedrático Bernard FINO, que ha hecho siempre las precisiones sobre los resultados obtenidos en las reuniones mantenidas en el seno de la cátedra, y que ha participado en la corrección y versión definitiva de la memoria.

También me gustaría mostrar mi agradecimiento a M. Roland LEPETON, a la base de mis investigaciones, y siempre disponible para una indicación, que me ha guiado en la redacción de mi memoria con el ejemplo de su propia memoria de ingeniero.

El personal de la biblioteca del ENST, que me ha prestado siempre la ayuda que necesitaba con una gran amabilidad, debe también recibir mi profundo agradecimiento.

Y después de dar gracias a las personas que me han ayudado a llevar a buen puerto este estudio durante su realización en París, me gustaría también dar un sincero agradecimiento al hombre que ha hecho que este proyecto vea la luz hoy aquí, D. Javier Reina Tosina. Con sus sabias correcciones y sus consejos sobre el estilo del texto ha contribuido a que este documento llegará a sus manos de la forma más adecuada posible .

Y finalmente, todas las personas que me han dado soporte moral durante la realización de este estudio, el personal y mis colegas en el laboratorio del CNAM, mi familia y mis amigos, les expreso todo mi agradecimiento.

Introducción

Estudiante español en el ISEP en razón de un intercambio SOCRATES/ERASMUS entre la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla y dicho centro, he cursado la opción Telecomunicaciones y Multimedia propuesta en el tercer año de ciclo ingeniero. Esta formación incluye además de las clases del primer semestre, la realización de unas prácticas en empresa o laboratorio durante el segundo semestre.

A lo largo de las clases teórico-prácticas del primer semestre conocí a M. TERRE, responsable de la opción que cursaba, que me propuso trabajar en el laboratorio de la Cátedra de Radiocomunicaciones del CNAM (Conservatorio Nacional de Artes y Oficios), donde era profesor titular. El tema de las prácticas era: "Probabilidad de funcionamiento de una red Hiperlan/2 en presencia de diferentes tipos de interferentes". Estas prácticas se han desarrollado entre los meses de Febrero y Junio del 2002.

Nada más llegar al laboratorio, adquirí primeramente algunos conocimientos sobre el funcionamiento y las aplicaciones en general de la tecnología Hiperlan/2. Para esta primera operación, la memoria realizada por M. Lepeton para su diploma de ingeniero ha sido un punto de referencia, ya que contenía numerosas referencias bibliográficas. Las búsquedas realizadas en la página de la ETSI y el estudio de las diferentes normas que conciernen a esta tecnología también han formado parte de los métodos de trabajo.

Quince días después, tuve necesidad de artículos especializados en el tema de la búsqueda de canal libre, y puesto que el acceso a la base de datos del IEEE no estaba disponible en toda su extensión desde el laboratorio, me dirigí a la Biblioteca de la ENST (Escuela Nacional Superior de Telecomunicaciones) de París, centro en el que encontré las informaciones que necesitaba.

A partir de ese momento y puesto que habíamos previsto en el tema de las prácticas la realización de un estudio sobre los mecanismos de búsqueda de canal libre en la banda de 2-2,5

GHz, he comenzado la búsqueda de información en las normas DECT y en documentos sobre las tecnologías Bluetooth, HomeRF y IEEE 802.11b.

Con los resultados obtenidos en este estudio se elaboró una primera memoria para la sociedad Cogisys, a la que se le presentó en una reunión que tuvo lugar en el CNAM el 19 de Marzo de 2002. En esta presentación se llegó a la conclusión de que se debía trabajar primero en la banda de 2,5 GHz y se fijó un punto de evaluación a mediados de abril.

En una segunda presentación a otro de los trabajadores de Cogisys en sus oficinas de París, se le entregó una versión prácticamente definitiva del documento que se ha incluido aquí como capítulo I. Las correcciones y explicaciones pertinentes se hicieron en la semana siguiente.

La primera cuestión ya estaba casi zanjada, por lo que comenzó una segunda parte de las prácticas en la que se realizaron diversas simulaciones en entorno Matlab. Estas simulaciones consistían en la elaboración de escenarios que contenían uno o varios elementos interferentes. Con los resultados obtenidos a partir de las simulaciones se elaboró el documento que constituye el cuerpo de esta memoria. La problemática principal encontrada a lo largo de esta segunda parte ha sido la definición del método de medida a utilizar para la señal recibida, y la manera de calcular la probabilidad de detección de un radar

Las prácticas se han terminado con la elaboración de una memoria global, en la que el primer documento realizado sobre los mecanismos de búsqueda de canal libre ha sido integrado, y de una presentación para la defensa oral. Esta última parte ha sido muy enriquecedora ya que me ha permitido aprender y practicar diversos métodos de redacción y formato, al mismo tiempo que un perfeccionamiento y una adquisición de conocimientos en la utilización de programas de oficina como Word, Excel y PowerPoint.

Me gustaría añadir que los meses dedicados a la realización de este proyecto en París me han permitido mejorar mis conocimientos tanto de la lengua como de la cultura francesa, y marcar el camino para mi integración en la vida profesional como ingeniero en Francia.

Una vez expresadas las condiciones en las que se realizó el proyecto, pasamos a comentar los principales temas relacionados con el sujeto de este estudio.

En los tiempos que corren, el hombre ha dejado en cierta medida de necesitar la posibilidad de comunicarse de forma remota desde puntos fijos para desarrollar un nuevo tipo de necesidad de comunicación, en la que tanto el origen como el destino pueden moverse dentro de un espacio reducido e incluso con prácticamente total libertad.

Aparecen por tanto una serie de nuevas tecnologías de comunicaciones sin hilos, que se pueden clasificar en función de la capacidad del enlace en cuanto a movilidad y en cuanto a tasa de bits. Tenemos las WLANs, Hiperlan, GSM, GPRS, UMTS, etc.

Para los servicios que requieren poca tasa binaria como es el caso de servicios de voz se han desarrollado diversas tecnologías en función de la movilidad requerida. Para sistemas que requieren poca movilidad como son los teléfonos utilizados en el interior de oficinas o domicilios particulares, en los que la distancia es de unas decenas de metros a lo sumo, se utiliza la tecnología DECT, que permite establecer comunicaciones mediante un radioenlace con un punto de acceso a la red fijo situado a escasos metros. Para otro tipo de servicios en los que prima la movilidad aparecen otras tecnologías como son GSM.

Para tasas binarias más elevadas, normalmente aplicaciones de transmisión de datos, se distinguen también varias tecnologías en función del rango de aplicación. Con la norma IEEE 802.11b se pueden alcanzar tasas moderadas (entorno a los 11 Mb/s) en un ámbito local. Si se requieren flujos de datos aún más elevados, pero siempre dentro de un ámbito local (unos cientos de metros a lo sumo), se puede utilizar otra tecnología denominada Hiperlan/2. Para comunicaciones de datos con equipos móviles en redes que permiten una mayor movilidad se pueden utilizar otra serie de tecnologías en vías de desarrollo e incluso alguna ya en funcionamiento como GPRS, EDGE, CDMA2000 o UMTS. La tasa binaria alcanzada mediante estas tecnologías ($\sim 2\text{Mb/s}$) es muy inferior a la pretendida con Hiperlan/2 ($\sim 54\text{Mb/s}$).

Vemos por tanto la importancia de utilizar este tipo de tecnologías ya que revisten una serie de ventajas como son la libertad de movimiento y el ahorro en obra civil para la introducción del cableado. Sin embargo, también plantean una serie de inconvenientes como son la libre circulación de los datos por el espacio radioeléctrico, lo que permite a cualquier persona con el equipo adecuado captar dichas informaciones e introducir otras nuevas a su conveniencia, lo que origina por tanto un problema de seguridad. Además el equipo con el que transmitimos puede producir interferencias en otros equipos de radiocomunicación del mismo u otro tipo provocando errores en su recepción y el receptor ser interferido a su vez por equipos de su entorno, apareciendo por tanto errores en las informaciones recibidas.

Viendo por tanto la aparición de estos problemas hemos decidido hacer un estudio acerca de los inconvenientes que la utilización de otros sistemas de radiotransmisión en la misma banda podrían tener para el buen funcionamiento de una red de equipos que utilizan esta tecnología. Teniendo en cuenta que la tecnología más ventajosa en estos momentos para las comunicaciones móviles de datos en el ámbito local, debido a su alta tasa binaria es Hiperlan/2, nos centraremos en el estudio final en dicha tecnología.

Los problemas de seguridad quedarán fuera de nuestro estudio ya que nos centraremos en la parte radio de cada una de las tecnologías. Dichos problemas corresponden más a los protocolos utilizados por los distintos sistemas para la identificación de los equipos y usuarios.

Nos planteamos los siguientes objetivos para la realización de este estudio:

1. Elaborar un estudio sobre las características de funcionamiento de los sistemas con tecnologías que le permiten evitar los canales en los que existen interferencias.
2. Elaborar un modelo de las pérdidas de potencia de la señal debido a la propagación entre el transmisor y el receptor.
3. Realizar un estudio para diversos casos de las implicaciones para el sistema Hiperlan/2 de la existencia de otros equipos de radiocomunicación en el entorno.

El documento siguiente, en el que se recoge la memoria del estudio realizado se divide en tres capítulos que se detallan a continuación.

En el capítulo I, se desarrolla un estudio de los diferentes métodos de asignación de frecuencias para los sistemas de radiocomunicaciones. También se explican los mecanismos utilizados para la búsqueda de canal libre (BCL) en aquellos sistemas que la realizan:

- IEEE 802.11(a o b)
- DECT
- Hiperlan/2

En el capítulo II, se presenta un estudio sobre las diferentes fórmulas de propagación y términos de pérdidas en la banda de 5 GHz. Este estudio ha sido realizado en función de lo que encontramos en los documentos y artículos sobre este tema y de una fórmula innovadora desarrollada por M. TERRE, llamada 'SpotiC2'. 'SpotiC2' es el resultado de la suma de las pérdidas correspondientes a los múltiples efectos posibles: absorción por un obstáculo, difracción en el suelo, etc.

En el capítulo III, se simulan diversos escenarios. Un escenario, para nosotros, es la conjunción de uno o varios equipos de radio en la misma frecuencia y zona espacial. Las simulaciones se realizan en el entorno Matlab mediante la elaboración de un modelo de cada escenario o caso. Los resultados han sido obtenidos teniendo en cuenta lo desarrollado en los capítulos precedentes.

Capítulo I: Evaluación de los Sistemas de Búsqueda de Canal Libre

I.1 Definición

Hablaremos de "Búsqueda de Canal Libre" cuando un equipo de radio, terminal o punto de acceso a la red fija, efectúe una medida de potencia en una banda de frecuencias con el fin de determinar si dicha banda puede ser utilizada para establecer una comunicación o se encuentra ocupada por otra transmisión. En el caso en el que la banda no esté ocupada, diremos que está libre. Con esta definición de mecanismo de "Búsqueda de Canal Libre" hay un proceso de medida que debe ser efectuado obligatoriamente. Este documento va por tanto a estar compuesto de dos partes. La primera va a analizar cuáles son los sistemas de comunicaciones civiles que ponen en juego este tipo de búsqueda. La segunda parte analizará cuáles son las probabilidades de detección, de no detección y de falsa alarma de estos mecanismos de medida.

I.2 Panorama de los métodos de asignación de frecuencias

I.2.1 Métodos estáticos

I.2.1.1 Protocolo de Selección de Frecuencia por Planificación

Principio : Las estaciones base o puntos de acceso no toman decisiones acerca de las frecuencias a utilizar. Las frecuencias son atribuidas por el operador de la banda de frecuencia mediante una herramienta de planificación de frecuencias.

Sistemas concernidos:

- GSM 900 MHz y 1.800 MHz

El operador asigna una frecuencia a cada estación base entre aquellas disponibles.

- UMTS : 2 GHz

Este sistema utiliza la tecnología CDMA. La banda de frecuencia es compartida entre varias estaciones base.

La frecuencia es atribuida por las autoridades competentes.

Estos sistemas no están por tanto concernidos por la BCL.

I.2.1.2 Protocolo de Selección de Frecuencia por Expansión

Principio : Toda la banda de frecuencia es utilizada por cada usuario. La calidad del servicio se mantiene mediante la expansión del espectro, es decir, el salto de frecuencia ("frequency hopping") o el DS-CDMA.

Sistemas concernidos: Bluetooth banda 2'400-2'4835 GHz
 HomeRF banda 2'400-2'4835 GHz
 IEEE 802.11b banda 2'400-2'4835 GHz

I.2.1.2.1 Bluetooth

La frecuencia de la portadora varia en la banda de [2'4-2'4835 GHz] con una tasa nominal de salto inferior o igual a 1600 saltos/s, es decir un salto por paquete con una duración de cada paquete de entre 625 μ s y 5x625 μ s.

En este método tampoco hay búsqueda de canal libre, hay una secuencia de salto ("hopping") para cada usuario que le es atribuida por el maestro (master).

La secuencia de variación de la frecuencia está determinada por el maestro (master) en función de su dirección Bluetooth y la fase en función de su reloj interno. Si hay un elemento

interferente en una cierta frecuencia no se perderá toda la información sino solamente el paquete correspondiente a dicha frecuencia. Si tenemos un juego de frecuencias y los instantes de tiempo correspondientes que no se superponen con los de otro juego, diremos que se trata de juegos de frecuencias ortogonales.

I.2.1.2.2 HomeRF

La frecuencia de la portadora varía entre 50 y 100 veces por segundo en la banda de [2'4-2'4835 GHz]. Las ventajas que ofrece HomeRF con respecto a Bluetooth son:

1. La posibilidad de detectar las interferencias constantes en una parte de la banda y modificar la secuencia de salto de frecuencia para no encontrar dos intervalos consecutivos en la banda interferida.
2. HomeRF implementa también la posibilidad, cuando se trabaja con conexión de voz, de subdividir la trama en dos subtramas de 10 ms. De esta manera, se puede tener la retransmisión del paquete interferido con solamente 10 ms de retraso.

Aquí, no hay realmente búsqueda de canal libre puesto que cada usuario recibe una secuencia de salto ("hopping") particular. La implementación de un sistema para evitar las interferencias no es obligatoria.

I.2.1.2.3 IEEE 802.11b

Es un estándar que utiliza la banda [2'4-2'4835 GHz] con una tasa de 11 Mb/s y una modulación por expansión del espectro con secuencia directa (direct sequence spread spectrum), una técnica de modulación digital de la señal con una ganancia de expansión de 11. Cada bit de información se transmite como una secuencia pseudo aleatoria de chips.

Tenemos varios canales en el sistema IEEE 802.11b pero se deben elegir solamente algunos con una distancia entre ellos de 22 MHz mínimo. Según la situación geográfica, los canales elegidos serán diferentes. En Europa se toman a 2.412, 2.442 y 2.472 MHz.

La BCL aquí consiste en elegir uno de los canales de frecuencia disponibles según una medida de potencia realizada por el PA. Después para el acceso a los recursos por parte de los terminales se implementa un mecanismo llamado CSMA/CA (Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance) que consiste en escuchar el canal durante un periodo de tiempo llamado DIFS ([Distribution Coordination Function] Inter Frame Spacing). Si en el canal en el que estamos escuchando no hay nadie transmitiendo, el terminal puede transmitir. Si no, deberá esperar el tiempo DIFS más un número aleatorio de intervalos temporales. Cada emisor escuchará y el primero que acabe de contar los intervalos atribuidos en la fase anterior, emitirá. Si otro terminal detecta una transmisión durante el período de descuento, parará su contador y esperará. En cuanto que la transmisión se haya terminado, el terminal continuará con el descuento.

El umbral de detección utilizado por un terminal que efectúa una búsqueda de canal libre es función de la potencia emitida por los terminales. Los valores correspondientes para los diferentes casos son los siguientes:

- Potencia emitida > 100 mW : – 80 dBm
- Potencia emitida > 50 mW : – 76 dBm
- Potencia emitida ≤ 50 mW : – 70 dBm

I.2.2 Métodos dinámicos:

I.2.2.1 Protocolo Descentralizado de Selección de Frecuencia

Cada terminal móvil elige su frecuencia de funcionamiento cuando comienza una conexión con un terminal fijo. La frecuencia elegida debe estar entre las propuestas por el terminal fijo.

Sistema concernido: DECT banda 1'880-1'900 GHz

Detalle DECT: Los terminales fijos pueden trabajar en varias bandas de frecuencia y es el terminal móvil el que elige el canal en el que quiere establecer la conexión con el terminal fijo. Un canal está compuesto de una cierta frecuencia y un intervalo de tiempo en el que se emite en cada trama. Hay también una dimensión geográfica que permite reutilizar los canales. La

distancia mínima entre dos terminales que utilizan la misma frecuencia en el mismo intervalo temporal se establece en función de las pérdidas necesarias para que uno no escuche al otro.

Los sistemas de este tipo son sistemas con búsqueda de canal libre propiamente dicho.

I.2.2.2 Protocolo Centralizado de Selección de Frecuencia

Cada estación de base o punto de acceso elige la frecuencia que utilizará.

Sistema concernido: Hiperlan/2 banda 5'150-5'350 GHz y 5'470-5'725 GHz.

Detalle Hiperlan/2: El punto de acceso elige un canal mediante la realización de medidas en las frecuencias disponibles y tomando aquellas que interfieren menos con el entorno. Después envía un mensaje de difusión en una vía de señalización, la señal "beacon" o baliza. Los terminales móviles realizan medidas sobre esta señal y eligen cada uno el punto de acceso con la potencia la más fuerte.

Los sistemas que utilizan este protocolo de asignación de frecuencias, el protocolo centralizado, no interfieren con los otros sistemas que se encuentran en la misma banda. En otras palabras, no ocupan los canales ocupados por otros equipos.

En este tipo de sistemas también aparece un mecanismo de búsqueda de canal libre.

I.2.3 Síntesis

Teniendo en cuenta la definición que hemos dado de búsqueda de canal libre en este estudio, hay esencialmente dos sistemas civiles que tenemos que considerar. Se trata de DECT en la banda 1.880-1.900 MHz y de Hiperlan/2 en la banda 5'150-5'350 GHz y 5'470-5'725 GHz. IEEE 802.11b del que hemos hablado previamente en el punto I.2.1.2.3, no será desarrollado posteriormente puesto que su BCL no es una búsqueda de frecuencias sino de intervalo temporal.

1.3 HIPERLAN/2

1.3.1 Nivel físico

Hiperlan/2 es una tecnología radio para las redes locales de elevado ancho de banda en la banda de 5 GHz. El nivel físico se basa en un acercamiento OFDM con codificación de canal de tasa variable, gracias a diversos modos de extracción de bits. Las características de estos diversos modos se muestran en las tablas que presentamos a continuación.

Modo	Modulación	Tasa de codificación	Tasa binaria	Octetos / símbolo OFDM
1	BPSK	$\frac{1}{2}$	6 Mbps	3
2	BPSK	$\frac{3}{4}$	9 Mbps	4'5
3	QPSK	$\frac{1}{2}$	12 Mbps	6
4	QPSK	$\frac{3}{4}$	18 Mbps	9
5	16QAM	9/16	27 Mbps	13'5
6	16QAM	$\frac{3}{4}$	36 Mbps	18
7	64QAM	$\frac{3}{4}$	54 Mbps	27

Fig.1. Modos físicos de Hiperlan/2, [1] pg.7.

Parámetros	Valores	
Frecuencia de muestreo $f_s = 1/T$	20 MHz	
Parte útil del símbolo T_U	64xT 3'2 μ s	
Duración del prefijo cíclico T_{CP}	16xT 0'8 μ s (obligatorio)	8xT 0'4 μ s (opcional)
Intervalo entre símbolos T_S	80xT 4'0 μ s ($T_U + T_{CP}$)	72xT 3'6 μ s ($T_U + T_{CP}$)
Número de sub-portadoras de datos N_{SD}	48	
Número de sub-portadoras de control N_{SP}	4	
Número total de sub-portadoras N_{ST}	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)	
Espacio entre sub-portadoras Δf	0'3125 MHz ($1/T_U$)	
Espacio entre las dos sub-portadoras exteriores	16'25 MHz ($N_{ST} \times \Delta f$)	

Fig.2. Valores de OFDM utilizados en Hiperlan/2, [2] pg.19.

El nivel físico de Hiperlan/2 utiliza un ancho de banda de 20 MHz. En Europa hay 19 canales de 20 MHz reservados (Fig.3).

Los canales de 20 MHz están ocupados por una señal OFDM, resultado de una FFT con 64 portadoras. Estas 64 portadoras se dividen en:

- 48 portadoras útiles que son las que transmiten los datos
- 4 portadoras de control que permiten sincronizar el receptor y estimar el canal
- 12 portadoras que no se modulan y se sitúan en las dos extremidades del canal de 20 MHz asegurando con su presencia un intervalo de guardia entre los diferentes canales de frecuencia

Se inserta además un prefijo cíclico para jugar el papel de intervalo de guardia temporal. Dura 800 ns ó 400 ns en el caso de transmisiones en entorno de interior (indoor) de pequeñas dimensiones, en el que la expansión de la respuesta al impulso del canal es inferior a 400 ns.

I.3.2 Bandas de frecuencia

$N_{\text{portadora}}$	Banda	F_c [MHz]	PIRE media [dBm]
36	baja	5180	23
40	baja	5200	23
44	baja	5220	23
48	baja	5240	23
52	baja	5260	23
56	baja	5280	23
60	baja	5300	23
64	baja	5320	23
100	alta	5500	30
104	alta	5520	30
108	alta	5540	30
112	alta	5560	30
116	alta	5580	30
120	alta	5600	30
124	alta	5620	30
128	alta	5640	30
132	alta	5660	30
136	alta	5680	30
140	alta	5700	30

Fig.3. Tabla de frecuencias Hiperlan/2, [2] pg. 28.

I.3.3 Reglamentación

En la banda 5.180-5.320 MHz, de los canales números 36 a 64, la potencia máxima autorizada es igual a 200 mW

En la banda 5.500-5.700 MHz, de los canales números 100 a 140, la potencia máxima autorizada es igual a 1 W

La potencia transmitida no debe superar las restricciones siguientes alrededor de la frecuencia central. Las medidas se deben hacer con 1 MHz de resolución en una banda de 30 MHz.

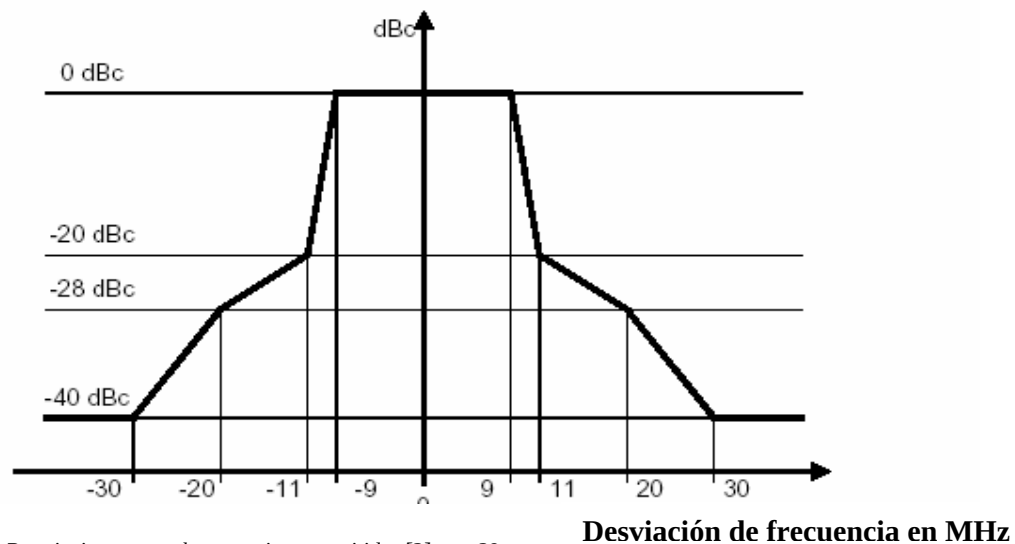


Fig.4. Restricciones para la potencia transmitida. [2] pg. 29.

En Europa los canales previstos para Hiperlan/2 son libres, es decir, no están sujetos a tasas ni a atribución por parte de un organismo regulador. La única cuestión que debe resolverse es cumplir con las siguientes restricciones:

1. La restricción de potencia, es decir, los 200 mW en la primera banda y 1W en la segunda.
2. La obligación de efectuar un control de potencia de transmisión capaz de asegurar un factor de mitigación de al menos 3 dB (ERC/DEC/(99)23). Se deberá ser capaz de reducir la potencia emitida mediante pasos de 3 dB en la vía descendente o 4 dB en la vía montante. Hay más información sobre este tema en [6].

1.3.4 Organización de la red

En una red Hiperlan/2 se pueden encontrar hasta 1024 puntos de acceso a la red fija (PA: Punto de Acceso). Cada punto de acceso puede gestionar hasta 255 terminales móviles (TM: Terminal Móvil).

En la práctica se ha pensado más bien en trabajar con redes con una decena de puntos de acceso y 30 terminales en cada punto de acceso.

En la tecnología Hiperlan/2, se define una trama temporal (trama MAC). La duración de esta trama es de 2 ms. La trama se divide en intervalos temporales (time slots) de 400 ns.

La trama MAC se divide en tres partes:

- una parte de señalización que va a transportar tres tipos de informaciones:
 1. BCH : Broadcast Channel que contiene las « beacons » (balizas) enviadas a todos los TMs
 2. FCH : Frame Channel que contiene las informaciones relativas a los intervalos temporales dedicados a cada TM
 3. ACH : Access feedback Channel que da las informaciones sobre los ensayos de acceso aleatorios efectuados durante la trama precedente
- una parte descendente (DL: Down Link) que transporta canales lógicos de dos tipos:
 1. SCH PDU: Short Channel de 9 octetos con datos del PA para el TM
 2. LCH PDU: Long Channel de 54 octetos con datos del PA para el TM
- una parte opcional (DiL: Direct Link) que sirve para conectar dos TMs entre sí de forma directa a través del PA

- una parte montante (UL: Up Link) con tres tipos de informaciones:
 1. LCH PDU: Long Channel de 54 octetos con datos del TM para el PA
 2. SCH PDU: Short Channel de 9 octetos con datos del TM para el PA
- otra parte de señalización que incluye solamente el siguiente canal:
 1. RCH : Random access Channel que permite a los terminales entrantes acceder a la red

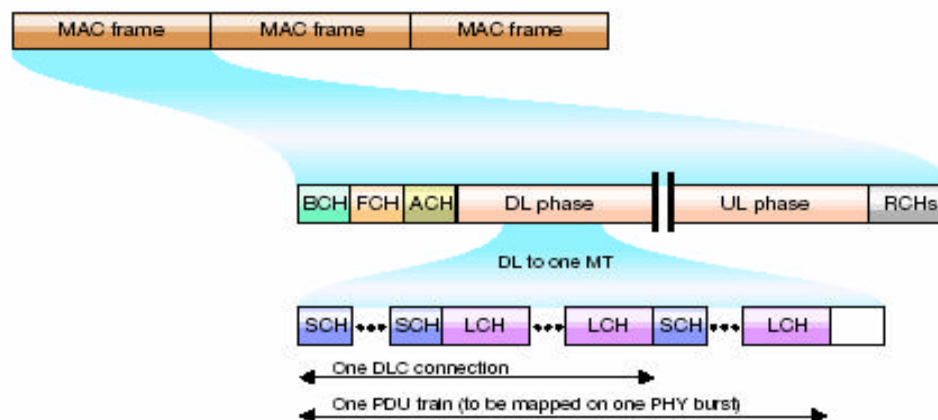


Fig.5. Trama MAC, [4] pg. 113.

Después de la transmisión de datos, se encuentra el canal RCH (Random access Channel) de acceso aleatorio. En este canal, los TMs demandan recursos para transmitir sus datos en las siguientes tramas MAC. Para la atribución de recursos a los diferentes terminales, se implementa un mecanismo de colisión. Este mecanismo tiene por objeto obtener intervalos temporales en la parte UL para los datos del TM correspondiente. El procedimiento es el siguiente.

El acceso al RCH por parte de un TM es controlado por una ventana de contención CW_a propia de cada TM. Esta ventana se define como:

Primer intento:

$$a = 0; \quad CW_0 = n;$$

Retransmisiones:

$$a \geq 1; \quad CW_a = \begin{cases} 256, & 2^a \geq 256 \\ 2^a, & n < 2^a \leq 256 \\ n, & n \geq 2^a \end{cases}$$

Se introduce para cada TM el número de retransmisiones denotado a . El número de intervalos temporales ya atribuidos en la trama MAC actual se denota n . Para la retransmisión a -ésima el intervalo temporal que el TM probará será elegido mediante la extracción aleatoria de un entero r_a uniformemente distribuido en el intervalo $[1, CW_a]$.

I.3.5 Eventos de BCL

La BCL considerada aquí:

- se extiende a todos los casos en los que hay medida de potencia en un canal de frecuencia
- se para antes de la sincronización temporal. Si la BCL funciona, el canal encontrará un punto de sincronismo [9].

Se identifican 6 casos de BCL en el funcionamiento de una red Hiperlan/2: 3 a la iniciativa del Punto de Acceso y 3 a la iniciativa del Terminal Móvil.

I.3.5.1 BCL a la iniciativa del PA

I.3.5.1.1 Puesta en funcionamiento del Punto de Acceso

El PA pasa del estado Apagado al estado Encendido.

La frecuencia de aparición de este evento dependerá de la utilización del sistema. Este procedimiento está descrito en una contribución a la ETSI, BRAN27d113 [5], que no está todavía aceptada para incluirla en el estándar.

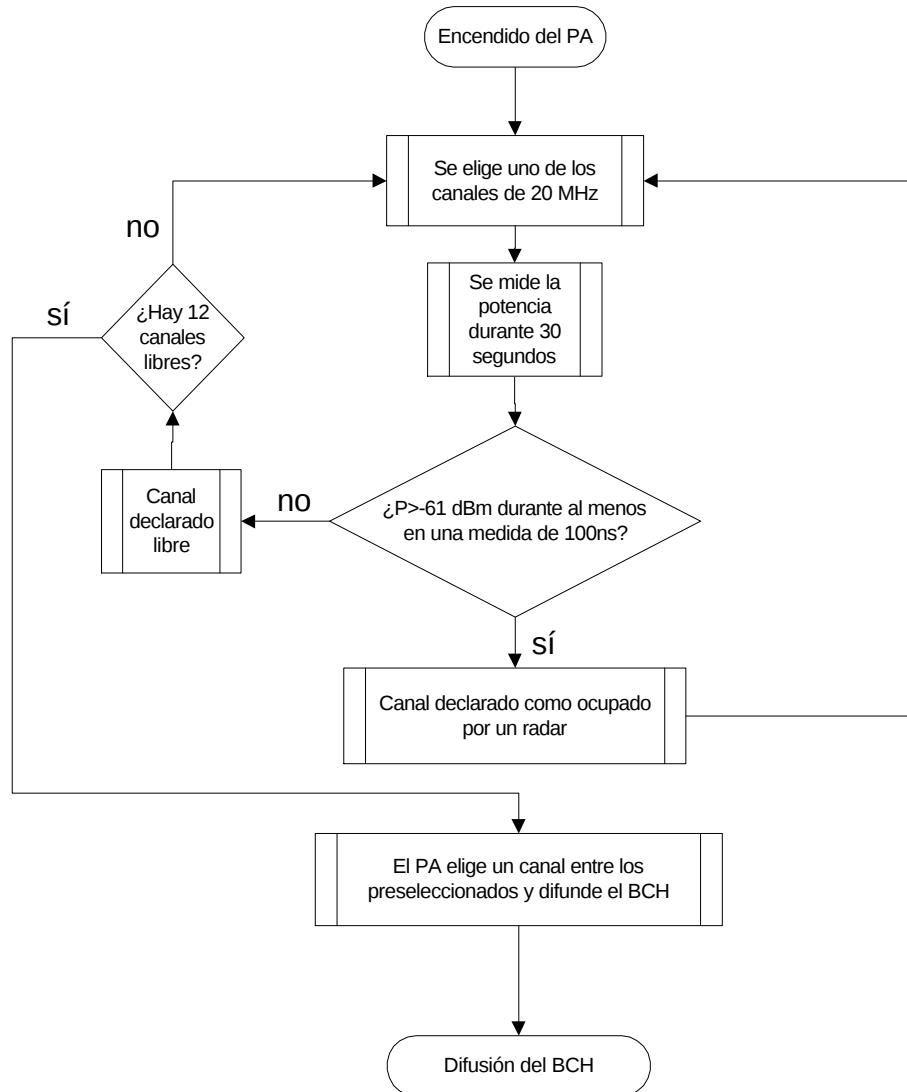


Fig.6. Puesta en funcionamiento del PA [5], pg. 2.

El test de nivel de potencia superior a -61 dBm debe dar resultados con una tasa de falsa alarma muy débil, ya que por cada error, se deberá escuchar en el canal durante 30 segundos antes de poder reutilizarlo. Si esta escucha del canal durante 30 s debe hacerse a menudo, el sistema será prácticamente inutilizable.

I.3.5.1.2 Algoritmo de DFS

Es el funcionamiento nominal de un Punto de Acceso ya en marcha. Éste será el estado normal una vez encendido el PA.

El esquema presentado a continuación es el equivalente a un diagrama proveniente de un documento de trabajo de la ETSI [6].

Hiperlan/2 debe automáticamente atribuir frecuencias a cada PA para establecer comunicaciones. Este procedimiento es realizado mediante la función de asignación dinámica de frecuencias, que permite a varios operadores compartir la banda disponible y evitar las frecuencias en las que hay interferencias. La selección se hace en función de las medidas de interferencias realizadas por los PAs y por los TMs asociados.

En este capítulo se va a presentar el algoritmo DFS (Dynamic Frequency Selection). El protocolo RLC (Radio Link Control) se encarga de definir el protocolo necesario para comunicar la información de DFS entre los elementos. Esto asegura un comportamiento parecido para todas las implementaciones de Hiperlan/2.

A pesar de todo, la implementación del algoritmo DFS se deja libre al fabricante y no será estandarizada. Por el contrario, el funcionamiento buscado para los equipos, será verificado mediante una serie de tests de verificación.

A la puesta en marcha, el PA realiza un ciclo DFS completo y selecciona una frecuencia aleatoria entre aquellas disponibles. Entonces, pasa al estado Normal Operation y comienza a enviar las señales "beacon" (balizas). Gracias a estas balizas, los terminales móviles pueden detectar la presencia del PA y asociarse con él.

El algoritmo DFS puede ser descrito por una máquina de cuatro estados: *Normal operation*, *Channel DFS test*, *Full DFS measurement* y *Frequency change*. La 0 presenta la máquina de estados.

El estado *Normal operation* es aquel en el que se realizan las tareas normales: enviar y recibir datos. Se mantiene en este estado hasta que un contador expira o la tasa de errores en vía montante (uplink) y la potencia de la señal indican interferencias. Si es el contador el que ha expirado, el estado cambia a *Channel DFS Test*. Si son las interferencias las que motivan el cambio de estado, el estado cambia a *Full DFS measurement*.

El estado *Channel DFS Test* comienza cuando el PA difunde el mensaje AP_ABSENCE. El PA mide primero las interferencias en la frecuencia utilizada. Después el PA decide en función de los resultados si el propio canal es suficientemente bueno para continuar en él o si vale más cambiar. Si el canal es bueno, el estado cambia a *Normal operation*, sino cambia a *Full DFS measurement*.

En *Full DFS Measurement State*, el PA determina primero la frecuencia que hay que medir. Luego difunde el mensaje AP_ABSENCE y dispara un procedimiento que realizará medidas en todos los canales. Este procedimiento puede incluir informes de medidas encargados a los terminales móviles. El PA decide entonces que frecuencia es la mejor, es decir, aquella que no está interferida, o si esto no es posible, una frecuencia en la que se detecte flujo de datos Hiperlan/2. Si la propia frecuencia es la mejor, el procedimiento continúa normalmente con el retorno al estado *Normal operation*, sino el estado cambia a *Frequency change*.

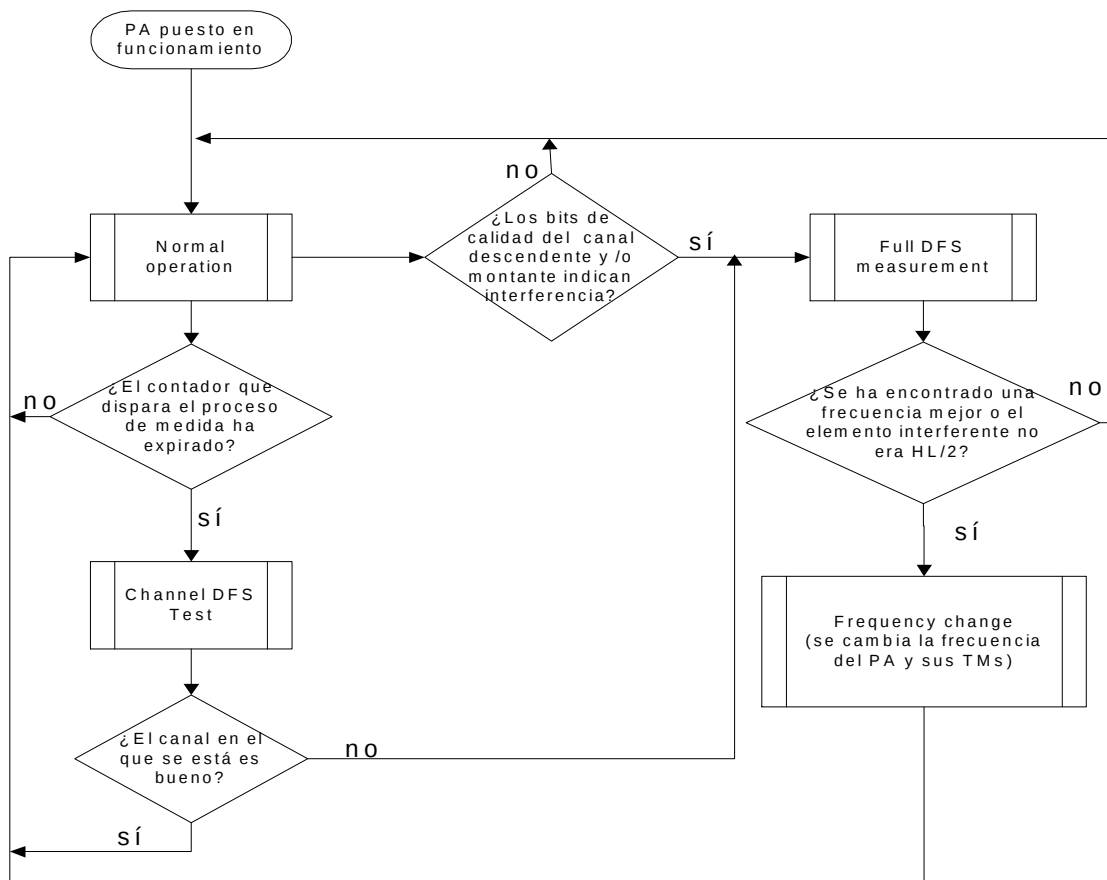


Fig.7. Algoritmo de DFS, [6] pg. 3 et 4.

En el estado *Frequency change*, el PA despierta a todos los terminales móviles dormidos y difunde un mensaje de CHANGE_FREQUENCY que indica a todos los TMs cuál es la nueva frecuencia. En este mensaje hay también información de cuándo los terminales móviles deben comenzar a operar en la nueva frecuencia. En cuanto que la frecuencia ha sido cambiada, el estado vuelve a *Normal operation*.

Este algoritmo distribuye los PAs de forma uniforme entre todas las frecuencias disponibles, y por tanto disminuye el nivel de interferencia en una sola frecuencia.

El algoritmo DFS asegura también que los equipos Hiperlan/2 no operarán en co-canal con un interferente fuerte, incluidos los sistemas de radar.

Para encontrar los canales libres el PA toma medidas de potencia en las diferentes bandas de 20 MHz y guarda el valor de RSS1 más fuerte según la tabla de la Fig.8.

La potencia de la señal recibida fuera del BCH debe ser expresada en función de RSS_REF . El valor de RSS_REF se obtiene con:

$$RSS_REF = \max (RSS0, -93 \text{ dBm} + 31 \text{ dB}) = \max (RSS0, -62 \text{ dBm})$$

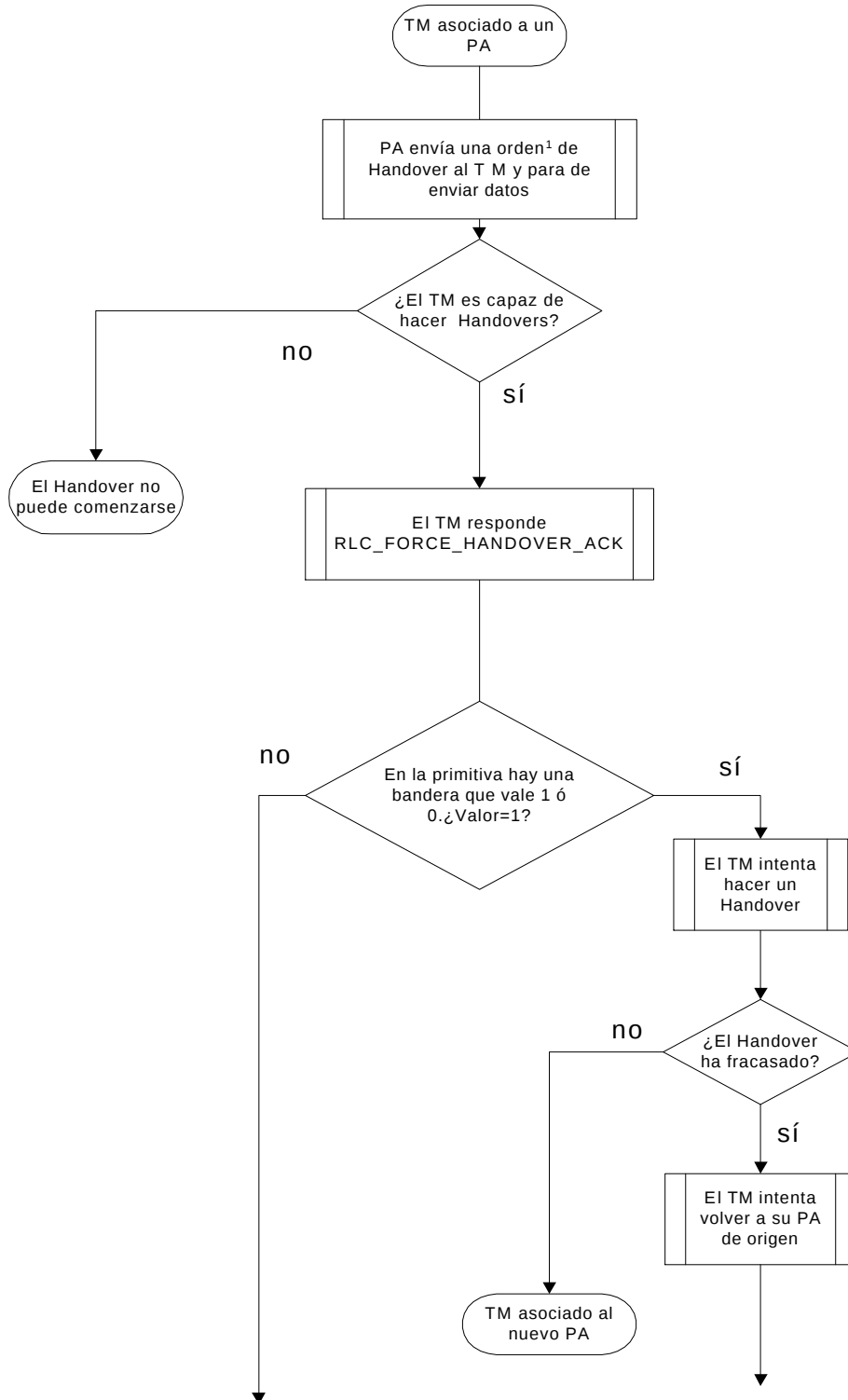
Se introduce $RSS0$, valor de la potencia medida en la frecuencia a la que el TM está asociado.

Número de Nivel de Señal (SLN1)	RSS1 (dB)	Precisión Relativa (dB)
0	0	±4
1	-1	±4
2	-2	±4
3	-3	±4
4	-4	±4
5	-5	±4
6	-6	±4
7	-7	±4
8	-8	±4
9	-9	±4
10	-10	±4
11	-11	±4
12	-12	±4
13	-13	±4
14	-14	±4
15	-15	±4
16	-16	±4
17	-17	±4
18	-18	±4
19	-19	±4
20	-20	±4
21	-21	±4
22	-22	±4
23	-23	±4
24	-24	±4
25	-25	±4
26	-26	±4
27	-27	±4
28	-28	±4
29	-29	±4
30	-30	±4
31	-31	±4

Fig.8. Valores de RSS1, [2] pg. 36.

I.3.5.1.3 Handover iniciado por PA (Handover Forzado)

La aparición de este evento ocurre cada vez que el PA mida una mala calidad de transmisión.



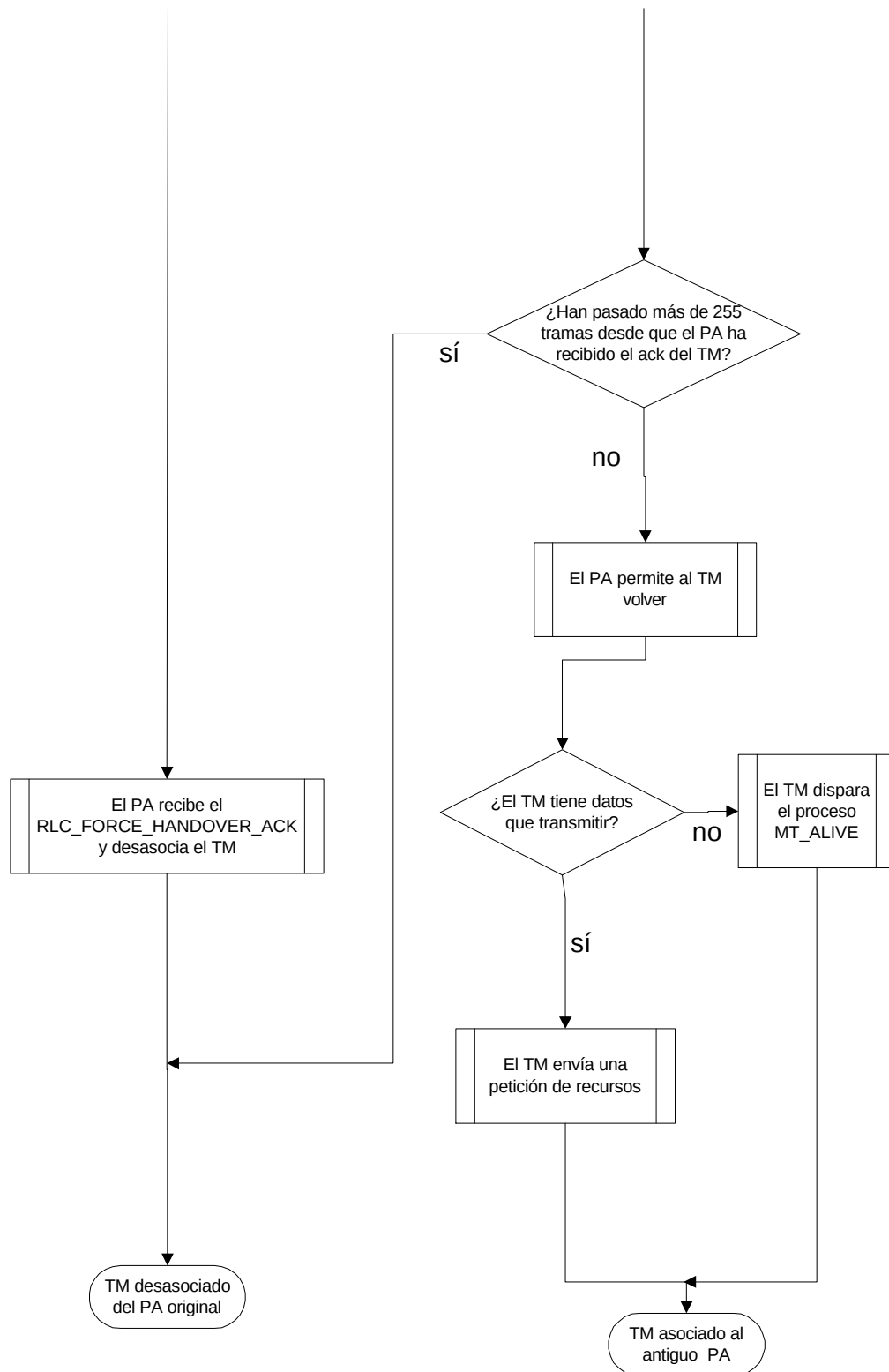


Fig.9. Handover iniciado por el PA, [7] pg. 73.

Vamos a ver ahora los casos en los que la búsqueda de canal libre se debe a la iniciativa del TM. Los procedimientos de medida de potencia y búsqueda de canal libre no están especificados en la norma puesto que los terminales son "vendor specific", es decir, cada fabricante puede elegir su método de implementación. Se intentará diferenciar lo que está establecido en la norma y lo que se piensa que es lógico y debe ser tenido en cuenta.

I.3.5.2 BCL a la iniciativa del TM

I.3.5.2.1 Puesta en funcionamiento del TM

El TM pasa del estado Apagado al estado IDLE (En Vela).

La frecuencia de aparición de este evento dependerá del uso. Este procedimiento no está normalizado, es decir, no se encuentran en la norma los procedimientos a seguir. Sin embargo, se puede suponer que el terminal hará algo parecido a lo descrito en este apartado. En las balizas difundidas por el PA hay varias informaciones codificadas en el BCH. Estas informaciones sirven a los TM para identificar al PA más apropiado para establecer una conexión. Los resultados de estas suposiciones se recogen en el diagrama siguiente:

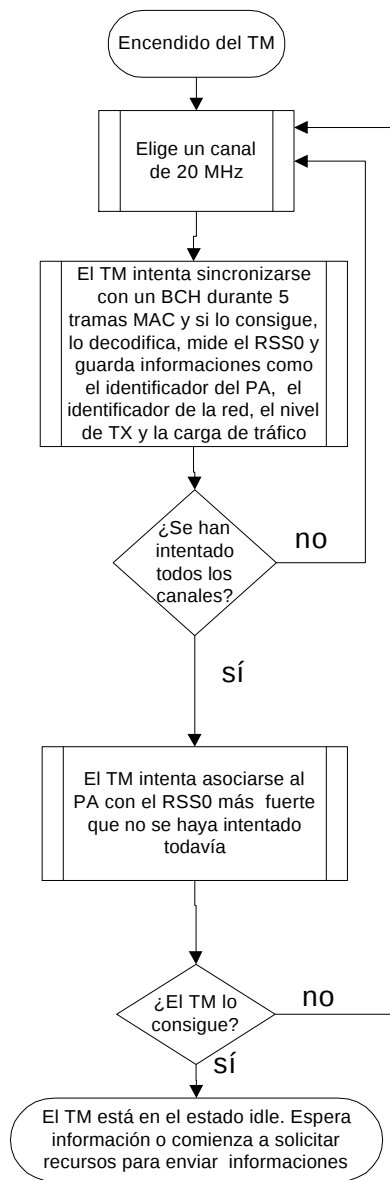


Fig.10. Puesta en funcionamiento del TM. Sin referencias.

I.3.5.2.2 Funcionamiento nominal del TM

Es el funcionamiento nominal de un TM ya en marcha. Este estado de funcionamiento del TM debe verse con fabricantes de equipos o personas en el seno de grupos de trabajo sobre este tema. El problema es que este tema no se aborda en la norma excepto para decir que los terminales móviles son "vendor specific".

I.3.5.2.3 Handover iniciado por el TM

Este evento es el Handover iniciado por el TM. Ocurrirá cuando la calidad de transmisión medida por el TM sea mala. Hay una división en tres casos según el tipo de PA de destino.

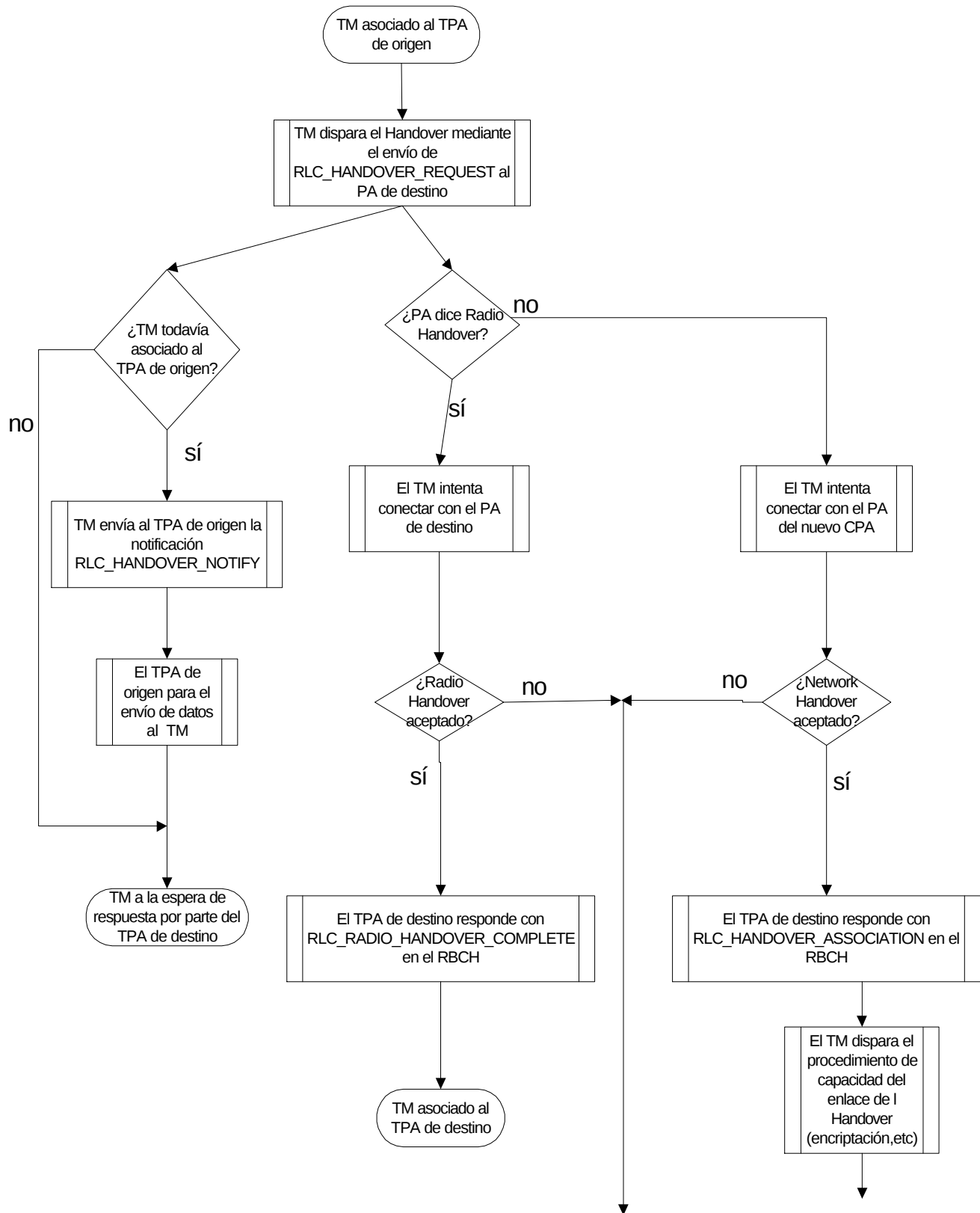
I.3.5.2.3.1 Network Handover

En este caso el PA de destino está asociado a un AP Controller (Controlador de PA) diferente del de origen.

I.3.5.2.3.2 Radio Handover

Ahora el PA de destino está asociado al mismo AP Controller (Controlador de PA) que el de origen.

La diferencia entre estos dos tipos de Handovers es más un problema de identificación del TM en el nuevo PA, que una diferencia en el nivel de enlace que es lo que nosotros estamos considerando.



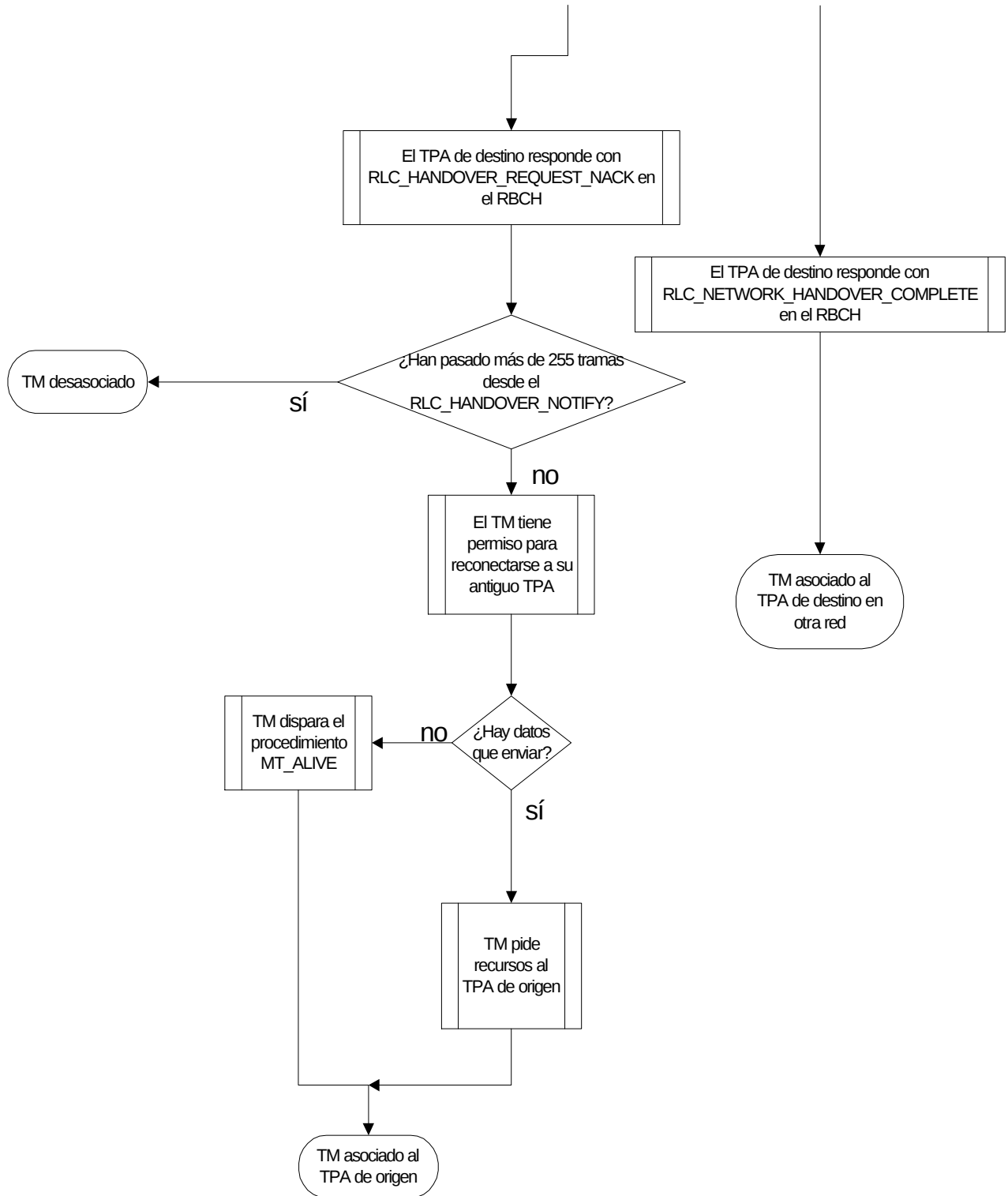


Fig.11. Radio y Network Handover, [7] pg. 61-68.

I.3.5.2.3.3 Sector Handover (Opcional)

En este caso el PA de destino es el mismo que el de origen. Para el TM la implementación es opcional. Por el contrario, para el PA, si éste tiene antenas sectoriales, debe soportarlo.

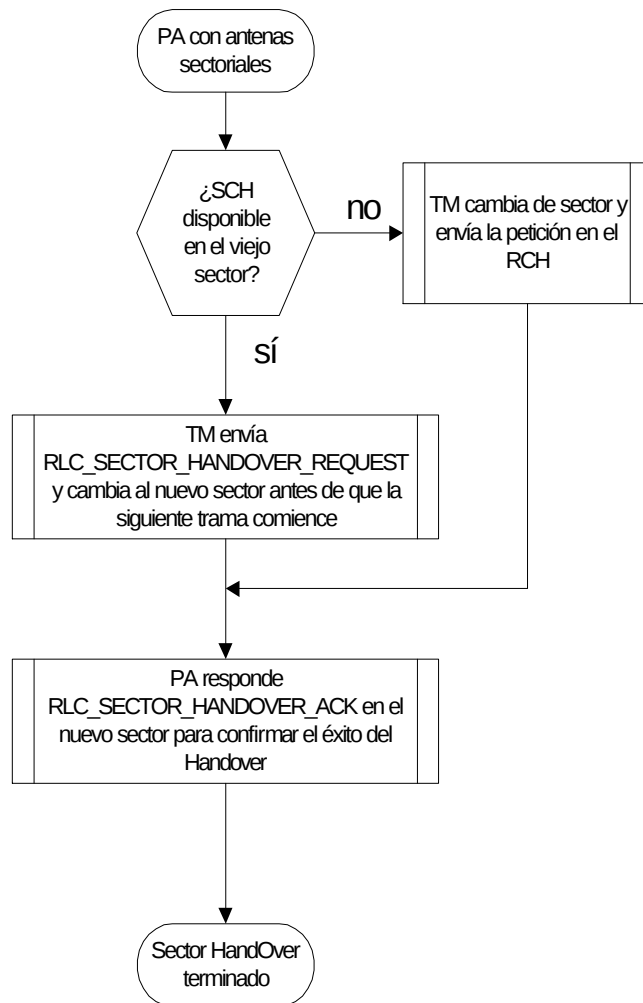


Fig.12. Sector Handover, [7] pg. 60.

I.3.6 Medidas realizadas por un TM

Para realizar un "handover" el TM debe tomar medidas en su banda y en otras frecuencias. Para eso hay tres métodos:

-Short (Corto) : Durante 5 tramas MAC se buscan los BCHs, se decodifican y se mide la RSS0. Si se encuentran varios BCHs, se guardan las informaciones del más fuerte.

-Percentiles (Estadístico) : Durante la duración del período de medida se toman muestras cada 8 μ s y se calculan estadísticas.

-Complete (Completo) : Durante 5 tramas MAC se hace como en el método "short" y durante el resto del tiempo como en el percentiles.

Aquí se muestra el diagrama que explica como hace las medidas el TM:

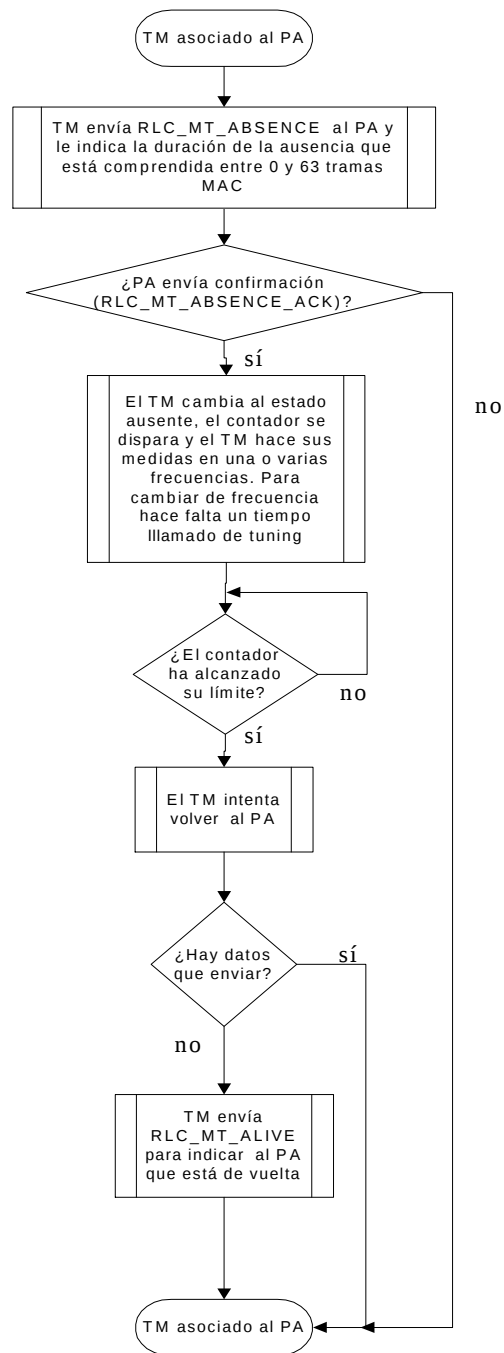


Fig.13. Medidas realizadas a la iniciativa del TM, [7] pg. 77-87 y [8] pg. 3.

Las medidas se guardan siguiendo la tabla de la Fig.14.

Número de Nivel de Señal (SLN0)	RSS0 (dB)	Tolerancia (dB)	Nota
0	-91	±8	
1	-90	±7	
2	-89	±6	
3	-88	±5	
4	-87	±5	
5	-86	±5	
6	-85	±5	
7	-84	±5	
8	-83	±5	
9	-82	±5	
10	-81	±5	
11	-80	±5	
12	-79	±5	
13	-78	±5	
14	-77	±5	
15	-76	±5	
16	-75	±5	
17	-74	±5	
18	-73	±5	
19	-72	±5	
20	-71	±5	
21	-70	±5	
22	-69	±5	
23	-68	±5	
24	-67	±5	
25	-66	±5	
26	-65	±5	
27	-64	±5	
28	-63	±5	
29	-62	±5	
30	-61	±5	
31	-60	±5	
32	-59	±5	
33	-58	±5	
34	-57	±5	
35	-56	±5	
36	-55	±5	
37	-54	±5	
38	-53	±5	
39	-52	±5	
40	-51	±5	
41	-50	±5	
42	-49	±5	
43	-48	±5	
44	-47	±5	
45	-46	±5	
46	-45	±5	
47	-44	±5	
48	-43	±5	
49	-42	±5	
50	-41	±5	
51	-40	±6	
52	-38	±6	
53	-36	±6	

Número de Nivel de Señal (SLN0)	RSS0 (dB)	Tolerancia (dB)	Nota
54	-34	± 6	
55	-32	± 7	
56	-30	± 8	
57	-28	± 7	Obligatorio solo para receptores de clase 1
58	-26	± 7	Obligatorio solo para receptores de clase 1
59	-24	± 8	Obligatorio solo para receptores de clase 1
60	-22	± 8	Obligatorio solo para receptores de clase 1
61	-20	± 8	Obligatorio solo para receptores de clase 1
62	> -20	± 8	Opcional
63	--	--	Para uso futuro

Fig.14. Valores de RSS0 y SLN0 correspondientes, [7] pg. 34-35.

I.3.7 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor se define como el nivel de potencia recibida mínima a partir de la cual la proporción de PDUs (Protocol Data Unit) recibidas con errores es superior al 10%. Estos valores deben ser tenidos en cuenta cuando los multirayectos o el ruido aditivo no distorsionan la señal de entrada.

Tasa binaria nominal (Mbits/s)	Sensibilidad mínima (dBm)
6	-85
9	-83
12	-81
18	-79
27	-75
36	-73
54	-68

Fig.15. Niveles de sensibilidad del receptor, [7] pg. 36.

I.3.8 Límites de interferencia

Por otro lado se puede también ver cuales son las condiciones que un emisor de interferencias debe cumplir si no quiere molestar a nuestro sistema. En las siguientes tablas se muestran los datos que nos interesan:

Clase del receptor	Máxima potencia de entrada
1	-20 dBm
2	-30 dBm

Fig.16. Nivel máximo de potencia de entrada permitido sin bloqueo, [7] pg. 37.

Tasa binaria nominal (Mbits/s)	Rechazo en canal adyacente (dB)	Rechazo en canal no adyacente (dB)
6	21	40
9	19	38
12	17	36
18	15	34
27	11	30
36	9	28
54	4	23

Fig.17. Tolerancia a las interferencias sobre los canales adyacentes y no adyacentes, [7] pg. 37.

Estos niveles de tolerancia se calculan como la diferencia entre la potencia recibida en el canal $M \pm 1$ y el canal M en la columna Rechazo en canal adyacente y como la diferencia entre la potencia recibida en el canal $M \pm N$ y el canal M con $N \neq 1$ y $M \pm N$ un canal Hiperlan/2, en la columna Rechazo en canal no adyacente.

Frecuencia de la interferencia	Nivel de bloqueo (dBm)	Nivel de respuestas espurias (dBm)
100 KHz ... 2'5 GHz	0	-20
2'5 ... 4'5 GHz	-10	-40
4'5 ... 5'15 GHz	-30	-40
5'15 GHz ... fc-50 MHz	-30	-40
fc+50 MHz ... 5'35 GHz	-30	-40
5'35 ... 5'47 GHz	-30	-40
5'47 GHz ... fc-50 MHz	-30	-40
fc+50 MHz ... 5'725 GHz	-30	-40
5'725 GHz ... 7 GHz	-30	-40
7 GHz ... 13 GHz	-20	-40

Fig.18. Niveles admitidos en otras bandas de frecuencia para la potencia interferente, [7] pg. 38.

Aquí, cuando se habla de nivel de respuestas espurias, se habla del nivel de potencia recibida en esta banda de frecuencia que hace que la tasa de PDUs recibidas con errores sea superior al 10%.

El nivel de bloqueo es el valor a partir del cual el receptor se satura y se bloquea.

I.4 DECT

I.4.1 Nivel físico

DECT es una tecnología radio para la telefonía sin hilos que puede también integrar funcionalidades de conexión a las redes celulares terrestres en sus terminales. Se trabaja principalmente en la banda de 1'880 a 1'900 GHz pero se puede también trabajar en el caso en el que fuera necesario en otras bandas como la de 2'400 a 2'4835 GHz, la banda de Bluetooth y de otros sistemas. El nivel físico se basa en un método de modulación GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) con un producto periodo-ancho de banda de 0'5.

Un '1' binario se codifica con una desviación de frecuencia de $(+f)$, quedando una frecuencia de pico de $(F_c + f)$. Un '0' binario se codifica con una variación de frecuencia de $(-f)$, obteniendo una frecuencia de pico de $(F_c - f)$.

El valor de f debe ser 288 KHz.

Hay también otras posibilidades de modulación, que son opcionales, para las codificaciones de 2 y 3 bits por símbolo (4 y 8 niveles respectivamente).

I.4.2 Bandas de frecuencia

DECT utiliza normalmente diez bandas de frecuencia situadas entre 1'880 y 1'900 GHz

Estas bandas son:

$$F_c = F_0 - c.1728 \text{ MHz}$$

donde: $F_0 = 1897,344 \text{ MHz}$; y $c = 0,1,...,9$

La banda de frecuencia entre $F_c - \frac{1728}{2} \text{ MHz}$ y $F_c + \frac{1728}{2} \text{ MHz}$ es el canal c de RF.

Además de estas bandas hay también otras portadoras para $c \geq 10$

Número de portadora c	Número de banda RF	Frecuencia de portadora (MHz)	Número de portadora c	Número de banda RF	Frecuencia de portadora (MHz)
9	--	1881'792	17	00001	1911'168 (nota)
8	--	1883'520	18	00001	1912'896
7	--	1885'248	19	00001	1914'624 (nota)
6	--	1886'876	20	00001	1916'352
5	--	1888'704	21	00001	1918'080
4	--	1890'432	22	00001	1919'808 (nota)
3	--	1892'160	23	00001	1921'536
2	--	1893'888	24	00001	1923'264
1	--	1895'616	25	00001	1924'992 (nota)
0	--	1897'344	26	00001	1926'720
10	00001	1899'072	27	00001	1928'448
11	00001	1900'800	28	00001	1930'176 (nota)
12	00001	1902'528	29	00001	1931'904
13	00001	1904'256 (nota)	30	00001	1933'632
14	00001	1905'984 (nota)	31	00001	1935'360 (nota)
15	00001	1907'712	32	00001	1937'088
16	00001	1909'440 (nota)		00001	

Nota: Esta portadora normalmente no puede ser utilizada a menos que los 5 MHz de espectro adyacentes pertenezcan al mismo operador. Las frecuencias de borde del bloque de espectro coinciden con una frecuencia $n \times 5$ MHz donde n es un entero

Fig.19. Bandas de frecuencia en la implementación de DECT entre 1.880 y 1.940 MHz, [10] pg. 51.

I.4.3 Reglamentación

La NTP es la potencia media transmitida entre el principio del símbolo p0 y el fin del paquete.

Las condiciones que debe cumplir la potencia transmitida se detallan en la figura siguiente:

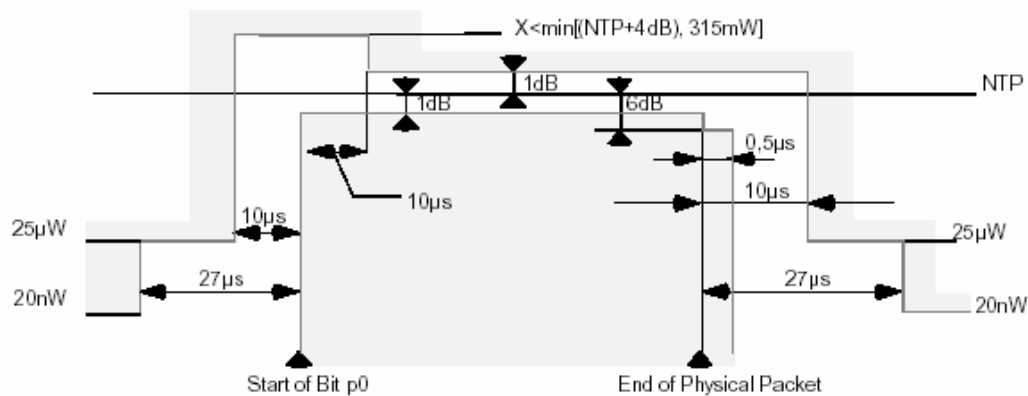


Fig.20. Límites de potencia transmitida, [10] pg. 22.

La potencia medida a la salida hacia la antena de cada emisor (NTP) debe ser inferior a $P_{\text{NTP}} = 250\text{mW}$ (24 dBm).

I.4.4 Organización de la red

En la tecnología DECT se utiliza una estructura TDMA (Time Division Multiple Access) para el reparto temporal. La estructura se repite en tramas de 11.520 símbolos y los datos se transmiten con una tasa de 1.152 ksímbolos/s, entonces, se tienen tramas de 10 ms. Hay además una estructura más grande, constituida de 16 tramas, llamada multitrama.

En cada trama hay 24 intervalos completos o "full slots", cada uno compuesto de dos medios intervalos o "half slots". Los intervalos dobles o "doubles slots" son grupos de dos intervalos completos que comienzan al mismo tiempo que un intervalo par. Los intervalos $K = 0 \text{ a } 11$ se utilizan normalmente en la dirección PF a PP y los $K = 12 \text{ a } 23$ de PP a PF. Los medios intervalos se denotan $L = 0 \text{ y } 1$.

En las siguientes imágenes se muestran estas divisiones de la trama:

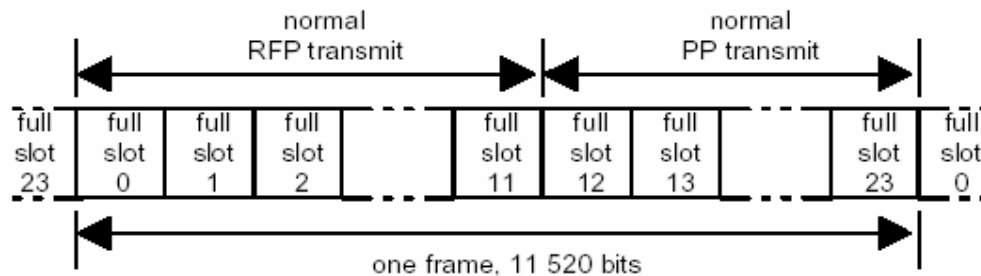


Fig.21. Trama DECT, [10] pg. 11.

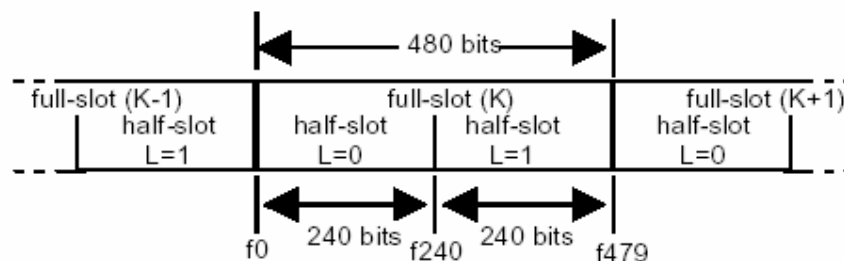


Fig.22. Formato del medio intervalo o "half slot", [10] pg. 12.

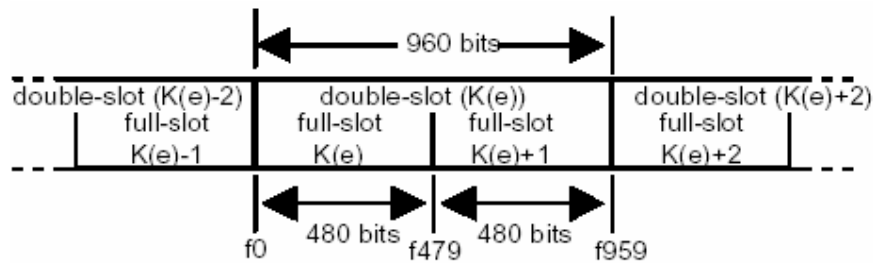


Fig.23. Formato del intervalo doble o "double slot", [10] pg. 12.

I.4.5 Eventos de BCL

DECT es capaz de evitar las interferencias producidas por otros equipos o por otros dispositivos DECT. Esta protección se debe a la capacidad de elegir un canal mediante la búsqueda de canal libre, haciendo medidas de interferencias antes de tomar el canal para su utilización. El método puede revelarse ineficaz si el sistema recibe muchas interferencias, puesto que en un cierto momento el número de canales disponibles, es decir, sin interferencias, no permitirá encontrar un canal libre cuando hay otras comunicaciones en curso.

I.4.5.1 BCL a la iniciativa de la PFR

I.4.5.1.1 Puesta en funcionamiento de la PFR

La frecuencia de aparición de este evento dependerá de la utilización del sistema. Una vez el sistema encendido pasará a su estado de funcionamiento nominal.

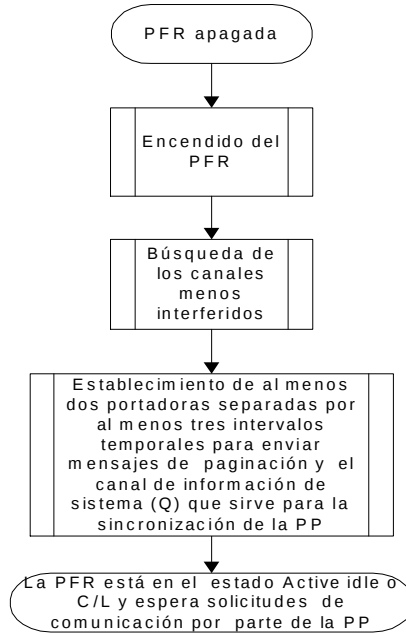


Fig.24. Puesta en funcionamiento de la PFR, [11] pg. 21.

Inicialmente, cuando se enciende la PFR, se va a medir la interferencia en los diferentes canales y se va a intentar tomar varios de entre ellos (al menos dos) en las diferentes frecuencias que puede utilizar. Los canales elegidos deben estar separados por al menos tres intervalos temporales (slots) entre cada uno. Estos canales se denominan "busy" (ocupados) en la literatura [11]. En estos canales la PFR (Parte Fija de Radio) va a enviar informaciones a los canales lógicos:

1. el canal de paginación que contiene las informaciones relativas a la identificación de la PFR para que la PP pueda indicarle su intención de establecer una conexión. La PFR envía también informaciones sobre los intervalos recomendados para el establecimiento de una conexión y los intervalos "blinds" (ciegos), es decir, ocupados. Un intervalo ocupado, esta indisponible en todas las bandas de frecuencias.
2. el canal de información de sistema (canal Q) que se transmite una vez por multitrama, en la trama 8. En este mensaje se pueden enviar varias informaciones pero hay un grupo de informaciones, el "static system info" (información estática del sistema) que se envía al menos una vez cada 8 multitramas y que contiene las frecuencias que la PFR puede utilizar (según las normativas correspondientes a cada país). En este grupo, la PFR

envía también la frecuencia en la cuál está enviando el mensaje y el intervalo en el que se transmite.

Las PFRs utilizadas en la práctica no tienen nada más que un emisor-receptor, que puede cambiar de frecuencia entre intervalos temporales, lo que les permite establecer hasta 12 comunicaciones al mismo tiempo, una por intervalo temporal.

Para pasar a otro estado, la PFR debe esperar a que la PP haga medidas de la potencia recibida. Si la PP la elige para una conexión, y establece una petición de conexión en uno de los canales disponibles, la PFR pasará al estado "Active Traffic" (Tráfico Activo). La PP hará esta petición de conexión en función de las informaciones contenidas en el canal de paginación y de las medidas realizadas.

I.4.5.2 BCL a la iniciativa de la PP

I.4.5.2.1 Puesta en funcionamiento de la PP

La aparición de este evento se mantiene también como función de la utilización del sistema. Cada vez que se enciende la PP se seguirá este procedimiento. Vamos a mostrar en un diagrama como los anteriores cuales son los pasos que va a recorrer la PP hasta el momento en el que espera una petición de conexión.

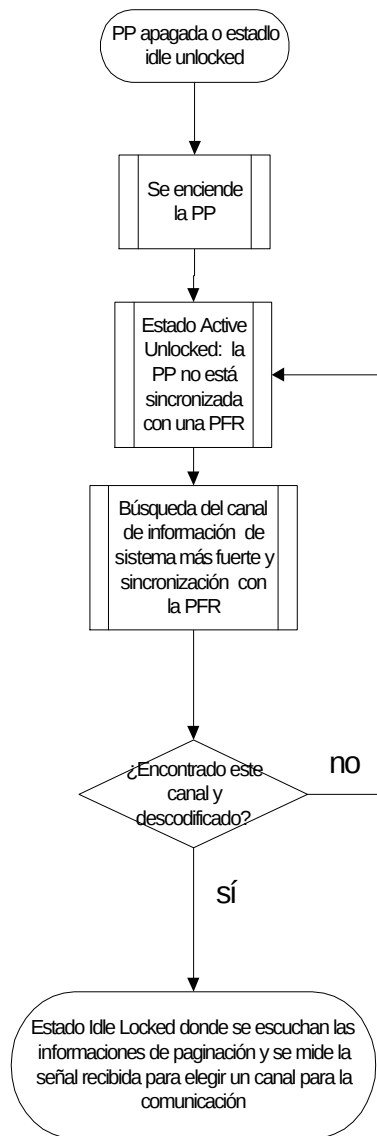


Fig.25. Puesta en funcionamiento de una PP, [11] pg. 20.

La PP estará escuchando en uno de los canales de paging en la PFR más fuerte detectada. El canal en el que escucha se denota "locked channel" (canal engranado) en la literatura [11]. En este canal la PP recibirá informaciones acerca de los canales libres en la PFR y sugerencias sobre los canales a utilizar. La PP entonces realizará medidas y creará una lista de canales disponibles ordenados por nivel de potencia de interferencia. Después, en función de la lista

que viene de crear, la PP establecerá una comunicación eligiendo un canal como se indica en el párrafo siguiente (I.4.5.2.2).

I.4.5.2.2 Funcionamiento nominal de la PP

En este estadio del procedimiento de conexión la PP está sincronizada con una PFR y busca un canal libre que cumpla la condición mínima de calidad, de 21 dB de CIR (Carrier to Interference Ratio). Si la PFR más fuerte no tiene más canales libres que cumplan la condición de pocas interferencias, se intentará otra vez encontrar uno. Si después de tres ensayos continúa sin encontrar, la PP intentará encontrar un canal en otra PFR.

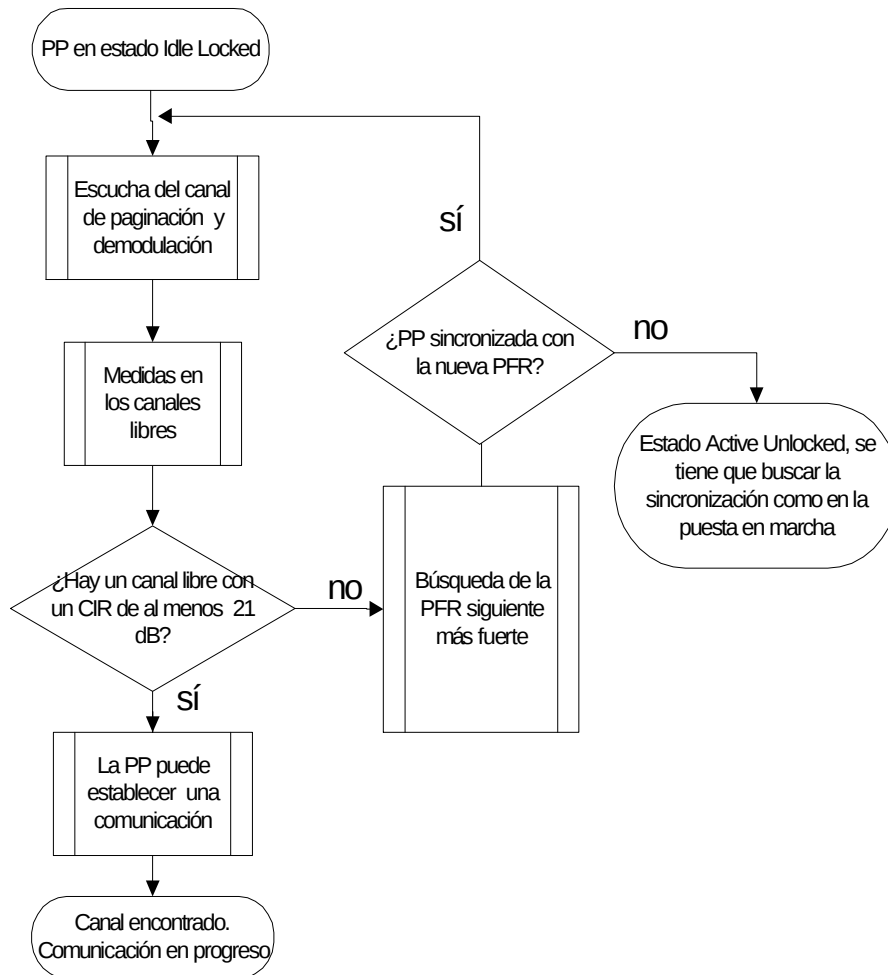


Fig.26. Funcionamiento nominal de la PP, [11] pg. 20 y [12] pg. 1303.

El canal físico elegido para una conexión se cambiará solamente si se detecta necesidad de cambiarla. Los motivos más típicos son la detección de una mala calidad o de interferencia, detección de una PFR más fuerte que la actual o detección de un canal físico con menos interferencias que el actual.

1.4.6 Medidas realizadas por la PP

Las medidas son realizadas por el nivel físico cuando recibe la primitiva PL_ME_SEG_STR-req. En DECT, lo que se mide es la potencia de la señal, tomada como el valor de pico obtenido con un circuito de constante de carga entre 10 μ s et 40 μ s. La medida debe hacerse en todo el paquete de información y en un período de 10 μ s antes del comienzo y después del final. Los valores se integran en una banda de 1MHz centrada en la frecuencia central del canal RF.

Para utilizar un canal físico DECT el receptor debe ser capaz de medir las señales más fuertes de -93dBm y menos fuertes de -33dBm con una resolución de menos de 6dB. Las señales que se reciben más fuertes de -33dBm deben dar un resultado igual o mayor que aquellas recibidas con -33dBm. Las señales recibidas menos fuertes que -93dBm deben dar un resultado igual o menor que aquellas recibidas con -93dBm.

La sensibilidad del receptor debe ser de -83dBm o mejor.

Para hacer la selección de canales se debe definir primero que es el canal relevante. Este canal es diferente según el tipo de portadora o "bearer". Aquí se muestran las relaciones entre el tipo de portadora y el canal relevante:

Tipo de portadora requerida	Canal físico relevante del par TDD	
	PP Seleccionadora	PFR Seleccionadora
Dúplex	Canal de recepción normal de la media trama TDD	Canal de recepción normal de la media trama TDD
Símples	Canal de recepción normal de la media trama TDD	Canal con la medida de RSSI más fuerte
Double Símples	Canal con la medida de RSSI más fuerte	Canal con la medida de RSSI más fuerte

Fig.27. Tabla de correspondencias entre tipo de portadora y canal relevante, [11] pg. 189.

Cuando se hacen medidas en los canales, los que están por debajo de -93 dBm se consideran libres y pueden ser seleccionados para establecer una comunicación. Se debe definir un limite

superior a partir del cual un canal se considere ocupado. Este limite varía en función del ambiente de interferencias pero debe ser inferior a -33 dBm.

Se obtiene por tanto una clasificación como la de Fig.28.

RSSI	Desviación RSSI	Banda	Comentario
> max dBm	∞	ocupada	ocupado, no intentar
	≤ 6 dB	b(n)	posibles candidatos
	.	.	
	.	.	
	.	.	
	≤ 6 dB	b(4)	
	≤ 6 dB	b(3)	
	≤ 6 dB	b(2)	
	≤ 6 dB	b(1)	
< min dBm	∞	tranquila	tranquilo, siempre permitido

Fig.28. Modelo de clasificación de canales, [11] pg. 190.

La lista de canales puede ser incompleta. Habrá incluso canales que no se podrán medir, por ejemplo, si se está en la frecuencia f_y en el intervalo (3/15) puede¹ que no se pueda utilizar el intervalo (4/16) en la frecuencia f_x y parecido si estamos en la frecuencia f_y en el intervalo (3/15) y queremos utilizar el 15 en la frecuencia f_x .

Todos los canales que no pueden ser utilizados deben aparecer como ocupados. De la misma forma, si hay una frecuencia que no es soportada por la PFR se verán los canales correspondientes como ocupados.

Inicialmente se debería de conectar a la PFR más fuerte, entonces se recomienda intentar al menos tres veces antes de buscar el siguiente más fuerte. La selección de canal físico debería cumplir todas las reglas siguientes:

- Si el canal seleccionado no tiene una RSSI acorde con el criterio para declarar el canal libre, la lista completa modificada de los canales se debe actualizar antes de T209 segundos (30 sec).
- Los canales ocupados no deben seleccionarse.

¹ En función de las capacidades del PP.

c) Para el "handover" de portadora:

c.1) Si el canal con la $RSSI$ más baja está marcado como "libre": si no se puede tomar uno de los canales libres en tres tramas se tomará un canal de la banda $b(1)$ o $b(2)$. Si no, se elegirá un canal "libre" para el próximo intento.

c.2) Si el canal con la $RSSI$ más baja está en la banda $b(x)$, $x < (n-1)$: si no se puede tomar uno de los canales en la banda $b(x)$ en tres tramas tomaremos un canal de la banda $b(x+1)$ o $b(x+2)$. Si no, se elegirá un canal en la banda $b(x)$ para el próximo intento.

c.3) Si el canal con la $RSSI$ más baja está en la banda $b(n-1)$: si no se puede tomar uno de los canales en la banda $b(n-1)$ en tres tramas se tomará un canal de la banda $b(n)$. Si no, se elegirá un canal en la banda $b(n-1)$ para el próximo intento.

c.4) Si el canal con la $RSSI$ más baja está en la banda superior $b(n)$: se elegirá un canal en la banda $b(n)$ para el próximo intento.

d) Para el resto de establecimientos de portadoras:

d.1) A menos que todos los canales marcados como "libres" hayan sido seleccionados al menos una vez, ningún canal de las bandas $b(1)$ a $b(n)$ debería ser seleccionado.

d.2) A menos que todos los canales de las bandas $b(1)$ a $b(x-1)$ hayan sido seleccionados al menos una vez, ningún canal de la banda $b(x)$ debería ser seleccionado.

e) En cualquier ventana de T210 segundos (2 sec) el número de selecciones de canal no debería exceder el valor N202 multiplicado por un factor que depende del número de portadoras necesarias.

f) A menos que un mensaje de la lista de canales "GOOD" (Bueno) o "LISTEN" (Escucha) o "acceptable channel" (canal aceptable) sea recibida, un canal no debería ser seleccionado de

nuevo para el acceso a la misma PFR antes de que la lista modificada de canales sea puesta al día completamente.

- g) Un canal solamente será seleccionado si ha sido probado menos de 2 tramas antes y la RSSI no es más de 12 dB más fuerte que el valor precedente.

I.4.7 Límites de interferencia

Vamos a ver algunos cuadros en los que se muestran los límites de potencia de interferencias que puede soportar un sistema DECT.

Interferente en el canal de RF "Y"	Nivel de potencia del interferente	
	(dBmV/m)	(dBm)
Y=M	59	-84
Y=M ± 1	83	-60
Y=M ± 2	104	-39
Y=cualquier otro canal DECT	110	-33
Nota: Las portadoras RF "Y" deberían incluir las tres posiciones nominales inmediatamente fuera del borde de la banda DECT		

Fig.29. Potencia máxima soportada en el receptor para un nivel de -73 dBm en M, [10] pg. 26.

Frecuencia (f)	Nivel de interferencia para onda continua	
	Para medidas de señal radiada (dBmV/m)	Para medidas de señal conducida (dBm)
$25 \text{ MHz} \leq f < F_L - 100 \text{ MHz}$	120	-23
$F_L - 100 \text{ MHz} \leq f < F_L - 5 \text{ MHz}$	110	-33
$ f - F_C > 6 \text{ MHz}$	100	-43
$F_U + 5 \text{ MHz} < f \leq F_U + 100 \text{ MHz}$	110	-33
$F_U + 100 \text{ MHz} < f \leq 12.75 \text{ GHz}$	120	-23

Fig.30. Niveles admitidos en otras bandas de frecuencia para la potencia de interferencias, [10] pg. 27.

Para señales en un intervalo temporal N con una potencia de -14 dBm (129 dB/μVm) en la portadora M, el receptor debe ser capaz de recibir a -83 dBm con una BER (Bit Error Rate) en el campo D mejor de 0'001 en el intervalo temporal (N+2) módulo 24 en cualquier portadora.

I.5 Referencias

Referencias Hiperlan/2

- [1] Hiperlan/2 Whitepaper; Global Forum 1999.

- [2] ETSI TS 101 475 V1.1.1 Broadband Radio Access Networks (BRAN) ; HIPERLAN Type 2; Physical (PHY) layer.

- [3] Presentation 5GHz Spectrum at BRAN#19, 30-06-2000.

- [4] HIPERLAN type 2 for broadband wireless communication, Jamshid Khun-Jush, Göran Malmgren, Peter Schramm and Johan Torsner, Ericsson Review No. 2, 2000.

- [5] ETSI/BRAN27d113 Detection and Avoidance of Radars by RLANs in the 5GHz Band, 15-02-2002, HL Spectrum Group, Harmonised Standard, Intel Corporation.

- [6] ETSI/BRAN21d156 Working document - Characteristics of DFS with respect to sharing studies with radars, 24-11-2000 Sophia Antipolis, HL Spectrum Group.

- [7] ETSI TS 101 761-2 (V1.2.1.): "Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC)Layer; Part 2: Radio Link Control (RLC) sublayer ".

- [8] A concept for Interconnecting HIPERLAN/2 Ad Hoc Subnets Operating on Different Frequency Channels. Jörg Peetz. Vienna, 20th-22nd February 2001

- [9] Synchronization Techniques for HIPERLAN/2, Vicenç Almenar, Saied Abedi et Rahim Tafazolli, Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th, Volume:2, 2001 Page(s): 762 –766.

Referencias DECT

- [10] ETSI TS 300 175-2 V1.6.1 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 2: Physical Layer (PHL).

[11] ETSI TS 300 175-3 V1.6.1 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 2: Medium Access Control (MAC) layer.

[12] Mathematical Analysis of Dynamic Channel Selection in Indoor Mobile Wireless Communication Systems. Jan B. Punt, Dirk Sparreboom, Frank Brouwer, and Ramjee Prasad, Senior Member. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 47, NO. 4, November 1998, Page(s): 1302-1313.

Referencias HomeRF

<http://www.homerf.org/>

[13] Interference Immunity of 2.4 GHz Wireless LANs, White Paper, Learning Center, 2001.

[14] HomeRF 2.0 Technical Overview, Leigh Chinitz, Chair, HomeRF Technical committee, Featured Presentations, Learning Center.

Referencias 802.11b

[15] The BIG Question: 802.11a or 802.11b?, by Jim Geier, 24-01-2002.

http://www.80211-planet.com/columns/article/0,4000,1781_961181,00.html

[16] IEEE Std 802.11b-1999 Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band

[17] Anatomy of IEEE 802.11b Wireless. Joel Conover, 7 Août 2000.

<http://www.networkcomputing.com/1115/1115ws2.html>

Capítulo II: Estudio de las fórmulas de pérdidas en 5GHz

II.1 Descripción

En el marco del estudio de probabilidad de funcionamiento de Hiperlan/2 en presencia de diferentes tipos de interferentes, se ha tenido necesidad de establecer cuales son los diferentes modelos propuestos para las pérdidas de propagación en la banda de 5 GHz.

II.2 Notación

f : frecuencia en MHz

d : distancia en m

h_b : altura de la antena de recepción en m

h_m : altura de la antena de emisión en m

II.3 Fórmulas de propagación

II.3.1 Pérdidas asociadas a la vegetación

Para empezar, se puede decir que hay una pérdida debida a la vegetación presente en el trayecto entre el emisor y el receptor. Esta pérdida puede ir desde 1 dB hasta 16 dB en función de la densidad de la vegetación y del número de árboles atravesados.

En el método empleado para hacer las medidas, los autores del artículo [1] preconizan que si se toma un espacio físico muy grande entre las dos medidas las variaciones entre las pérdidas en

espacio libre y las medidas son pequeñas (menos de 5 dB). Si la separación entre los diferentes puntos de medida no fuera tan grande, las variaciones entre los valores esperados y aquellos medidos serían más grandes (alrededor de 10 dB).

Conociendo la naturaleza aleatoria de este término de pérdidas, no lo tendremos en cuenta en nuestro modelo. Por el contrario, en la fórmula desarrollada para 'SpotiC2', se podrá incluir este término en el término fijo de pérdidas que se incluye.

II.3.2 Fórmula con índice "n" fijo

Otro autor [2] propone una fórmula de pérdidas para los enlaces a 5 GHz en los que existe visión directa, esta versión de la fórmula de pérdidas se retoma en otros artículos. Las pérdidas serán:

$$L(dB) = C - 10 n \log(d) \quad (d > 1m) \quad \text{con} \quad n = 2.22 \quad \text{y} \quad C = 20 \log\left(\frac{l}{4p}\right)$$

donde C son las pérdidas en el espacio libre a 1 m. El índice n se encuentra muy cerca del espacio libre $n = 2$.

Para el caso en el que no hay visión directa, se propone un término de pérdidas adicional de 15 dB. Entonces, la fórmula definitiva de pérdidas es:

$$L(dB) = C - A - 22.2 \log(d) \quad (d > 1m)$$

$$A = 0 \text{ dB para VD}$$

con

$$A = 15 \text{ dB para NVD}$$

Puesto que la fórmula tiene varias posibilidades de aplicación y que no se sabe exactamente en que entorno se va a trabajar, dicha fórmula no se va a utilizar. En el caso en el que se llevara a cabo un estudio de un escenario particular este término debería tenerse en cuenta.

II.3.3 Fórmula con índice "n" variable

Hay todavía otra versión más [3] de la misma fórmula, con un cambio en el signo de la ecuación, en el que en vez de tomar en cuenta un valor fijo para el caso en el que no hay visión directa, se varía el índice n . En esta versión se dice también que la diferencia entre las pérdidas a 2 GHz y a 5GHz es solamente una diferencia debida a la diferencia de frecuencia en el término de espacio libre y no a las pérdidas por absorción o difracción en los obstáculos.

La fórmula será entonces:

$$L_b = -L_b(1m) - L_{rr} \quad \text{con} \quad L_b(1m) = 47.7 \text{ dB a } 5.8 \text{ GHz} \quad \text{y} \quad L_{rr} = C + 10 n \log(d)$$

donde C son las pérdidas adicionales a 1 m.

En la tabla siguiente se recogen los valores de los diferentes parámetros según la situación del receptor con respecto al emisor:

- OLOS (Obstructed Line Of Sight): Visión directa obstaculizada
- NLOS (Non Line Of Sight): Sin visión directa
- Cross floor: Paso de un piso a otro
- All: Media general de todas las medidas

Category	C [dB]	n	#loc.	σ [dB]
OLOS	15.3	2.04	20	4.2
NLOS	15.4	2.92	20	3.5
Cross floor	7.09	3.55	10	1.0
All	0.9	3.75	50	6.2

Fig.31. Parámetros para la fórmula de pérdidas en diferentes situaciones, [3] pg. 614 (3).

II.3.4 Pérdidas asociadas al paso de un piso a otro

En otro artículo [4], se nos presentan las pérdidas correspondientes a la travesía de una planta a la vecina. Las pérdidas en el trayecto directo son de 25 dB por planta atravesada. Estas pérdidas pueden reducirse si hay otro trayecto indirecto que no atraviesa el techo.

No se tendrá en cuenta este término para el caso general que estudiamos, pero si se quiere calcular las pérdidas en un escenario particular, en el que el receptor y el emisor no se encuentran en el mismo piso, se debería tener en cuenta las pérdidas suplementarias de 25 dB por piso de diferencia.

II.3.5 Fórmula del peor caso

Todavía se propone otra fórmula en [5], cuya diferencia principal es la introducción de un punto de referencia absoluto para hacer una estimación simple de las pérdidas. Esta fórmula emplea un criterio del peor caso, es decir, la estimación es más bien pesimista. La fórmula es:

$P_L(d) = -57 \text{ dB} - 30 \log(d)$ donde se considera un factor $n=3$ y 10 dB extra para las pérdidas a 1 m.

II.3.6 Pérdidas asociadas a la altura del emisor y el receptor

En otro artículo [6], se descubre la existencia de una relación entre las alturas del emisor y el receptor y las pérdidas. Después de la toma de medidas y la realización de una curva de mínimos cuadrados, se obtiene la ganancia debida a las variaciones de altura del receptor. La fórmula es la misma para la banda de 5 GHz y la banda de 2 GHz. Se da la ganancia a 10 m con respecto a la potencia recibida a 5 m de altura, lo que disminuye las pérdidas. La fórmula es:

$$G_h = -21.8 \text{ dB} + 12.6 \log(d) \quad \text{con } d \text{ la distancia entre el emisor y el receptor.}$$

II.3.7 Fórmula 'in/out'

Por otro lado, en otro artículo [7], los autores proponen una fórmula más simple, de la que nos vamos a servir, que se llamará 'in/out' y que se utiliza en los entornos en los que la parte de interior se organiza como un edificio de oficinas. Esta organización es generalmente un pasillo con habitaciones pequeñas a los dos lados.

$$L(d) = L_{FS}(d) - a d$$

donde d es la distancia recorrida por la señal en interior, a es igual a 0'5 dB/m y $L_{FS}(d) = 27'6 \text{ dB} - 20 \log(f) - 20 \log(d)$ con d en m y f en MHz

De hecho, lo que vamos a hacer para la utilización de esta fórmula en nuestro estudio, es dividir el trayecto entre el emisor y el receptor en dos partes. Una parte se encuentra en interior (indoor) y la otra en exterior (outdoor). Se definirán de esta forma, dos variables para la distancia, una para la distancia en interior y otra para la distancia en exterior.

La fórmula global aplicada entonces calculará las pérdidas de espacio libre para toda la distancia y añadirá un término de 0'5 dB/m para la distancia en interior.

El problema principal para la aplicación de esta fórmula en nuestro estudio es que se concibe para ser utilizada en interior. Su utilización para largas distancias en exterior no es correcta, se deberían añadir otros términos, como en la fórmula 'SpotiC2' que se ve en el apartado siguiente. Incluso si en el capítulo III se muestran curvas donde la fórmula 'in/out' ha sido utilizada sin restricciones, los resultados no deben tenerse en cuenta que para los valores en los que la distancia en exterior no sobrepasa algunas centenas de metros.

II.3.8 Fórmula 'SpotiC2'

Además de todas estas fórmulas ya desarrolladas, se ha intentado crear una nueva para nuestro estudio, 'SpotiC2', que incluye pérdidas debidas a la absorción, la difracción por el suelo y por los obstáculos, el desvanecimiento y el espacio libre.

Para el término de absorción hemos retomado el término para la distancia en interior de la fórmula 'in/out' del párrafo precedente. Tomaremos la altura de la base a 10 m y la altura del móvil a 1'5 m. El obstáculo estará a nivel del suelo, es decir, una altura de 0 m, porque queremos obtener valores generales y no conocemos su localización. Es en esta elección de la posición para el obstáculo, y en el cambio del término de absorción fijo por un término que es función de la distancia en interior, donde se introducen las diferencias con respecto a la fórmula 'SpotiC' desarrollada por M. Michel TERRE, en el documento del anexo II.

La fórmula de pérdidas es entonces:

$$L (dB) = Ads (dB) + Ado (dB) + Aab (dB) + Afg (dB) + El (dB)$$

donde cada término se desarrolla en las líneas siguientes y en el anexo II.

El término de difracción por el suelo se debe a los multitrayectos a causa de los rayos reflejados por la superficie de la Tierra. El término aparece cuando el elipsoide de Fresnel no se encuentra despejado. Este término se calculará con las fórmulas siguientes:

$$A_{ds} (dB) = F (dB) + G_b (dB) + G_m (dB) \text{ con}$$

$$F (dB) = \begin{cases} -(11 + 10 \log X - 17,6 X) & \text{si } r_{o \max} > h_b \text{ o } r_{o \max} > h_m \\ 0 & \text{en los otros casos} \end{cases}$$

$$r_{o \max} = 0,5 \sqrt{l d} \quad \text{y} \quad X = \sqrt[3]{\frac{p}{l \cdot a}} d \quad \text{con} \quad a = 6370 \cdot 10^3$$

$$G_b (dB) = \begin{cases} -17,6 \sqrt{Y_b - 1,1} + 5 \log (Y_b - 1,1) + 8 & \text{si } Y_b > 2 \\ -20 \log (Y_b + 0,1 Y_b^3) & \text{si } Y_b \leq 2 \end{cases} \quad \text{y}$$

$$Y_b = 2 \sqrt[3]{\frac{p}{l \cdot a}} h_b$$

$$G_m (dB) = \begin{cases} -17,6 \sqrt{Y_m - 1,1} + 5 \log (Y_m - 1,1) + 8 & \text{si } Y_m > 2 \\ -20 \log (Y_m + 0,1 Y_m^3) & \text{si } Y_m \leq 2 \end{cases} \quad \text{y}$$

$$Y_m = 2 \sqrt[3]{\frac{p}{l \cdot a}} h_m$$

El término de difracción por obstáculo se debe a los multitrayectos causados por los rayos que son refractados y reflejados en la punta de un obstáculo. Las fórmulas que sirven para calcularlos son las siguientes:

$$A_{do} (dB) = \begin{cases} 6,4 + 20 \log \left(\sqrt{1+v^2} + v \right) & \text{si } v > -1 \\ 0 & \text{en los otros casos} \end{cases}$$

con h_o , la altura del obstáculo y $h_{vo} = h_m + T d_1$, la parte del obstáculo que está entre el suelo y el trayecto directo entre el emisor y el receptor. Se toma $T = \frac{(h_b - h_m)}{d}$, y

$$v = (h_o - h_{vo}) \sqrt{\frac{2}{l} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{(d - d_1)} \right)}.$$

El término de absorción hemos dicho ya que se calcula según la fórmula propuesta por los autores de 'in/out'. Este término es el equivalente a las absorciones debidas a las paredes y muebles en la zona del trayecto que está en interior:

$$A_{ab} (dB) = -0,5.d_{ind}$$

El término de margen de desvanecimiento, que se toma con un valor fijo:

$$A_{fg} (dB) = -15 dB$$

El término de pérdidas en espacio libre se calcula con la fórmula siguiente:

$$El (dB) = 27,6 dB - 20 \log(f) - 20 \log(d) \text{ con } d \text{ en m y } f \text{ en MHz.}$$

Esta fórmula para las pérdidas de espacio libre ha sido modificada con respecto a aquella utilizada normalmente a fin de que la distancia pueda ser expresada en metros.

Con la fórmula 'SpotiC2' se va a calcular las curvas para las distancias límites a las que se podrá poner un elemento interferente si se quiere que un sistema Hiperlan/2 pueda funcionar en un emplazamiento.

II.4 Referencias

- [1] The influence of trees on radio channels at frequencies of 3 and 5 GHz, A. Karlsson, R. E. Schuh, C. Bergljung, P. Karlsson and N. Löwendahl, Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th, Volume: 4, 2001,Page(s): 2008 –2012.

- [2] Indoor Propagation Measurements at 5 GHz for Hiperlan, S. Guérin, Y. J. Guo and S. K. Barton, Antennas and Propagation, Tenth International Conference on (Conf. Publ. No. 436) , Volume: 2, 1997, Page(s): 306 –310.

- [3] Propagation Characteristics for Indoor Broadband Radio Access Networks in the 5GHz Band, Christian Bergljung and Peter Karlsson, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998. The Ninth IEEE International Symposium on, Volume: 2, 1998,Page(s): 612-616.

- [4] Spatio-Temporal Channel Characteristics at 5GHz in a Typical Office Environment, Jonas Medbo, Jan-Erik Berg, Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th, Volume: 3, 2001, Page(s): 1256 –1260.

- [5] 5 GHz indoor channel characterization: Measurements and models, J. T. Edward McDonnell, Antennas and Propagation for Future Mobile Communications (Ref. No. 1998/219),IEE Colloquium on, 1998,Page(s): 10/1 -10/6.

- [6] A Path Loss Model with Height Variation in Resident Area Based on Experimental and theoretical Studies Using a 5G/2G Dual Band Antenna, Naoki Kita, Akio Sato, and Masahiro Umehira, Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd, Volume: 2, 2000, Page(s): 840 -844.

- [7] Simple and Accurate Path Loss Modeling at 5 GHz in Indoor Environments with Corridors, Jonas Mebdo, Jan-Erik Berg,, Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd, Volume: 1, 2000, Page(s): 30 –36.

Capítulo III: Estudio de la probabilidad de funcionamiento de Hiperlan/2 en presencia de elementos interferentes

III.1 Introducción

En este capítulo se van a presentar los resultados obtenidos a partir de simulaciones en Matlab de varios escenarios. Con estos resultados se mostrará cuál es la probabilidad de funcionamiento de un sistema Hiperlan/2 en cada uno de los casos.

Para determinar la capacidad de funcionamiento de la red Hiperlan/2, se tendrá en cuenta las directivas presentadas en el documento [1].

III.2 Escenarios

Un escenario es una situación en la que se tienen uno o varios equipos de diferente tipo. Se van a estudiar los escenarios siguientes:

- Ruido
- Ruido + Radar
- Ruido + Hiperlan/2
- Ruido + Hiperlan/2 + Radar
- Ruido + Robot

- Ruido + Robot + Radar
- Ruido + Hiperlan/2 + Robot
- Ruido + Hiperlan/2 + Robot + Radar

Cada equipo Hiperlan/2 tendrá un umbral de detección fijado por el fabricante. Este umbral podrá ser diferente según el fabricante, pero será fijo para cada terminal. El fabricante deberá fijar un umbral que maximice la probabilidad de detección de radar. Se propone en III.2.2 un valor aceptable para este umbral.

El método utilizado para realizar las medidas es el siguiente:

1. Se hace un muestreo de la señal a 100 MHz.
2. Se toman 10 muestras: el equivalente de 100 ns de señal.
3. Se calcula el nivel de potencia como la suma del cuadrado de los valores absolutos de las muestras dividido por el número de muestras.

Las medidas se harán de la misma manera durante 30 s, lo que equivale a hacer la operación precedente $3 \cdot 10^8$ veces.

En todos los escenarios se tendrá un término de ruido térmico. Como la banda es de 20 MHz (banda ocupada por un Hiperlan/2), si se toma la fórmula siguiente, el nivel de potencia de ruido será de -100.8 dBm:

$$P_{br} = N_0 B$$

con

$$k \cdot T = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} 300 K$$

$$N_0 = 10 \log(k \cdot T) = -103.8 \text{ dBJ}$$

y

$$B = 20 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 73 \text{ dBHz}$$

Finalmente se obtendrá que nuestro nivel de referencia, nivel de potencia de ruido térmico es de:

$$P_{br} = -2038 \text{ dBJ} + 73 \text{ dBHz} = -1308 \text{ dBW} = -1008 \text{ dBm}$$

En las simulaciones realizadas para este estudio se ha utilizado un nivel de referencia que intentaremos que sea transparente para el lector de esta memoria.

III.2.1 Ruido

En este escenario, el único elemento interferente que tendremos en cuenta es el ruido térmico.

La simulación muestra que hace falta poner el umbral de detección de radar al menos a -94.8 dBm. Con este umbral, se podrá desestimar la probabilidad de falsa alarma. Si no, y mientras que la probabilidad de falsa alarma no sea muy elevada, el sistema podrá funcionar.

En la fórmula siguiente, se calcula la probabilidad de funcionamiento de un sistema Hiperlan/2 en el encendido. Como se muestra en el párrafo I.3.5.1.1 del capítulo I, un PA Hiperlan/2 puede ponerse en marcha si detecta 12 canales que no están ocupados por un radar u otro equipo equivalente. Es el caso que se estudia en la curva siguiente, en la que, para los diferentes valores posibles de la probabilidad de falsa alarma, se ha calculado la probabilidad de que un sistema Hiperlan/2 pueda funcionar.

La fórmula corresponde a la función de probabilidad de una binomial. Se calcula la suma de la serie de probabilidades de tener 12, 13, 14 y así hasta 19 canales libres.

$$Pf = \sum_{j=12}^{19} \binom{19}{j} Pcl^j (1 - Pcl)^{(19-j)}$$

En la fórmula precedente:

Pf es la probabilidad de funcionamiento del sistema.

Pcl es la probabilidad de canal libre, es decir, la probabilidad de no tener una falsa alarma.

j es el número de canales libres.

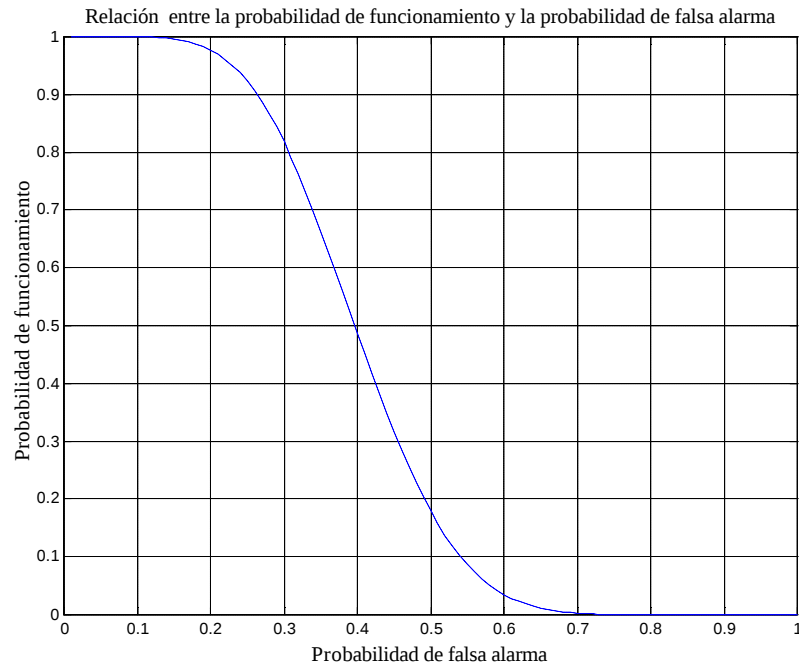


Fig.32. Probabilidad de funcionamiento de Hiperlan/2 vs. probabilidad de falsa alarma.

En la curva siguiente se da una visión de la probabilidad de falsa alarma en función del umbral fijado para la detección del elemento interferente como si fuera una señal de tipo radar. Con la probabilidad obtenida, se puede verificar en la curva precedente si el sistema Hiperlan/2 podría ponerse en marcha.

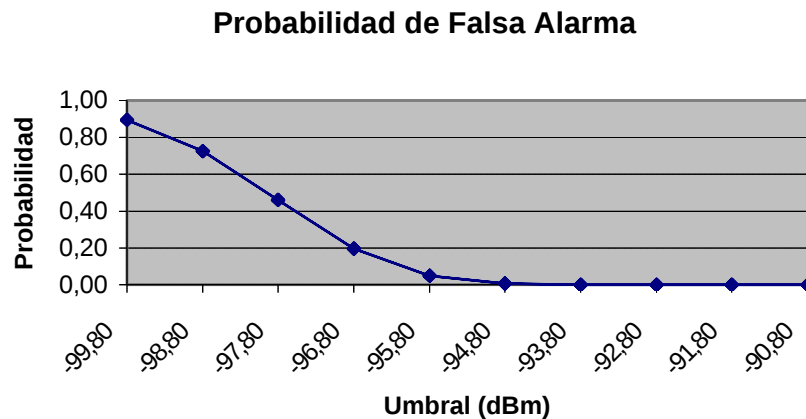


Fig.33. Probabilidad de falsa alarma vs. umbral de detección.

Se observa que si el umbral de detección fijado en el equipo de medida es superior a -94.8 dBm, el sistema Hiperlan/2 funcionará sin problemas. Si el umbral es inferior, se tendrán casos en los que el equipo de medida determinará que la señal de ruido es un radar y la red Hiperlan/2 no podrá establecerse.

En los escenarios siguientes se mostrará cómo el umbral de detección debe ser superior a -94.8 dBm. Esto quiere decir que en este escenario el sistema Hiperlan/2 funcionará siempre, puesto que la señal está por debajo de este umbral.

III.2.2 Ruido + Radar

En este escenario, se tiene el ruido térmico más otro elemento, un radar. La definición de probabilidad de falsa alarma es: "la probabilidad de sobrepasar el umbral de detección cuando la señal de interferencia no es de tipo radar". Puesto que hay un radar presente en el entorno de nuestro sistema Hiperlan/2, la probabilidad de falsa alarma será siempre nula. Se va, entonces, a trabajar en la probabilidad de detección. Esta probabilidad se define como: "la probabilidad de sobrepasar el umbral de detección en presencia de un radar".

La señal de ruido térmico es como la definida en el escenario precedente.

Se utilizará una señal de radar, definida como señal de test radar para Hiperlan/2 [2]. Esta señal, es un tren de 18 pulsos de $1\mu\text{s}$ de duración y potencia -61 dBm, uniformemente distribuidos en un intervalo de 26 ms, de hecho, habrá el equivalente de 700 pulsos por segundo. Este modelo se repite cada 10 s.

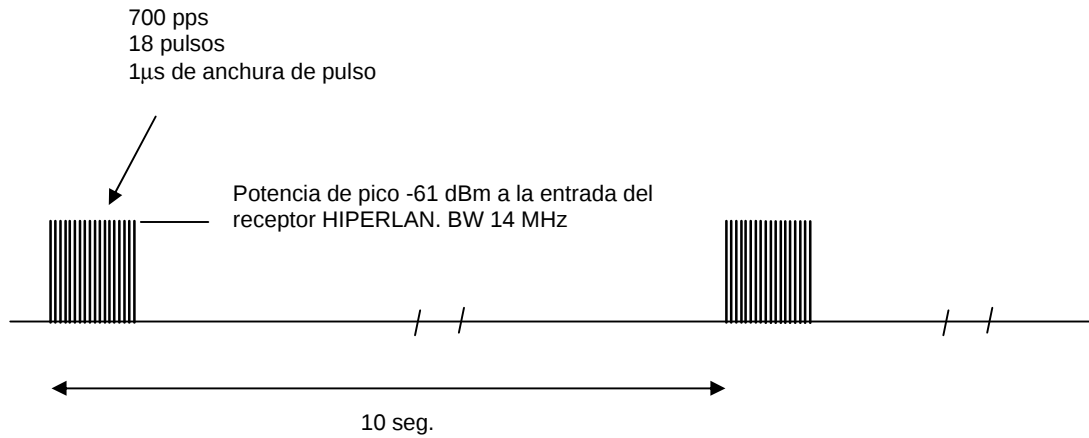


Fig.34. Señal de test radar [2].

La probabilidad de detección será el valor máximo de la probabilidad de sobrepasar el umbral de detección en una medida. Este valor será el máximo obtenido por tanto en las $3 \cdot 10^8$ operaciones de medida explicadas en el párrafo III.2.

Los resultados obtenidos con la simulación Matlab, dan un valor óptimo para maximizar la probabilidad de detección de radar. La probabilidad de detección será igual a 1, para un umbral de -61'8 dBm.

En la curva siguiente, se ve la evolución de la probabilidad de detección en función del umbral que se ha fijado:

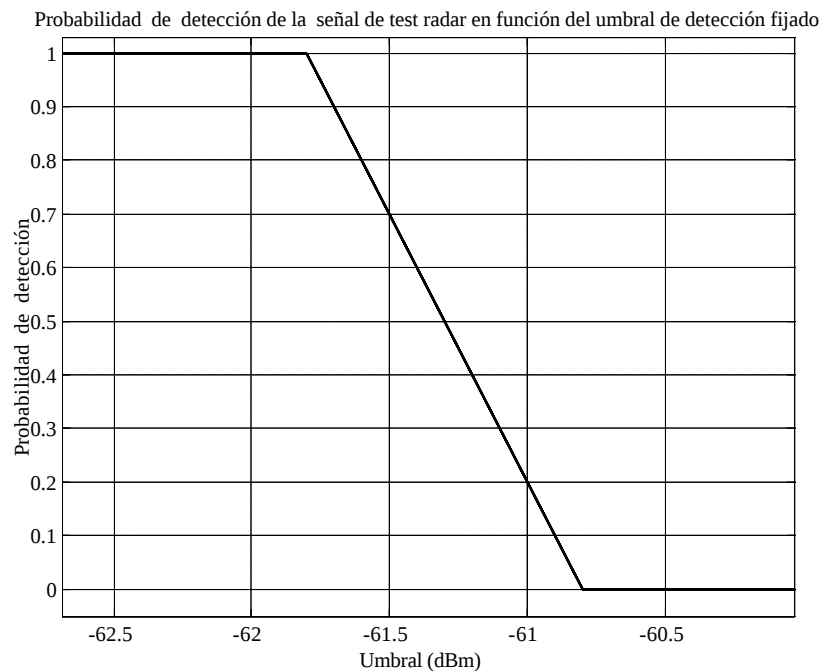


Fig.35. Probabilidad de detección de la señal radar en función del umbral.

Se ve entonces que si el umbral se fija por debajo de -61.8 dBm, el radar se detectará siempre. Puesto que el umbral de detección de radar debe permanecer fijo para todos los escenarios, se va a tomar según los resultados que se obtengan en los escenarios siguientes. Pero el valor máximo está limitado por -61.8 dBm.

En este escenario el sistema Hiperlan/2 puede todavía funcionar pero el canal en el que está el radar se encuentra bloqueado. Como se ha visto en el párrafo I.3.5.1.1, para que el sistema Hiperlan/2 pueda ponerse en marcha, hace falta que haya 12 canales libres de interferencias de tipo radar.

Si se está en una zona en la que hay varios radares en frecuencias diferentes, habrá varios canales bloqueados. Si el número de canales bloqueados es superior a 7, el sistema Hiperlan/2 no podrá ponerse en marcha. En este caso, los radares habrán molestado al funcionamiento de la red Hiperlan/2.

La fórmula de III.2.1 para el cálculo de la probabilidad de funcionamiento de la red Hiperlan/2 no es de aplicación aquí. Esto se debe al hecho de que los canales no son interferidos de la misma forma.

III.2.3 Ruido + Hiperlan/2

Ahora se considera el ruido térmico más un equipo Hiperlan/2 que se sitúa a una cierta distancia del punto en el que se realizan las medidas. Se calculará la probabilidad de falsa alarma con el umbral fijado a un valor que maximice la probabilidad de detección del radar cuando se encuentra presente. Los resultados de las simulaciones indican que el umbral debe fijarse a -62.8 dBm.

Se obtiene que para tener una probabilidad de falsa alarma muy baja o nula, las pérdidas que debe sufrir el terminal Hiperlan/2 que emite a su nivel de potencia máximo, es decir 23 dBm en "indoor" (interior), son del orden de 99 dB.

Si se utiliza la función "disttopertes" de Matlab, cuyo código se reproduce en el anexo I, párrafo 1, se obtienen las dos curvas siguientes. Esta función calcula si las pérdidas que sufre una señal emitida a una cierta distancia del punto de medida son superiores o no a un umbral fijado. La variable del umbral debe modificarse en función del caso. Aquí debe tomar el valor 99.

El trayecto entre el punto de emisión y el punto de medida se divide en dos partes: "indoor" y "outdoor" (interior y exterior). La parte "indoor" es aquella entre el equipo encerrado y el punto del trayecto que atraviesa la pared exterior. La parte "outdoor" es aquella comprendida entre la pared exterior y el equipo situado al exterior. En el caso en el que los dos equipos estuvieran en el interior o en el exterior, una de las dos distancias sería igual a 0.

La fórmula 'in/out' utilizada para el cálculo de esta curva se explica mejor en II.3.7.

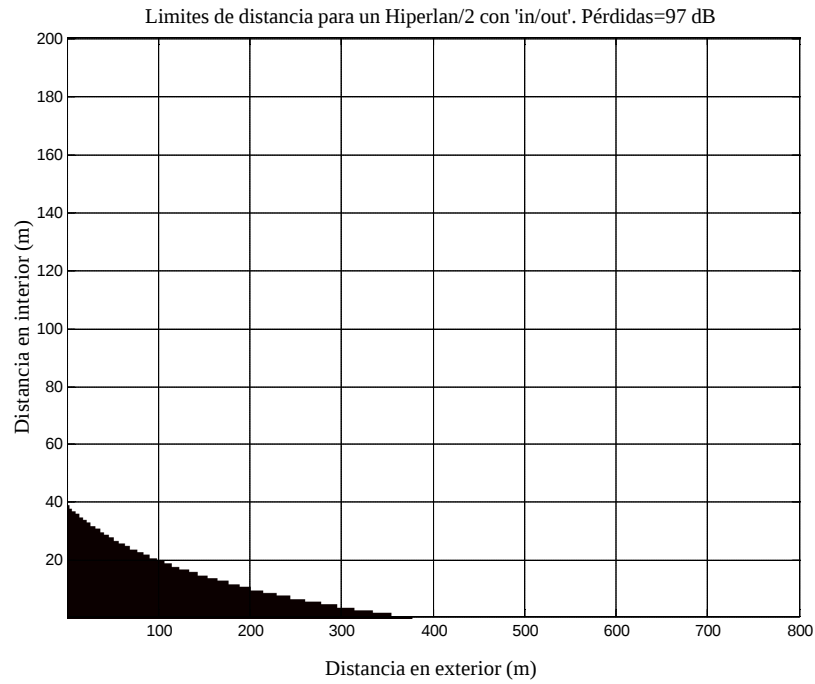


Fig.36. Límites de distancia mínima con 'in/out' para Hiperlan/2 sin ser considerado como un radar.

La fórmula 'SpotiC2' utilizada para el cálculo de las pérdidas en esta curva se encuentra completamente detallada en II.3.8.

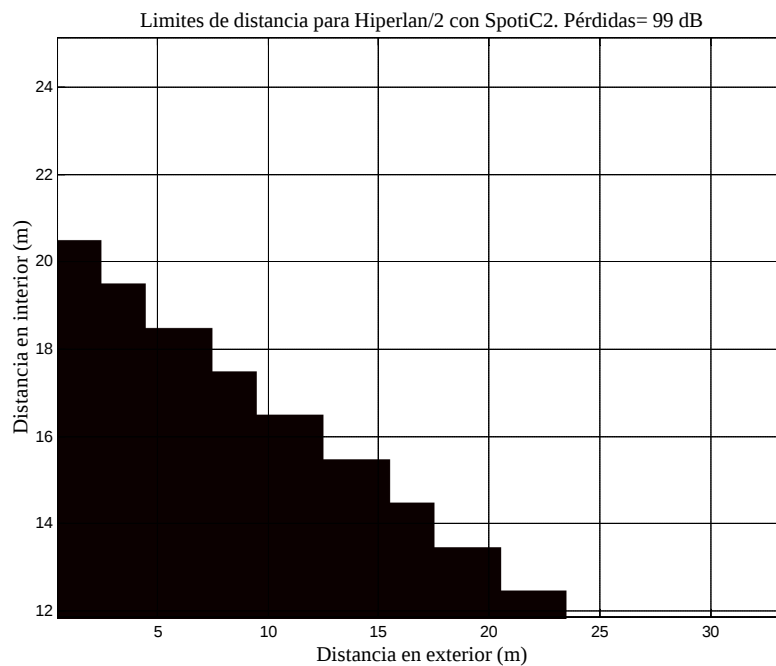


Fig.37. Límites de distancia con 'Spotic2' para un Hiperlan/2 que no quiere ser considerado como un radar.

En la curva, la zona de color negro es aquella en la que no se debe poner un equipo Hiperlan/2 si no se quiere que el canal sea considerado como ocupado por un radar. Si se tiene al equipo Hiperlan/2 en dicha zona, se puede todavía poner en funcionamiento la red Hiperlan/2, pero el canal estará bloqueado.

Como en el caso del escenario III.2.2, se podrá continuar poniendo en marcha la red Hiperlan/2 mientras que haya 12 canales libres. El número de canales ocupados debe por tanto ser inferior a 7. Este límite es válido para el conjunto de escenarios y se tendrá que tener en cuenta el cómputo global de canales ocupados.

Por otro lado, hace falta tener en cuenta todavía otro factor cuando se hacen los cálculos de potencia recibida en el punto de medida. Si se tiene un equipo Hiperlan/2, habrá que ver si es un interferente o un elemento de nuestra red. Para que el equipo Hiperlan/2 pueda ser escuchado por el PA que acaba de ser encendido, será necesario que el nivel de potencia con el que se recibe sea superior a un cierto umbral de sensibilidad. Este umbral es variable en función de la tasa binaria con la que se trabaje.

La relación señal a ruido que necesitamos es más y más importante en función de la codificación empleada con la señal útil. Cuanto más elevada es la tasa binaria, más aumenta la probabilidad de error. Para evitar este efecto, hace falta que la señal útil sea más fuerte que el ruido. Se cumple esta condición fijando un umbral de sensibilidad. Este umbral será más elevado para las señales codificadas con una tasa de 54 Mbits/s que para aquellas codificadas a 6Mbits/s.

Teniendo en cuenta los diferentes umbrales de sensibilidad, se va entonces a calcular para las diferentes codificaciones, las curvas que muestran la distancia máxima a la que se puede colocar el equipo Hiperlan/2 si no se quiere que sea escuchado por el PA. Los diferentes niveles de sensibilidad se encuentran en la 0 del capítulo I.

Se ve aquí una extensión de las curvas mostradas previamente en la que se incluyen los nuevos límites.

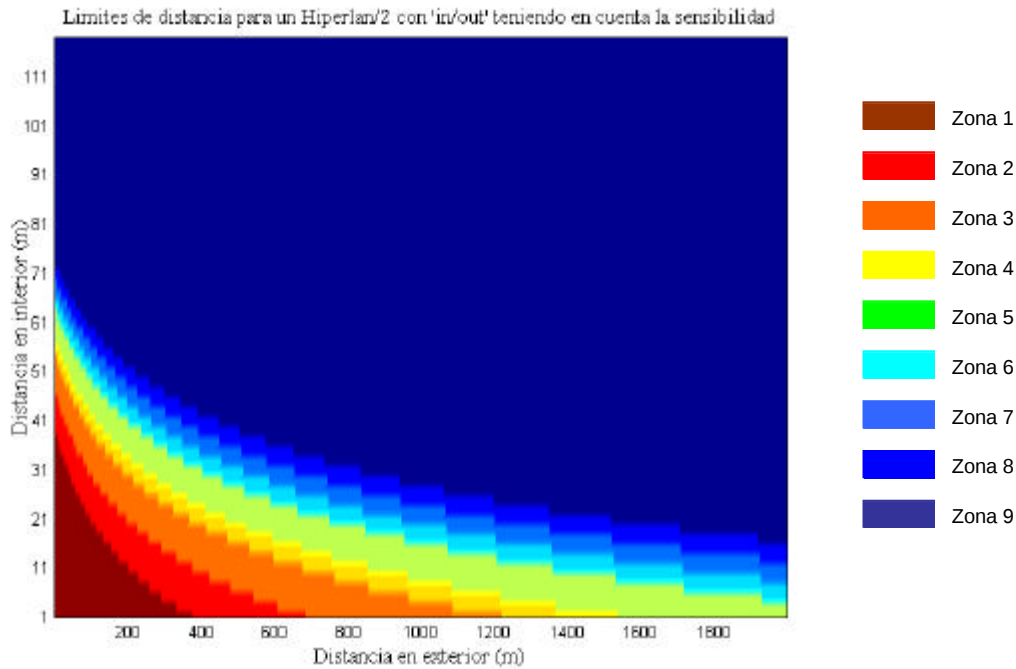


Fig.38. Límites de distancia con 'in/out' para un Hiperlan/2 teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.

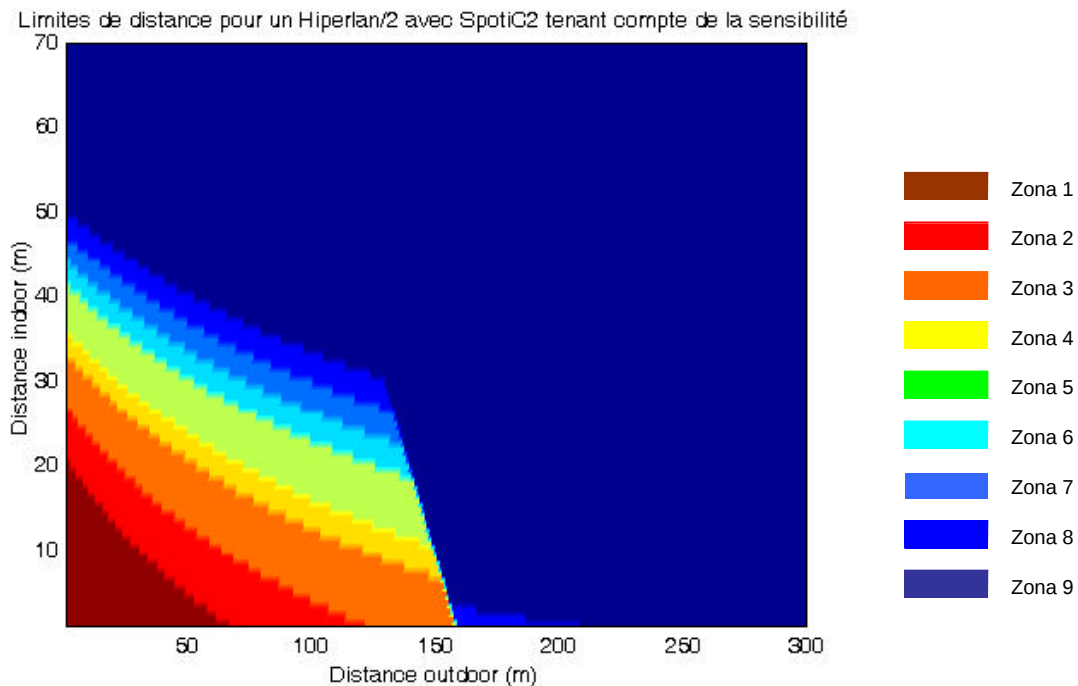


Fig.39. Límites de distancia con 'SpotiC2' para Hiperlan/2 teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.

Estas curvas se han realizado con la función de Matlab "disttopertes2" cuyo código se reproduce en el anexo I, párrafo 2. Los valores de los umbrales se deben cambiar en función de

los niveles de pérdidas deseados. Para este caso los umbrales 1 a 8 se fijarán a 99 dB, 104'2 dB, 109'2 dB, 111'2 dB, 115'2 dB, 117'2 dB, 119'2 dB y 121'2 dB.

La zona 2 es aquella en la que podrá situarse el equipo Hiperlan/2 para ser escuchado sin ser considerado como un radar. En la zona 1, y como ya habíamos visto anteriormente no se habrán obtenido suficientes pérdidas y el equipo será clasificado como un radar. Para las zonas 3, 4, 5, 6, 7 y 8, el terminal será escuchado o no en función del tipo de codificación utilizada. En la zona 3, un equipo Hiperlan/2 con una tasa binaria de 54 Mbits/s, no será comprendido. En la zona 4, se tendrá el mismo resultado para un equipo con una tasa de 36 Mbits/s ó 54 Mbits/s. Para el resto de zonas hasta la 8, los resultados serán equivalentes. Solamente los equipos con una tasa de 6 Mbits/s serán escuchados en la zona 8. Finalmente en la zona 9, ningún equipo será escuchado. Los problemas asociados a los terminales en la zona 9 no son los mismos que en la zona 1, puesto que el canal queda libre y podrá ser utilizado por otros equipos.

III.2.4 Ruido + Hiperlan/2 + Radar

Para este escenario se tendrá el ruido térmico más la señal Hiperlan/2 que se ha utilizado en el escenario precedente. Habrá también una señal radar como en el escenario III.2.2.

Se va a intentar maximizar la probabilidad de detección de radar. El umbral de detección se fijará en -62,8 dBm. Con este umbral, la probabilidad de detección de radar será igual a 1.

En este escenario, y teniendo en cuenta la definición de probabilidad de falsa alarma que se ha dado en el párrafo III.2.2, se dirá que la probabilidad de falsa alarma es nula para no importa que nivel de potencia recibida. Esta afirmación viene del hecho de que hay un radar presente en el entorno del punto de medida.

En este caso, se deben tener en cuenta las mismas directivas que para el escenario 2.2 en lo que concierne a la probabilidad de funcionamiento.

III.2.5 Ruido + Robot

Este escenario se parece bastante al escenario 2.3 ya que la señal emitida por el robot es también una señal OFDM como en Hiperlan/2. Por el contrario, el robot emite con un nivel de potencia más fuerte (10 W).

La antena de emisión de $D=0'2 \text{ m}$ de diámetro, y tasa de rendimiento, $h=0'5$, proporciona una ganancia, según la fórmula siguiente, de 17'8 dB.

$$G_e = h \cdot \left(\frac{p \cdot D}{l} \right)^2$$

Se ha concebido una fórmula de propagación, 'SpotiC2', especialmente para este tipo de robot. Esta fórmula se utilizará también para el cálculo de las pérdidas de propagación en los otros escenarios. 'SpotiC2' se detalla en II.3.8.

Como en los escenarios precedentes, el umbral de detección de radar se fijará a -62,8 dBm. Los resultados obtenidos por las simulaciones Matlab muestran que para permanecer en la zona en la que la probabilidad de falsa alarma es desestimable, se deben tener pérdidas del orden de 136 dB. Estos resultados se traducen por límites para la distancia mínima a la que se puede colocar el elemento interferente.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de pérdidas son 'in/out' y 'SpotiC2', utilizadas ya en los escenarios previos. Se ha utilizado la función "disttopertes", incluida en el anexo I, párrafo 1, con el umbral fijado a 136 dB.

En las curvas siguientes se muestran los límites obtenidos:

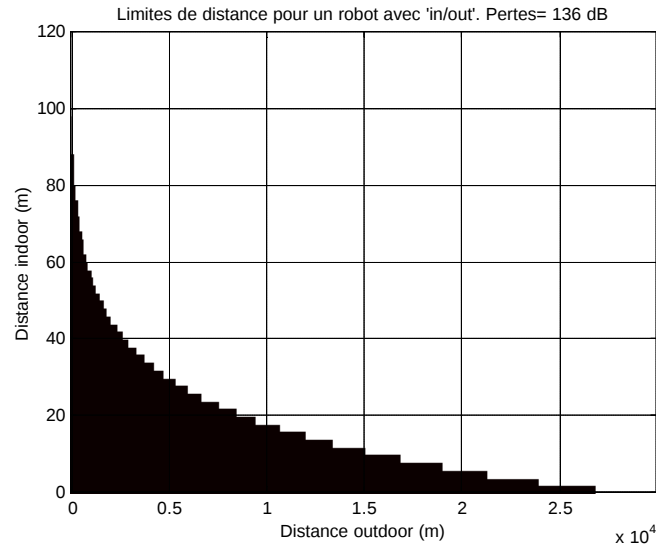


Fig.40. Límites de distancia con 'in/out' para un robot que no quiere ser considerado como un radar.

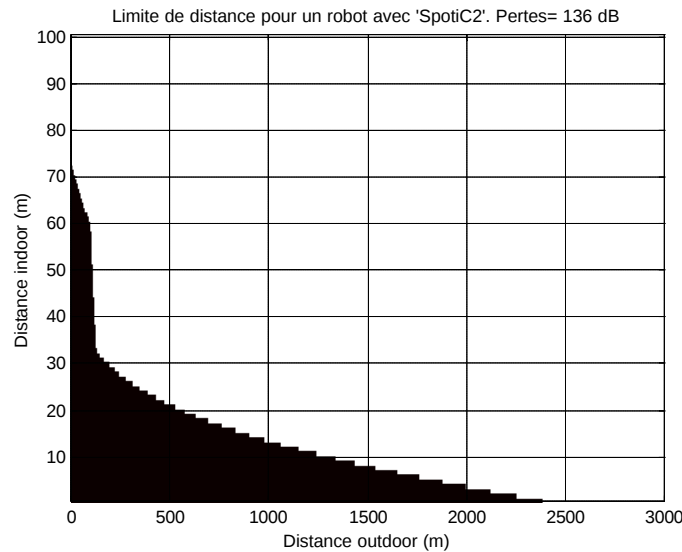


Fig.41. Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot que no quiere ser considerado como un radar.

En la parte de color negro, si se tiene un elemento interferente de tipo robot, el canal se bloqueará. Si se quiere que el sistema Hiperlan/2 pueda funcionar, hará falta que haya al menos 12 canales libres. Finalmente los resultados son parecidos que en el escenario 2.3, salvo que en este caso, la zona en la que se puede colocar el robot no es la misma.

Se ve que con la fórmula de pérdidas 'in/out' definida en II.3.7, no se podría salir de la zona negra nada más que poniendo el robot al menos a 15 Km cuando el punto de medida está a

menos de 10 m del exterior. Esto viene a ser muy restrictivo, sobre todo cuando se tiene el equipo de medida en el exterior, lo que implica que hay que poner el robot a al menos 25 Km.

Este problema se debe a una mala utilización de esta fórmula, que está más bien pensada para su utilización en interior. A partir de una cierta distancia en exterior, la fórmula dejará de ser interesante.

Con la fórmula 'SpotiC2', los resultados son mucho más favorables, puesto que para un equipo de medidas en exterior, la distancia mínima a la que se podrá colocar el robot se reducirá a solamente 2'5 Km, diez veces menos que con la fórmula 'in/out'.

También se puede observar que el hecho de aumentar la separación del PA del exterior (distancia indoor), entre 30 y 60 m, no hace variar realmente la distancia a la que se debe colocar el robot con respecto a la pared exterior (distancia outdoor).

Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que en los puntos en los que la distancia total es de 150 m aparece un término de pérdidas debido a la difracción en el suelo. Este término permite mantener el nivel de pérdidas requerido cuando se disminuye la distancia indoor, sin aumentar la distancia outdoor de forma proporcional. Se aprecia que hay un cambio de pendiente. Para más explicaciones sobre este término ver el párrafo II.3.8.

A partir de un cierto momento este término de pérdidas satura, y se vuelve a la pendiente que tenía la curva antes. La disminución de la distancia indoor, obligará a una fuerte aumentación de la distancia outdoor.

Se va a ver también aquí, como en el caso del escenario 2.3, las curvas precedentes pero incluyendo la sensibilidad del receptor. Como el robot va a ser siempre un elemento interferente para nuestro sistema Hiperlan/2 (se supone que no se va a poner en comunicación con la red civil), se desea que el nivel de potencia recibida esté por debajo de la sensibilidad del PA. Es por esto que se va a ver en las curvas siguientes, en que puntos se puede colocar el robot sin que sea reconocido por el PA.

Las curvas se calculan con la función " disttopertes2 ", cuyo código se encuentra en el anexo I, párrafo 2. Los valores que se han tomado para los diferentes umbrales son: 136 dB, 141'2 dB, 146'2 dB, 148'2 dB, 152'8 dB, 154'8 dB, 156'8 dB y 158'8 dB.

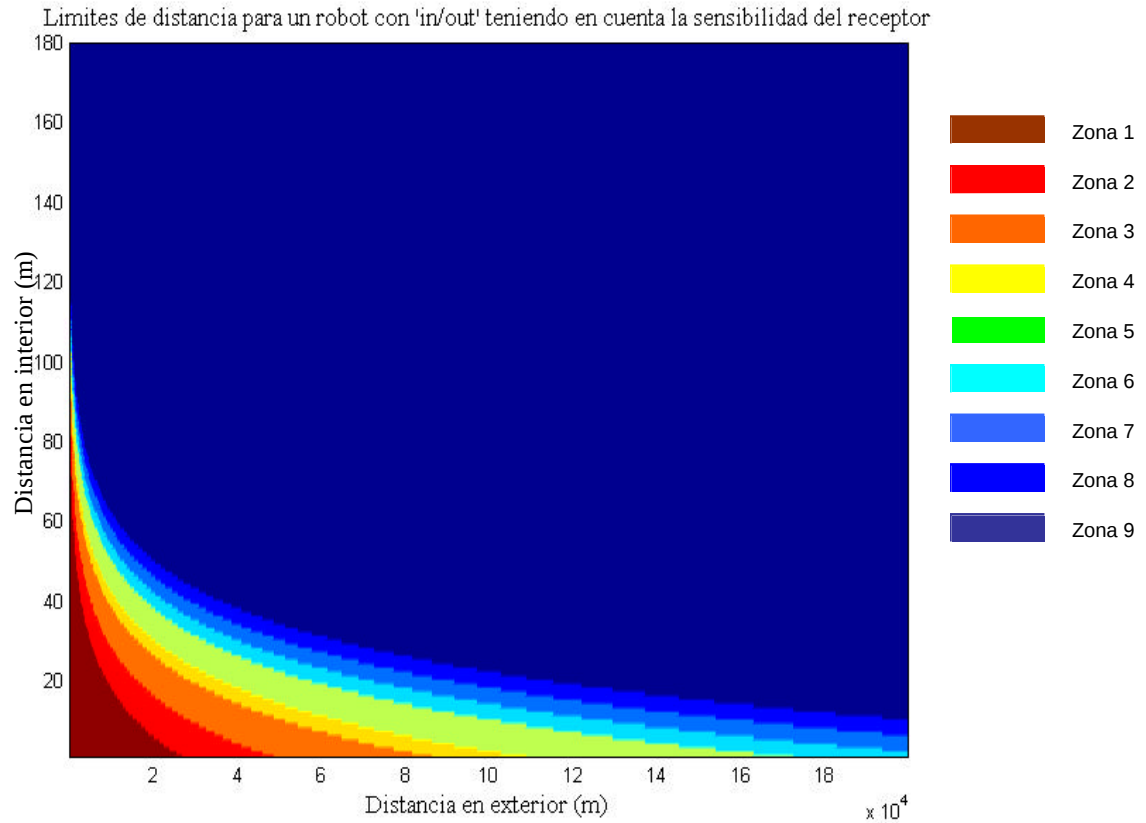


Fig.42. Límites de distancia con 'in/out' para un robot teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.

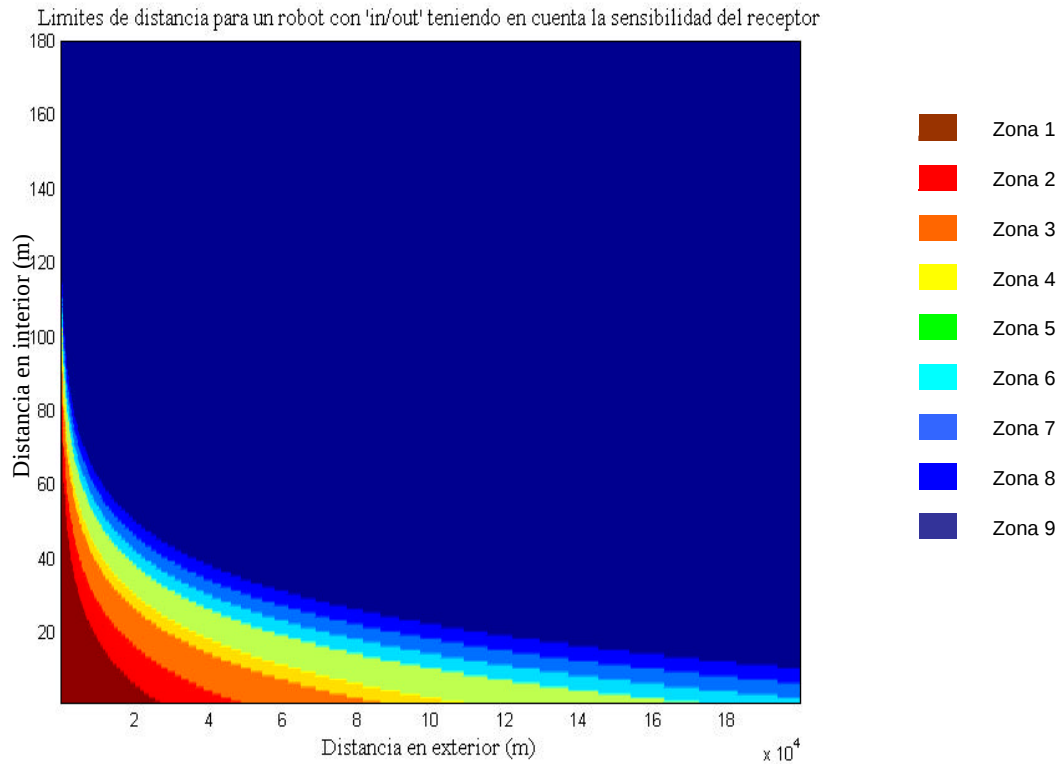


Fig.43. Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot teniendo en cuenta la sensibilidad del receptor.

La zona 1 es aquella en la que no se puede colocar el robot porque el nivel de pérdidas no es suficiente para que no sea detectado como si fuera un radar.

La zona 2 es aquella en la que no se puede colocar el robot si no se quiere interferir con la recepción de una señal Hiperlan/2 codificada a 54 Mbits/s o menos. Si se tiene un robot en esta zona no se estará por debajo del nivel de sensibilidad del receptor para este tipo de modulación que es de -68 dBm.

Para las zonas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se tiene la misma situación salvo que para codificaciones a 36, 27, 18, 12, 9 y 6 Mbits/s respectivamente. Los niveles de potencia admitidos en el receptor correspondientes a cada uno de los casos anteriores son -73 dBm, -75 dBm, -79 dBm, -81 dBm, -83 dBm y -85 dBm.

En la última zona, el equipo Hiperlan/2 estará fuera del alcance del robot. Las pérdidas soportadas por el robot serán de al menos 158'2 dB.

Se puede concluir en este escenario, que cuando hay un robot en los alrededores de un sistema Hiperlan/2 puede interferir con la puesta en marcha de la red.

Si el robot es detectado en la zona 1, es decir, más fuerte que -61dBm, el canal que ocupa estará bloqueado. Hay que añadir los canales bloqueados en este escenario a los bloqueados en los otros, y tener en cuenta que a partir de más de 7 canales bloqueados, la red Hiperlan/2 no puede establecerse.

Si el robot es detectado en otra zona, será molesto en cuanto a la calidad de la recepción, pero el sistema Hiperlan/2 podrá funcionar.

III.2.6 Ruido + Robot + Radar

En este escenario se tendrá en cuenta el ruido térmico, la señal del robot, como en el escenario precedente y la señal de radar. Para detectar la señal de radar con probabilidad igual a 1, se fijará el umbral de detección como en los escenarios precedentes a -62'8 dBm.

La probabilidad de falsa alarma, según la definición que se ha dado en el escenario III.2.2. será igual a 0 puesto que se tiene la señal radar.

Las señales del radar y del robot se van a mezclar. Para que el nivel de potencia medida no descienda por debajo del umbral de detección, hará falta mantener un cierto nivel de pérdidas para la señal del robot. Este nivel de pérdidas, igual a 136 dB, permitirá a la señal total permanecer por debajo del umbral de detección. El radar será, entonces, detectado siempre.

Las curvas que muestran las zonas en las que el robot puede colocarse se muestran en el escenario precedente.

Se puede decir entonces, para concluir, que el canal estará bloqueado. Como en los otros escenarios en los que había un radar, esto no impedirá que el sistema Hiperlan/2 funcione. Si por el contrario se tienen más de 7 canales bloqueados el sistema no funcionará.

III.2.7 Ruido + Hiperlan/2 + Robot

Este escenario incluye además del ruido térmico habitual, una señal OFDM Hiperlan/2 y otra señal OFDM de tipo robot. Estas señales van a sumarse, y van a estar por encima del umbral de detección si las pérdidas que sufren antes de llegar al equipo de medida no son suficientemente fuertes.

Las pérdidas que se deben obtener antes de llegar al punto de medida son del orden de 137 dB para el robot y 99 dB para el equipo Hiperlan/2. Se van a utilizar las dos fórmulas, 'in/out' y 'SpotiC2', que se han visto anteriormente para el cálculo de estas pérdidas.

Con la función "disttopertes" hemos encontrado las curvas siguientes en las que se muestran los límites de distancia para cada uno de los elementos interferentes.

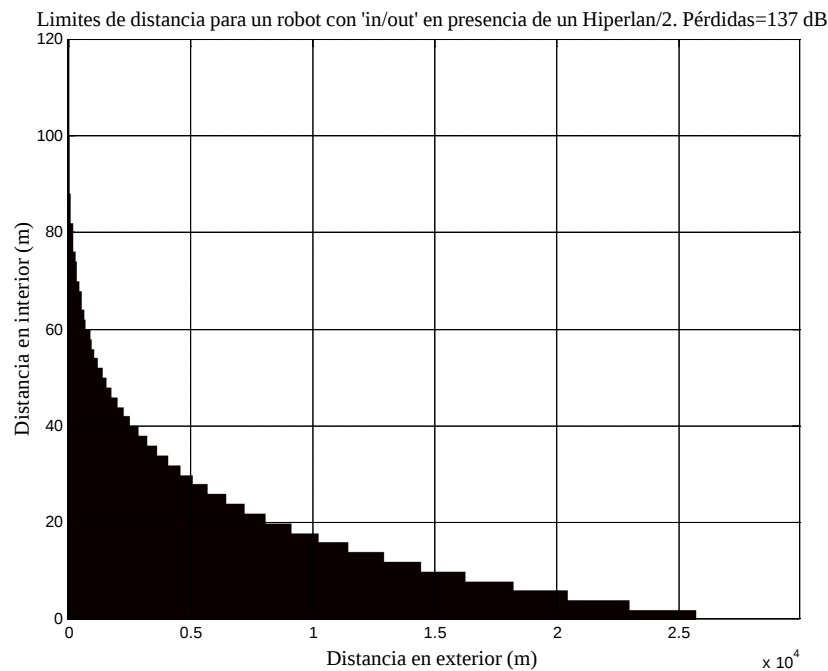


Fig.44. Límites de distancia con 'in/out' para un robot cuando hay un Hiperlan/2.

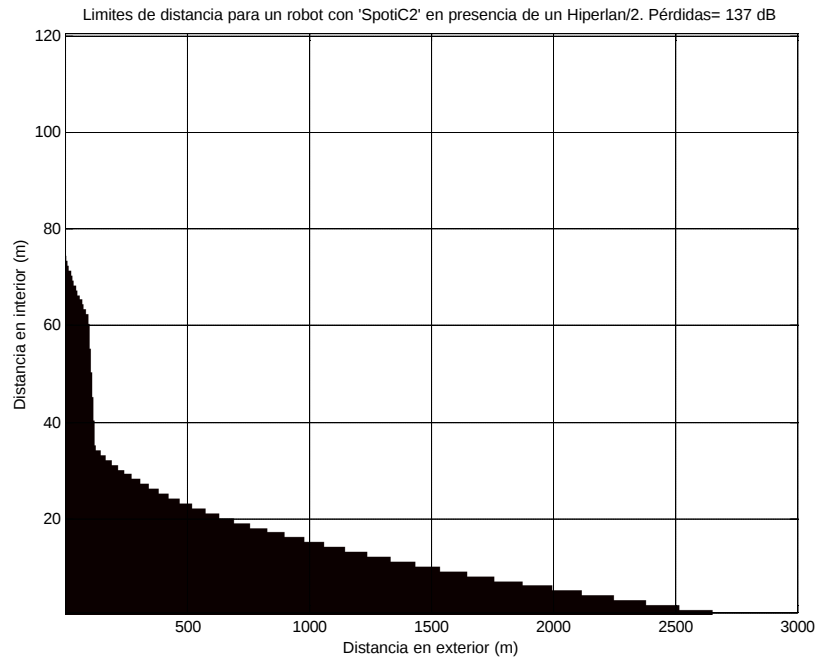


Fig.45. Límites de distancia con 'SpotiC2' para un robot cuando hay un Hiperlan/2.

Aquí, como en el escenario III.2.5, se aprecia que la fórmula 'SpotiC2' es mucho más favorable que 'in/out'. Esto se debe a la inclusión en la fórmula 'SpotiC2' de términos adicionales aplicables para largas distancias. Estos términos no han sido introducidos en 'in/out' porque la utilización de esta fórmula no está prevista nada más que para distancias cortas y más bien en interior.

El problema es que con la fórmula 'in/out' si el equipo de medidas está cerca de la pared exterior, el robot debería estar muy lejos (entre 15 Km y 25 Km) para que no sea detectado con más de -61 dBm. Con la fórmula de pérdidas 'SpotiC2', las distancias disminuyen a alrededor de 1'5 a 2'5 Km.

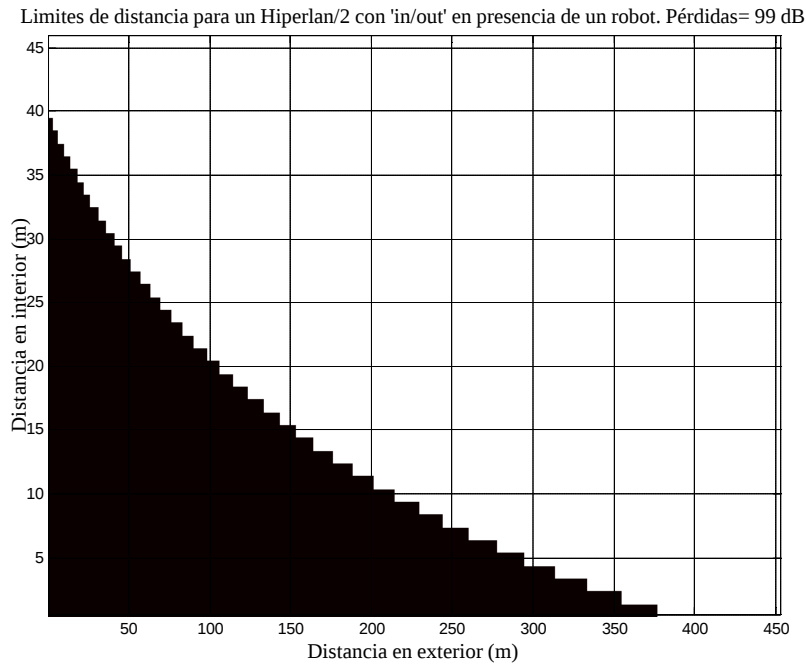


Fig.46. Límites de distancia con 'in/out' para un Hiperlan/2 con un robot.

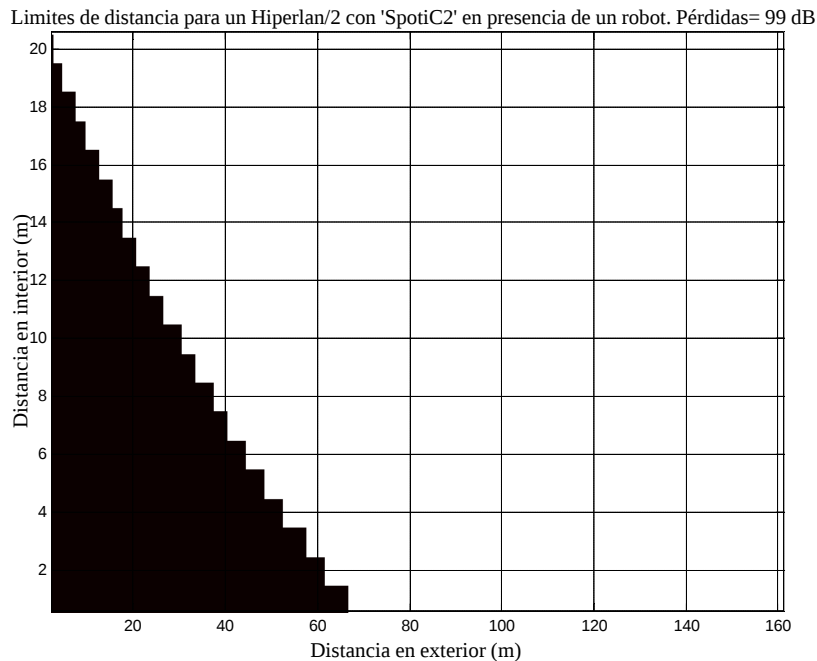


Fig.47. Límites de distancia con 'SpotiC2' para un Hiperlan/2 con un robot.

Se deberá también considerar en este caso, las curvas que muestran los niveles de pérdidas requeridos para que el equipo Hiperlan/2 sea escuchado por el PA y el robot no sea escuchado.

En este escenario el elemento interferente no es el ruido térmico solamente, sino también el robot. Según la definición dada en el párrafo I.3.7, la sensibilidad se establece para el caso en el que no hay multitrayectos ni ruidos adicionales. Entonces, se van a calcular los nuevos niveles de sensibilidad en función de la potencia recibida por parte del robot.

La realización de curvas como en la Fig.42 se hace muy complicado. El problema principal es la gestión de todos los parámetros posibles. Habría que fijar las coordenadas del robot o del equipo Hiperlan/2. Con estas coordenadas se podría calcular las pérdidas correspondientes y representar las curvas para la localización del otro elemento.

Esta tarea parece poco importante en este punto de las prácticas y podría verse en una posible continuación partiendo de la función " disttopertes2 ".

La conclusión para este escenario es parecida que para el resto de los escenarios precedentes. Habrá que tener al menos 12 canales libres para que el sistema Hiperlan/2 pueda funcionar. Los niveles de pérdidas requeridos en este escenario son superiores a aquellos de los escenarios precedentes. La causa de esta aumentación es la suma de las diferentes señales. La probabilidad de bloqueo de canal será entonces más elevada en las mismas condiciones para cada elemento interferente.

III.2.8 Ruido + Hiperlan/2 + Robot + Radar

En el último escenario tendremos el ruido térmico, más las señales Hiperlan/2 y el robot, y además, el radar.

En este caso, se ve que como en los escenarios precedentes en los que hay un radar, la probabilidad de falsa alarma es nula. Esta afirmación está fundada en la definición de probabilidad de falsa alarma que hemos dado en el escenario III.2.2.

La probabilidad de detección del radar debe ser máxima, es decir, igual a 1. Para ello, fijaremos el umbral de detección a -62.8 dBm. Para evitar los casos en los que el radar no es detectado, hace falta que las interferencias que se añaden a la señal sean débiles. Habrá que tener en cuenta el nivel de pérdidas necesario para el robot y el equipo Hiperlan/2 para que la potencia

de la señal global no descienda por debajo del umbral de detección. Los niveles necesarios encontrados son de 137 dB para el robot y de 99 dB para el Hiperlan/2.

En este escenario, el canal del radar estará bloqueado. Para el sistema Hiperlan/2, como se ha visto previamente, no es una molestia muy importante si no hay otros canales bloqueados. Si el número de canales bloqueados excede de 7, el sistema Hiperlan/2 fracasará en su puesta en marcha. Un canal bloqueado implica también un PA menos en el sistema.

III.3 Referencias

[1] ETSI/BRAN27d113 Detection and Avoidance of Radars by RLANs in the 5GHz Band, 15-02-2002, HL Spectrum Group, Harmonised Standard, Intel Corporation.

[2] Document BRAN23dzz, Sample Radar Test Signal for the testing of DFS in HIPERLAN Type 2, 05-04-2001, Référence: SE36(01)24rev1

Conclusiones

Para concluir con la memoria de este proyecto me gustaría resaltar los resultados más importantes que se pueden extraer de lo estudiado hasta el momento.

En el capítulo I se desarrollan los mecanismos por los que diversos sistemas de radiocomunicación realizan su control de interferencias en el canal y procuran seleccionar para su uso, canales libres de utilización por parte de otros equipos. El problema que se nos ha planteado en esta fase es poder determinar como realiza este proceso el terminal móvil de un sistema Hiperlan/2, puesto que en los documentos encontrados que tratan de este sujeto las únicas indicaciones que se dan es que el terminal puede realizar dicho proceso de cualquier forma que decida el fabricante con la única condición de que cumpla con unas pruebas de verificación que consisten en que cumpla con los umbrales de sensibilidad a las interferencias y que sea capaz de realizar medidas de potencia en el mismo u otro canal utilizando los métodos: "short", "percentiles" y "complete".

En el capítulo II se han desarrollado varias fórmulas para los términos de pérdidas en la banda de frecuencias de 5 GHz, que comportan para nosotros la dificultad de elegir aquellos que pueden corresponderse con la realidad a la vez que se mantiene un cierto nivel de generalidad en cada uno de los casos, ya que realizamos un estudio genérico en el que no se tiene situado a ciencia cierta los puntos de origen y destino de la comunicación. La fórmula 'SpotiC', producto de un desarrollo realizado, como hemos citado anteriormente, por M. Michel TERRÉ, requiere una adaptación para diversos casos particulares, aunque en este estudio sólo se haya utilizado la eliminación del obstáculo de "hoja de cuchillo" por no tener una localización exacta para este, y la variación del término de pérdidas por absorción, fijo en el original, que pasa a ser variable con la distancia recorrida en interior.

Finalmente, en el capítulo III, se puede obtener la siguiente tabla resumen de los diferentes escenarios, en la que quedan recogidos los distintos valores que podría tomar el umbral de detección para cada caso. Éste, en realidad es fijo para cada equipo del sistema, por lo que

aunque en la tabla aparezcan diversos valores, es sólo a título orientativo, teniendo que tomarse el más alto posible, o sea, -62,8 dBm en este caso. De esta manera, el equipo de medida no detecta el radar, que se encuentra a -61 dBm, y al mismo tiempo puede recibir la señal en el máximo de los casos posibles ya que se mantiene el umbral lo más ajustado posible.

<i>Escenario</i>	<i>Umbral de detección</i>	<i>Nivel de pérdidas requerido</i>	<i>Problemas</i>
Ruido	-94'8 dBm ¹	Ninguno (0 dB)	Ninguno
Ruido + Radar	-62'8 dBm	Indiferente	Canal siempre bloqueado
Ruido + Hiperlan/2	-62'8 dBm	99 dB ²	Posibilidad de bloqueo de canal
Ruido + Hiperlan/2 + Radar	-62'8 dBm	99 dB ³	Canal siempre bloqueado
Ruido + Robot	-62'8 dBm	136 dB ⁴	Posibilidad de bloqueo de canal
Ruido + Robot + Radar	-62'8 dBm	136 dB ⁵	Canal siempre bloqueado
Ruido + Hiperlan/2 + Robot	-62'8 dBm	99 dB ⁶ y 137 dB ⁷	Posibilidad de bloqueo de canal
Ruido + Hiperlan/2 + Robot + Radar	-62'8 dBm	99 dB ⁸ y 137 dB ⁹	Canal siempre bloqueado

Fig.48. Tabla resumen de los escenarios

Por otro lado, tenemos además una serie de puntos que podrían desarrollarse a continuación de este trabajo pero que no están aún demasiado perfilados en los documentos que regulan esta tecnología. Sería conveniente realizar simulaciones con diferentes tipos de señales radar reales, en función de la posible utilización de estos sistemas según el entorno y las características de las señales presentes.

Con la realización de estas simulaciones, se podría estudiar en cada caso concreto las posibilidades de funcionamiento de un sistema colocado en ese emplazamiento y con unas características determinadas, simplemente variando la definición de la señal que se utilizó para

¹ El hecho de haber tomado aquí este umbral de detección no quiere decir que se haya fijado en el equipo de medida. El umbral debe permanecer fijo y éste no es válido para los otros escenarios. Se muestra como un umbral mínimo que no es válido que para este caso.

² Para Hiperlan/2.

³ Para Hiperlan/2.

⁴ Para el robot.

⁵ Para el robot.

⁶ Para el Hiperlan/2.

⁷ Para el robot.

⁸ Para el Hiperlan/2.

⁹ Para el robot.

simular el radar en los distintos escenarios e incluyendo los términos adicionales de pérdidas que pudieran ser necesarios debido a los obstáculos concretos presentes en dicho escenario.

Para hacer un estudio intermedio, en el que se alcance una cierta practicidad sin por ello tener datos demasiado concretos podrían estudiarse los casos propuestos en algunos nuevos artículos que tratan de las funciones de distribución de radares y equipos Hiperlan/2 en el espacio físico. Dichos artículos están todavía en estudio en la ITU, de los cuales dos ejemplos interesantes son:

- [1] Technical considerations and algorithms for the implementation of Dynamic Frequency Selection (DFS) in the presence of emissions from radiodetermination radars in the band 5250-5950 MHz, ITU Radiocommunication Study Group, Document 8B/218-E, 19-04-2002.
- [2] Wireless Access Systems (WAS), Including RLANs & Radar Deployment Scenario at 5 GHz for Analysis of Sharing, Charles Glass, BRAN29d026, 17-06-2002.

En el primero de ellos se hace referencia a los distintos tipos de radar que podemos encontrar, del tipo A al E, cuyas características se muestran en la tabla de la siguiente página.

Radar	A	B	C	D	E
PIRE máxima	98'6 dBW	26 dBW	60 dBW	93 dBW	97 dBW
Designación de la Emisión	3M00PON	15M5PON AN	30M0PON	14M0PON	3M00PON
PRF (pps)	300	1200-1300	160-1650	2000-3000	300
Ancho de Pulso (μ s)	5	0'5-1	0'25-1	0'25	2
Ganancia de Antena (dBi)	40	0	46	43	43
Emplazamiento	TRANS	MÓVIL	FIJO	TRANS	FIJO
Rango de sintonización (MHz)	5300-5600	5700-5800	5400-5820	5250-5850	5600-5650
Operacional o de prueba	Ambos	Operacional	Operacional	Ambos	Operacional
Toma aérea	No	Sí	No	No	No

Fig.49. Tabla de características de los radares en la banda de 5GHz,[1] Pg. 2.

Radar	Vigilancia meteorológica	Navegación/Búsqueda en superficie	Seguimiento
Intervalo típico de búsqueda de rayo (seg)	20;30;60;360 en búsqueda cónica;	2	No hay búsqueda
Interrupción de la búsqueda de rayo	Sí	No	No

Fig.50. Características de antenas de búsqueda de rayoen sistemas radar en la banda de 5 GHz,[1] Pg.2.

En función de las características de cada tipo de radar y de los períodos de rotación de sus antenas hay que ajustar el algoritmo de DFS para que se asegure al menos que existe un pulso

comprendido en el intervalo de medida. En el caso de los radares de vigilancia meteorológica, este período puede llegar a ser de hasta 6 intervalos de 1 minuto, lo que tiene consecuencias desastrosas para la puesta en marcha de un sistema Hiperlan/2 en la que hay que hacer una primera vigilancia de todos los canales para detectar la presencia de un posible radar, lo que nos conduce a un tiempo de inicio de 12 veces 6 minutos, más de 1 hora, para empezar los procesos de conexión entre los TMs y el PA en un nuevo sistema.

En el segundo documento se dan directivas para el estudio de un escenario:

1. Determinación de los parámetros de entrada
 - a. Selección del Radar a simular
 - b. Selección de la implementación del Sistema de Acceso sin Hilos
 - c. Selección de los parámetros temporales para la simulación
2. Cálculo de la interferencia
 - a. Para cada prueba realizar un historial de los niveles de interferencia en términos de relación nivel de interferencia a nivel de ruido
3. Análisis del cálculo de interferencia
 - a. Comparación de los niveles calculados de interferencia con, por ejemplo, los umbrales de los equipos Hiperlan/2.

Posteriormente se habla de las pérdidas en el canal de propagación, en el que se admite que las pérdidas dominantes en largos recorridos, son las pérdidas por espacio libre, siendo mucho menores las debidas a otros obstáculos como los árboles o los edificios. Se proponen dos valores, según el tipo de sistema radar, para las pérdidas debidas a la travesía por un edificio, 13 dB y 17 dB.

También se introduce un término, el "factor de rechazo dependiente de la frecuencia" que atenúa las interferencias y que es dependiente de los anchos de banda utilizados por los

sistemas radar e Hiperlan/2. Este factor se divide en dos términos, de los cuales uno de ellos es 0 dB para sistemas operando en la misma frecuencia y el otro se rige por la fórmula siguiente:

$$OTR \approx \max \left\{ 0, 10 \log \left(\frac{B_T}{B_R} \right) \right\}$$

con B_R el ancho de banda del receptor interferido y B_T el del transmisor interferente.

Para terminar, en el documento se hace un estudio de la distribución de la población en una ciudad y del número de usuarios que demandan servicios según el tipo de utilización, empresa o privada, y del rango de introducción en el mercado.

Se puede ver en las siguientes tablas los datos que aportan acerca del número de usuarios y la densidad de puntos de acceso:

Region	Radio (Km)	Población	Área (Km ²)	Densidad de población (Usuarios/Km ²)	Densidad de mercado	Densidad de WAS (Usuarios/Km ²)	Número de canales
Urbana	3,5	3000000	38,5	77922	30%	23376	19
Empresa		1979719		70000	30%		
Uso público		1020281		100000	20%		
Suburbana	20	1750000	1218,2	1437	30%	430	19
Empresa		371605	5,3	70000	30%		
Uso público		1061729	10,6	100000	20%		
Residencial		316666	1202,2	263,4	30%	79	19
Rural	31,7	500000	1898,6	263	30%	79	19
Residencial		500000	1898,6	263,4	30%		

Fig.51. Características de distribución de población y de clientes del servicio WAS,[2] Pg.8.

Region	Usuarios por PA	Factor de actividad	Densidad de PA/Km ² WAS PA WAS	WAS en cocanal
Urbana	5	1	1230	246
Suburbana	5	1	22	5
Rural	1	1	4	4

Fig.52. Determinación del número de puntos de acceso WAS en cocanal,[2] Pg.8

Normalmente hay 10 usuarios por PA, sin embargo, se están diseñando redes que permiten una mayor densidad de PAs sin que se produzcan errores debidos a las interferencias entre ellos, lo que permite un mayor caudal para cada usuario.

El resto de disquisiciones llevadas a cabo en el documento, como la determinación del algoritmo DFS, la dirección en la que el sistema radar apunta o el tiempo requerido para la simulación quedan aún en el aire.

ANEXO I: Códigos de las simulaciones Matlab**1 Código de la función "cálculo de probabilidad"**

Esta función calcula para los distintos escenarios cuales son las probabilidades de falsa alarma y de detección. Si se varían los valores utilizados para definir las señales Hiperlan/2 y de tipo robot, se obtienen resultados en los que la probabilidad de falsa alarma es prácticamente nula y la de detección se aproxima a la unidad. Estos valores finales que se han introducido en la definición de la señal son los que se utilizarán en las funciones "disttopertes" y "disttopertes2" para los umbrales de pérdidas. En este código hemos dejado además como comentario algunas versiones previas en las que se vio que los resultados no eran coherentes con lo esperado.

```
%Modificación de la señal radar; Señal de pulsos cuadrados, potencia a la
recepción de -61 dBm
clear all;
close all;
Np=64; %Número de portadoras en OFDM Hiperlan/2
G=16; %Prefijo cíclico
Nb=Np; %Número de símbolos por símbolo OFDM
OFDM=[];
rob=[];

for t=1
    fH=5320*1e6; %Frecuencia de funcionamiento
    c=3e8; %Velocidad de la luz
    lambda=c/fH; %Longitud de onda

    %Generación de símbolos qam
    for p=1:26
        c=(round(rand(2*Nb,1))); %Secuencia aleatoria
        for m=1:Nb
            if ((c(m)==0)&(c(m+1)==0)) %Modulación de la secuencia a qam
```

```

        qam(m)=-1-j;
    elseif ((c(m)==0)&(c(m+1)==1))
        qam(m)=-1+j;
    elseif ((c(m)==1)&(c(m+1)==0))
        qam(m)=1-j;
    else
        qam(m)=1+j;
    end;
end;

qam=qam./sqrt(2);
%Cálculo de la modulación OFDM
for l=1:Np
    for k=1:Np
        IDFT(l,k)=exp(j*2*pi*(l-1)*(k-1)/Np);
    end;
end;

GI=[zeros(G,Np-G),eye(G);eye(Np)];
s=GI*IDFT*qam';
OFDM=[OFDM;s];
end;
Pofdm(t)=10*log10(sum(abs(OFDM).^2)/size(OFDM,1));
OFDM=sqrt(10^((23-(-103.8)-99-Pofdm(t))/10))*OFDM;
    %Señal qam con amplitud en funcion de las pérdidas, se busca una potencia
    en función de la potencia de ruido.El -103.8 es el nivel absoluto de ruido.
    99 son las pérdidas que ponemos

for p=1:26          %Ahora la señal del robot
    c=(round(rand(2*Nb,1)));
    for m=1:Nb
        if ((c(m)==0)&(c(m+1)==0))    %Modulación de la secuencia a qam
            qam(m)=-1-j;
        elseif ((c(m)==0)&(c(m+1)==1))
            qam(m)=-1+j;
        elseif ((c(m)==1)&(c(m+1)==0))
            qam(m)=1-j;
        else
            qam(m)=1+j;
        end;
    end;
    qam=qam./sqrt(2);
    %Cálculo de la modulación OFDM
    for l=1:Np
        for k=1:Np
            IDFT(l,k)=exp(j*2*pi*(l-1)*(k-1)/Np);
        end;
    end;

    GI=[zeros(G,Np-G),eye(G);eye(Np)];
    s=GI*IDFT*qam';
    rob=[rob;s];
    end;
    Prob(t)=10*log10(sum(abs(rob).^2)/size(rob,1));
    eta=0.5;
    D=0.2;
    Ge=10*log10(eta*(pi*D/lambda)^2);
    rob=sqrt(10^((40-(-103.8)-135+Ge-Prob(t))/10))*rob;

```

%Señal qam con amplitud en funcion de las pérdidas, se busca una potencia en función de la potencia de ruido.El -103.8 es el nivel absoluto de ruido.135 son las pérdidas que ponemos

```

fin=1000; %Número de iteraciones para el cálculo de la probabilidad
seuil=41; %Umbral fijado a 41
h=OFDM;
r=[125.89*ones(1,100),zeros(1,144344)]; %Modelo de la señal radar
for d=1:2
    r=[r,125.89*ones(1,100),zeros(1,144344)]; %Prolongamos la señal radar
    para poder hacer cálculos probabilísticos
end;
r=r'; %Trasponemos

N=10; %Número de muestras en 100 ns
%Bucle para cada situación según el número de muestras que caen donde la
señal de radar no vale cero
k=0;
alea2=floor(10*rand(1)); %Número aleatorio de 0 a 10
m=alea2+1; %Para evitar que el índice valga 0
k=k+1; %Para evitar que el índice valga 0
Pfabnr(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma cuando solo hay ruido
Pfaf(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + señal Hiperlan/2 +
radar
Pdetrh(t,k)=0; %Probabilidad de detección con ruido + señal Hiperlan/2 +
radar
Pfabnr(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + señal Hiperlan/2
Pdetrnh(t,k)=0; %Probabilidad de detección con ruido + radar
Pfarobnr(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + robot
Pfarobhnr(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + señal Hiperlan/2 +
robot
Pfarob(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + robot + radar
Pdetrrob(t,k)=0; %Probabilidad de detección con ruido + robot + radar
Pfarobh(t,k)=0; %Probabilidad de falsa alarma con ruido + señal Hiperlan/2 +
robot + radar
Pdetrrobh(t,k)=0; %Probabilidad de detección con ruido + robot + Hiperlan/2 +
radar

for i=1:fin
    alea=floor(1600*rand(1)); %Se calcula un punto aleatorio en el que
    empezar a tomar las señales Hiperlan/2 y ruido para comparar con el radar
    r2=[r(m:m+(N-1),1)]; %Selección de un trozo de la señal radar
    rob2=[rob(alea+1:alea+1+(N-1),1)]; %Selección de un trozo de la señal
    robot
    h2=[h(alea+1:alea+1+(N-1),1)]; %Selección de un trozo de la señal
    Hiperlan/2
    noise=(randn(N,1)+j*randn(N,1));

    Prb(k)=10*log10(sum(abs(r2+noise).^2)/N); %Potencia de radar más ruido
    Phb(k)=10*log10(sum(abs(h2+noise).^2)/N); %Potencia de señal Hiperlan/2
    más ruido
    %Pr(k)=10*log10(sum(abs(r2).^2)/N); %Potencia de radar
    %Ph(k)=10*log10(sum(abs(h2).^2)/N); %Potencia de señal Hiperlan/2
    Pb(k)=10*log10(sum(abs(noise).^2)/size(noise,1)); %Potencia de ruido
    Prhb(k)=10*log10(sum(abs(r2+h2+noise).^2)/N); %Potencia de señal completa
    Probb(k)=10*log10(sum(abs(rob2+noise).^2)/N); %Potencia de robot más
    ruido

```

```

    Probhb(k)=10*log10(sum(abs(rob2+h2+noise).^2)/N); %Potencia de robot más
    Hiperlan/2 más ruido
    Probr(k)=10*log10(sum(abs(rob2+r2+noise).^2)/N); %Potencia de ruido más
    robot más radar
    Probrhb(k)=10*log10(sum(abs(rob2+r2+h2+noise).^2)/N); %Potencia de ruido
    más robot más radar más Hiperlan/2

%Si la potencia de ruido es más fuerte que el umbral y la potencia de radar
más ruido no lo es habrá falsa alarma
%Este caso es casi imposible porque hay demasiada diferencia entre los dos
niveles de potencia
    if (Pb(k)>=seuil)%&(Prb(k)<seuil)
        Pfabnr(t,k)=Pfabnr(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia del radar más ruido es superior al umbral, se detectará el
radar
    if Prb(k)>=seuil
        Pdetrn(t,k)=Pdetrn(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia de la señal Hiperlan/2 más radar más ruido es más fuerte que
el umbral y la potencia del radar no lo es, se tendrá falsa alarma, y si lo
es se habrá detectado el radar
    if ((Prhb(k)>=seuil)&(Prb(k)<seuil))
        Pfah(t,k)=Pfah(t,k)+1/fin;
    elseif ((Prhb(k)>=seuil)&(Prb(k)>=seuil))
        Pdetrh(t,k)=Pdetrh(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia de la señal Hiperlan/2 más ruido es superior al umbral se
producirá falsa alarma
    if (Phb(k)>=seuil)
        Pfahnr(t,k)=Pfahnr(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia del robot más ruido es superior al umbral se tendrá falsa
alarma
    if (Probb(k)>=seuil)
        Pfarobnr(t,k)=Pfarobnr(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia de la señal Hiperlan/2 más el robot más el ruido está por
encima del umbral aparecerá una falsa alarma
    if (Probhb(k)>=seuil)
        Pfarobhnr(t,k)=Pfarobhnr(t,k)+1/fin;
    end

%Si la potencia del robot más radar más ruido es más fuerte que el umbral y
la potencia del radar no lo es, se tendrá falsa alarma, y si lo es se habrá
detectado el radar
    if ((Probr(k)>=seuil)&(Prb(k)<seuil))
        Pfarob(t,k)=Pfarob(t,k)+1/fin;
    elseif ((Prb(k)>=seuil)&(Probr(k)>=seuil))
        Pdetrrob(t,k)=Pdetrrob(t,k)+1/fin;
    end
end

```

```
%Si la potencia de la señal Hiperlan/2 más radar más ruido más robot es más
fuerte que el umbral y la potencia del radar no lo es, se tendrá falsa
alarma, y si lo es se habrá detectado el radar
```

```
    if ((Probrhb(k)>=seuil)&(Prb(k)<seuil))
        Pfarobh(t,k)=Pfarobh(t,k)+1/fin;
    elseif ((Probrhb(k)>=seuil)&(Prb(k)>=seuil))
        Pdetrrobh(t,k)=Pdetrrobh(t,k)+1/fin;
    end
```

```
end
```

```
%Número de muestras
```

```
%tot=142857; %Número de muestras entre cada pulso del radar
```

```
%Pevent=[91/tot,(2/tot)*ones(1,9),142748/tot]; %Probabilidad de que haya
cada número de muestras en el pulso de radar
```

```
%Pevent2=Pevent*(25.71428e-3/10); %Resultado de ponderar Pevent por la
probabilidad de estar en la parte de la señal radar en la que hay pulsos
```

```
Pdetrnh=max(Pdetrnh,[],2) %Para obtener resultados coherentes se toma la
probabilidad mayor de las medidas en las múltiples muestras realizadas
```

```
Pdetrh=max(Pdetrh,[],2)
```

```
Pdetrrob=max(Pdetrrob,[],2)
```

```
Pdetrrobh=max(Pdetrrobh,[],2)
```

```
Pfabnr=max(Pfabnr,[],2)
```

```
Pfah=max(Pfah,[],2)
```

```
Pfahnr=max(Pfahnr,[],2)
```

```
Pfarobnr=max(Pfarobnr,[],2)
```

```
Pfarobhnr=max(Pfarobhnr,[],2)
```

```
Pfarob=max(Pfarob,[],2)
```

```
Pfarobh=max(Pfarobh,[],2)
```

```
%Este método ha quedado desestimado por los resultados incorrectos que
presenta, ya que al considerar todo el espacio no nos atenemos al principio
que rige el algoritmo
```

```
%Pfabnrd(t)=sum(Pfabnr(t,:).*Pevent2)+Pfabnr(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pdetrnhd(t)=sum(Pdetrnh(t,:).*Pevent2)+Pdetrnh(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pfahd(t)=sum(Pfah(t,:).*Pevent2)+Pfah(t,11)*(1-25.71428e-3/10); %Proba de
fausse alarme globale
```

```
%Pdetrhd(t)=sum(Pdetrh(t,:).*Pevent2)+Pdetrh(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Proba de détection globale
```

```
%Pfahnrd(t)=sum(Pfahnr(t,:).*Pevent2)+Pfahnr(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pfarobnrd(t)=sum(Pfarobnr(t,:).*Pevent2)+Pfarobnr(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pfarobd(t)=sum(Pfarob(t,:).*Pevent2)+Pfarob(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pdetrrobd(t)=sum(Pdetrrob(t,:).*Pevent2)+Pdetrrob(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pfarobhd(t)=sum(Pfarobh(t,:).*Pevent2)+Pfarobh(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
%Pdetrrobhd(t)=sum(Pdetrrobh(t,:).*Pevent2)+Pdetrrobh(t,11)*(1-25.71428e-3/10);
```

```
end
```

2 Código de la función "disttopertes"

```

close all;
clear all;
fH=5320*1e6;           %Frecuencia del canal
c=3e8;                 %Velocidad de la luz
lambda=c/fH;           %Longitud de onda
seuil=137;              %Pérdidas mínimas requeridas
y=0;
for i=1:2:120           %Distancia en interior
    y=y+1;              %Índice para la distancia en interior
    x=0;
    for o=1:100:35000    %Distancia en exterior
        x=x+1;          %Índice para la distancia en exterior
        pertes(y,x)=0.5*i+10*log10(((4*pi*(i+o))/lambda)^2); %Pérdidas 'in/out'
        spoti(i,o)=10*log10(1/SpotiC2(fH,10,1.5,0,(o+i),0,i)); %Pérdidas 'SpotiC2'

        if (pertes(y,x)<seuil)                %Verificación del umbral con 'in/out'
            mat(y,x)=0;
        else
            mat(y,x)=10000;
        end

        if (spoti(y,x)<seuil)                %Verificación del umbral con 'SpotiC2'
            mat2(y,x)=0;
        else
            mat2(y,x)=10000;
        end
    end
end

colormap(hot)           %Representación gráfica de los resultados
image(1:100:35000,1:2:120,mat)
figure;
colormap(hot)
image(1:100:35000,1:2:120,mat2)

```

3 Código de la función "disttopertes2"

```

close all;
clear all;
fH=5320*1e6;           %Frecuencia del canal
c=3e8;                 %Velocidad de la luz
lambda=c/fH;           %Longitud de onda
seuil1=136;             %Pérdidas mínimas requeridas
seuil2=141.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 1er umbral de sensibilidad
seuil3=146.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 2do umbral de sensibilidad
seuil4=148.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 3er umbral de sensibilidad
seuil5=152.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 4to umbral de sensibilidad
seuil6=154.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 5to umbral de sensibilidad
seuil7=156.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 6to umbral de sensibilidad
seuil8=158.2;           %Pérdidas máximas antes de alcanzar el 7mo umbral de sensibilidad
y=0;
for i=1:180             %Distancia en interior
    y=y+1               %Índice para la distancia en interior
    x=0;
    for o=1:200:200000   %Distancia en exterior
        x=x+1;          %Índice para la distancia en exterior
    end
end

```

```

pertes(y,x)=0.5*i+10*log10(((4*pi*(i+o))/lambda)^2); %Pérdidas 'in/out'
spoti(y,x)=10*log10(1/SpotiC2(fH,10,1.5,0,(o+i),0,i)); %Pérdidas 'SpotiC2'

if (pertes(y,x)<seuil1)                                %Verificaciones de los umbrales con 'in/out'
    mat(y,x)=0;
elseif ((seuil1<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil2))
    mat(y,x)=1000;
elseif ((seuil2<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil3))
    mat(y,x)=2000;
elseif ((seuil3<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil4))
    mat(y,x)=3000;
elseif ((seuil4<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil5))
    mat(y,x)=4000;
elseif ((seuil5<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil6))
    mat(y,x)=6000;
elseif ((seuil6<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil7))
    mat(y,x)=7000;
elseif ((seuil7<=pertes(y,x))&(pertes(y,x)<seuil8))
    mat(y,x)=8000;
else
    mat(y,x)=9000;
end

if (spoti(y,x)<seuil1)                                %Verificaciones de los umbrales con 'SpotiC2'
    mat2(y,x)=0;
elseif ((seuil1<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil2))
    mat2(y,x)=1000;
elseif ((seuil2<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil3))
    mat2(y,x)=2000;
elseif ((seuil3<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil4))
    mat2(y,x)=3000;
elseif ((seuil4<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil5))
    mat2(y,x)=4000;
elseif ((seuil5<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil6))
    mat2(y,x)=6000;
elseif ((seuil6<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil7))
    mat2(y,x)=7000;
elseif ((seuil7<=spoti(y,x))&(spoti(y,x)<seuil8))
    mat2(y,x)=8000;
else
    mat2(y,x)=9000;
end

end

colormap(hsv)                                          %Representación gráfica de los resultados
pcolor(1:200:200000,1:180,mat)
shading interp
colormap(flipud(jet))
figure;
pcolor(1:200:200000,1:180,mat2)
shading interp
colormap(flipud(jet))

```

4 Código de la función "SpotiC2"

```
function [L]=SpotiC2(f,hb,hm,ho,d,d1,dind)
% SpotiC2(f,hb,hm,ho,d,d1,dind)
% Fórmula de pérdidas inventada para spoti en interior y exterior
% Banda de 4.4-5 GHz, de 20m a 50 km
% Ads: Difracción por el suelo
% Ado: Difracción por obstáculo
% Aab: Absorción
% Afg: Margen de fading
% f en Hz
% hb,hm,ho,d,d1,dind en metros
%
% Difracción por el suelo
Ads=DiffSol(f,hb,hm,d);
% Difracción por obstáculo
Ado=DiffObst2(f,hb,hm,ho,d,d1);
% Absorción por obstáculo
Aab=10^(-0.5*dind/10);
% Margen de fading (15 dB)
Afg=10^(-1.5);
% Pérdidas de espacio libre
El=EspaceLibre(f,d);

L=Ads*Ado*Aab*Afg*El;
```

ANEXO II: Sobre las fórmulas de propagación utilizadas para el estudio de compartición de canales SPOTI (M. Michel TERRE)

1 Notaciones

f : frecuencia en MHz

d : distancia en Km

h_b : altura de la antena de recepción en m

h_m : altura de la antena de emisión en m

Las pérdidas se dan directamente en dB .

2 En todas las bandas de frecuencia

Espacio libre

$$L_{EL} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

3 En la banda [1'3 GHz – 2'7 GHz]

Okumura Hata en rural [3]

$$L_{OH} = 69'55 + 26'16 \log(f) - 13'82 \log(h_b) - a + (44'9 - 6'55 \log(h_b)) \log(d) - 4'78 (\log(f))^2 + 18'33 \log(f) - 35'94$$

$$a = (11 \log(f) - 0'7) h_m - (1'56 \log(f) - 0'8)$$

se añade un término correctivo para utilizar el modelo en entorno rural:

$$L_{OH(rural)} = L_{OH} - 4'78 [\log(f)]^2 + 18'33 \log(f) - 40'94$$

Cost231 HATA en urbano [3]

$$L_{CH} = 46'33 + 33'9 \log(f) - 13'82 \log(h_b) - a + (44'9 - 6'55 \log(h_b)) \log(d)$$

$$a = (11 \log(f) - 0'7) h_m - (1'56 \log(f) - 0'8)$$

4 En la banda [4'4 GHz - 5 GHz]

Spoti banda C (fórmula desarrollada específicamente para este estudio)

$$L_{SC} = 32'4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + A_{DS} + A_{DO} + A_{FG} + A_{AN}$$

A_{DS} : término semi-empírico que tiene en cuenta la difracción por el suelo si el primer elipsoide de Fresnel intercepta al suelo.

A_{DO} : término semi-empírico que tiene en cuenta la difracción por un obstáculo en hoja de cuchillo sobre el trayecto.

A_{FG} : término fijo que representa un margen de fading

A_{AN} : término fijo que representa una pérdida por absorción (0'5 dB/m)

Para los términos semi-empíricos se ha elegido colocar un obstáculo de 10 m de altura a mitad de trayecto entre el emisor y el receptor.

Para los términos fijos, se ha elegido $A_{FG} = 15 \text{ dB}$ y $A_{AN} = 5 \text{ dB}$

Tropo [1]

$$L_{TP} = 30 \log(f) + 30 \log(d) + 1'5g + 102$$

g representa el gradiente de índice en uN/km, en este estudio se ha fijado a -39 uN/km

5 Ilustración de las fórmulas de propagación

Propagación banda 1'3-2'7 GHz

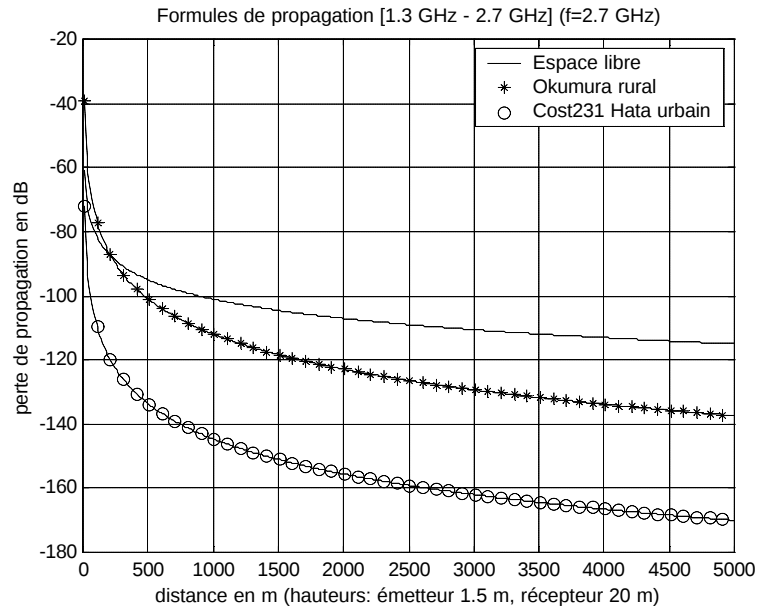


Fig.53. Propagación en la banda 1'3-2'7 GHz.

Propagación banda 4'4-5 GHz

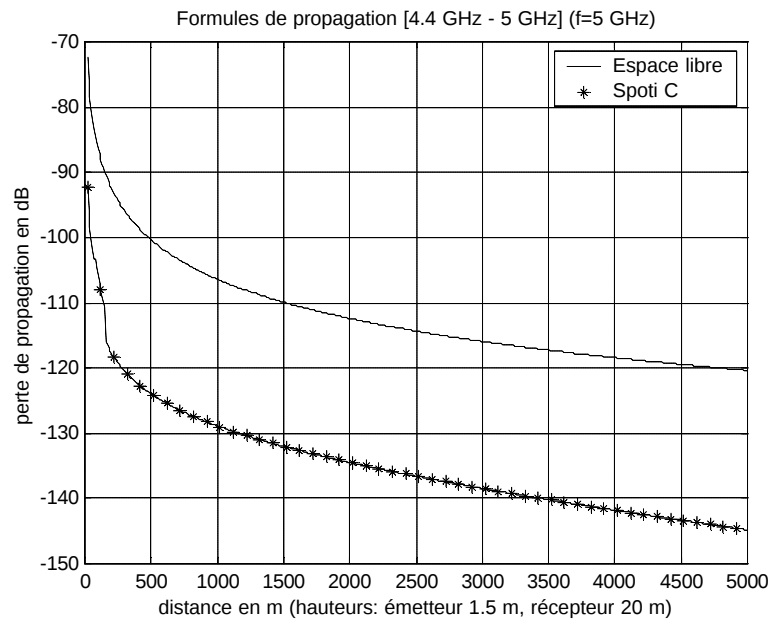


Fig.54. Propagación en la banda 4'4-5 GHz

Nota: Se encuentran actualmente numerosas publicaciones que tratan de la propagación en interior a 5 GHz. Por el contrario es más difícil encontrar resultados sobre la propagación en exterior en entorno no despejado a esta frecuencia. Se puede sin embargo citar un artículo reciente publicado en el congreso VTC 2001 [5]. En esta referencia, el emisor está a 5 m de altura y el receptor a 1'50 m. Las medidas se realizan en exterior urbano sin visibilidad directa entre el emisor y el receptor. La conclusión más sintetizada es la siguiente:

"Se pierde 7 dB cuando se pasa de 900 MHz a 2 GHz y se pierde 8 dB cuando se pasa de 2 GHz a 5 GHz."

La primera fase del estudio Spoti conduce a utilizar o Okumura Hata para medio rural, o Cost231Hata para el medio urbano denso. Desgraciadamente el estudio citado en referencia trata un problema urbano no denso. Si se considera a pesar de todo el modelo Okumura Hata a 2'7 GHz, se tiene, para un enlace de 2 Km, unas pérdidas de entorno a 120 dB. La fórmula SpotiC a 5 GHz proporciona por su parte alrededor de 132 dB, se pierde por tanto aquí 12 dB cuando se pasa de 2'7 GHz a 5 GHz. El orden de los dos valores, parece que hace coincidir SpotiC y esta referencia.

Propagación Troposférica

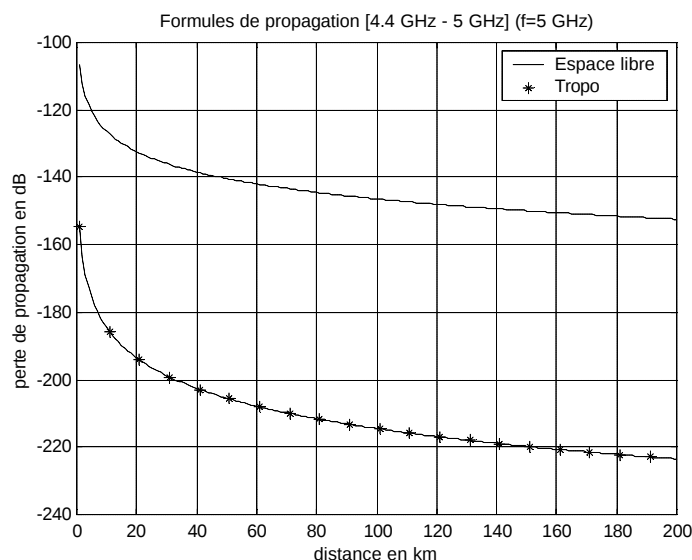


Fig.55. Propagación troposférica.

6 Anexo I: El modelo de propagación SpotiC

El modelo de propagación SpotiC hace intervenir un término de pérdidas en espacio libre y términos correctivos relacionados con los fenómenos de absorción, de reflexión y de difracción.

Para la absorción, se ha considerado una pérdida de 0'5 dB/m que corresponde a lo que se toma en la literatura [4] para las transmisiones en interior a 5 GHz. Se ha considerado después una travesía de obstáculos sobre una distancia media de 10 m, lo que nos conduce al término fijo:

$$A_{AN} = 5dB.$$

Para la reflexión, se ha considerado que las recombinaciones de las señales recibidas, debido a diversas reflexiones, conducían a una pérdida fija:

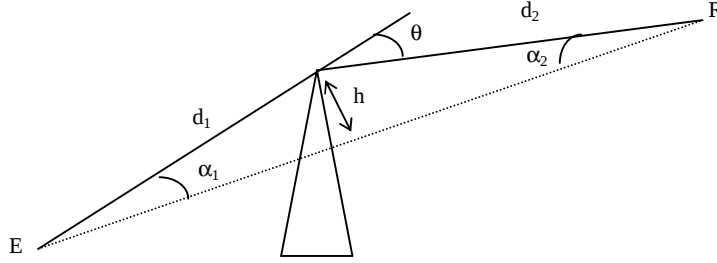
$$A_{FG} = 15 dB.$$

Para los términos de difracción, las alturas de las antenas juegan un papel importante y se utiliza un cálculo semi-empírico [1][2] en el modelo. Se distingue el término de difracción por obstáculos sobre el trayecto directo emisor – receptor y el término de difracción por el suelo.

Difracción por obstáculos

Se ha considerado, en el modelo SpotiC, un enlace sobre un suelo plano con un obstáculo en hoja de cuchillo, situado a medio camino entre el emisor y el receptor. La altura del obstáculo se ha fijado a 10 m.

La figura de debajo representa un obstáculo de este tipo.



Obstáculo en hoja de cuchillo entre un emisor (E) y un receptor (R)

Se denota d_1 la distancia del emisor a la cima del obstáculo, d_2 la distancia de la cima del obstáculo al receptor y h la distancia de la cima del obstáculo al trayecto directo del emisor al receptor.

Se deduce de ello un parámetro, denotado v , que se escribe:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{l} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

El parámetro h representa la altura de la porción del obstáculo que va a tenerse en cuenta en el cálculo de las pérdidas. Este parámetro h es positivo si el obstáculo intercepta el trayecto directo. Es negativo si el obstáculo no intercepta el trayecto directo pero penetra sin embargo en el primer elipsoide de Fresnel.

Si se introduce la altura real h_o del obstáculo, el término h , para un obstáculo colocado a mitad de camino del emisor y del receptor, se escribe:

$$h = h_o - \frac{h_b + h_m}{2}$$

Se denota P_0 la potencia recibida en ausencia de obstáculo y P la potencia recibida con presencia del obstáculo. La relación entre las dos potencias se obtiene entonces mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{2} - F_1(v) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} - F_2(v) \right)^2 \right]$$

En esta expresión las funciones F_1 y F_2 representan las integrales de Fresnel:

$$F_1(v) = \int_0^v \cos \frac{P t^2}{2} dt \text{ y } F_2(v) = \int_0^v \sin \frac{P t^2}{2} dt$$

Más simplemente, se introduce:

$$J(v) = -10 \log_{10} \frac{P}{P_0}.$$

Cuando el parámetro $v < -1$, las pérdidas pueden ser desestimadas

Cuando el parámetro $-1 < v < 1$, las pérdidas se aproximan por la fórmula:

$$J(v) = 6.4 + 20 \log \left(\sqrt{v^2 + 1} + v \right)$$

Cuando el parámetro $1 < v$, las pérdidas se aproximan por la fórmula:

$$J(v) = 13 + 20 \log_{10}(v)$$

El término A_{DO} utilizado en el modelo SpotiC es simplemente el término $J(v)$.

$$\boxed{A_{DO} = J(v)}$$

Ejemplo : Para el obstáculo colocado a medio camino del emisor y del receptor, se tendrá

entonces $d_1 = d_2 = \frac{d}{2}$, de donde:

$$v = \left(h_o - \frac{h_b + h_m}{2} \right) \sqrt{\frac{8}{ld}}$$

En el caso del enlace robot-robot, se tendrá $h_b = h_m = 15$, lo que conduce, para $f = 5 \text{ GHz}$, para un enlace de 2 Km y para un obstáculo $h_o = 10 \text{ m}$, a $v = 2.19$ y a unas pérdidas de entorno a 20 dB.

Nota 1: Se puede añadir, en el caso de obstáculos con bordes redondeados, términos correctivos que tomen en cuenta el radio de curvatura del obstáculo. En el modelo SpotiC no se insertan estos términos correctivos.

Nota 2: Diferentes aproximaciones (Deygout, Epstein-Peterson, ...[1]) permiten considerar múltiples obstáculos. En el modelo SpotiC nos hemos contentado con un solo obstáculo a medio camino en el trayecto. Este obstáculo va sobretodo a ser muy restrictivo para el enlace robot-robot para el que ambas antenas, la de emisión y la de recepción son bajas. No considerar nada más que un solo obstáculo tiene tendencia a sobreestimar el nivel de potencia útil recibida en el caso en el que hubiera de hecho varios obstáculos. Un caso aún peor para dos obstáculos correspondería a un obstáculo en la proximidad de cada robot. En tal caso se encontraría que las pérdidas son solamente casi el cuadrado de las pérdidas producidas por un único obstáculo a medio camino. Este sería por tanto uno de los peores casos. En los otros ejemplos, una de las antenas es una antena de haz y está colocada al menos a la altura del obstáculo. En este segundo caso, la radiación desde la cima del primer obstáculo hacia el haz está poco perturbada por otros obstáculos y se podemos considerar un obstáculo único. Esto tiene esencialmente por efecto sobrevaluar muy ligeramente la potencia de interferencia.

La difracción por el suelo

En el caso en el que el primer elipsoide de Fresnel intercepta el suelo, hay que considerar la difracción por el suelo. Se denotará, a título de orden de grandeza, que para un enlace a 5 GHz de 2 Km de largo, el primer elipsoide tiene una altura máxima de 5 m. La antena del robot se sitúa por hipótesis a 1'50 m. Se está, en casi todos los casos, enfrentado, para el enlace entre robots, a un problema de difracción por el suelo.

La atenuación debida a la difracción por el suelo puede ser aproximada por la fórmula siguiente [2]:

$$A_{DS} = F(X) + G(Y_e) + G(Y_r)$$

$$F(X) = -(11 + 10 \log(X) - 17.6X)$$

$$G(Y) = -17.6\sqrt{Y-1.1} + 5 \log(Y-1.1) + 8 \quad \text{para } Y > 2$$

$$G(Y) = -20 \log(Y + 0.1 Y^3) \quad \text{para } Y < 2$$

Y_e corresponde a la antena de emisión y Y_r a la antena de recepción

El parámetro X viene dado por la fórmula:

$$X = \left(\frac{p}{l a^2} \right)^{1/3} d$$

donde: l : longitud de onda, d : longitud del enlace, h : altura de la antena, a : radio terrestre equivalente

El parámetro Y viene dado por la fórmula:

$$Y = 2 \left(\frac{p^2}{l^2 a} \right)^{1/3} h$$

Nota : En el modelo SpotiC, que se utiliza en este estudio para las distancias que no exceden de 50 Km, la curvatura de las ondas debidas a la refracción ha sido desestimada y el impacto de los fenómenos de refracción no se ha tenido en cuenta para la difracción por el suelo. El radio terrestre ha permanecido fijado a 6370 Km.

7 Anexo II: Difusión troposférica

Para el enlace troposférico, se ha utilizado en este estudio la fórmula de propagación siguiente [1]:

$$A = 30 \log F + 30 \log d + 1.5g + 102$$

A pérdidas entre antenas en dB

F frecuencia en MHz

d distancia en Km

g representa el gradiente de índice en el volumen común en unidades N por kilómetro.

En esta aproximación el término A integra todas las pérdidas de propagación, no es un término que se le añada a las pérdidas de espacio libre como los que se han expuesto para la difracción.

La distancia del enlace troposférico

La distancia utilizada se adapta en función de los ángulos de visión de las antenas.

$$d_e = d + 8.5(q_1 + q_2)$$

d en Km

ángulos en mili radianes

Nota : El estudio considera por el instante únicamente visiones horizontales con $q_1 = q_2 = 0$.

Las ganancias de antena

Teniendo en cuenta el hecho de que la superficie de la onda en la obertura de la antena de recepción no es una onda plana sino que posee irregularidades de amplitud y de fase, es necesario reducir la ganancia de las antenas por medio de la fórmula siguiente:

$$G_{eff} = (G_e + G_r) e^{-\frac{\left(\frac{G_e + G_r}{148}\right)^4}{1 + \left(\frac{G_e + G_r}{148}\right)^4}}$$

El co-índice de refracción

Las características de la atmósfera se reducen a su constante dieléctrica ϵ y a su permeabilidad magnética μ . Se considera que el aire es un medio no magnético, es decir $\mu = \mu_0$. El índice de refracción n de la atmósfera será entonces igual a:

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} = \sqrt{\epsilon_r}$$

ϵ_r está próximo a 1 por lo que se modifica la ecuación precedente que pasa a ser:

$$n = \sqrt{1 + (\epsilon_r - 1)} \approx 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2}$$

Se introduce en general el co-índice N definido por:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6$$

El co-índice se expresa en uN

El gradiente de índice se define como $g = \frac{dn}{dh}$, y en general, se expresa en uN/km (h representa aquí la altitud con respecto al suelo).

Nota : La fórmula de propagación troposférica es fuertemente dependiente del valor del co-índice N . El gradiente de índice g puede variar en un intervalo de +300 à -300. En París el índice es, durante el 50 % del tiempo, inferior o igual a -39 uN/km [2]. Es este valor medio el que ha sido considerado en el cálculo del balance potencia del enlace troposférico.

Referencias

- [1] Lucien Boithias, "Propagation des ondes radioélectriques", Dunod, 1983

- [2] J. Lavergnat, M. Sylvain, "Introduction à la Propagation", Collection Pédagogique des Télécommunications, MASSON, 1997.

- [3] X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane, "Réseaux GSM-DCS", Hermès, 1997

- [4] J. Medbo, Jan-Erik Berg, "Simple and Accurate Path Loss Modeling at 5 GHz in Indoor Environments with Corridors", IEEE VTC 2000, Tokyo.

- [5] Mobile Propagation Loss with a Low Base Station Antenna for NLOS Street Microcells in Urban Area, Ao Tang, JiXian Sun, Ke Gong, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing, P.R. China. IEEE VTC 2001, Rhodes.