



EL ESTANDAR 802.11n

**KEVIN ENRIQUE MORALES CASTELLANOS
OSWALDO MIGUEL JIMENEZ DIAZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
COMUNICACIONES Y REDES
CARTAGENA DE INDIAS
2007**



EI ESTANDAR 802.11n

**KEVIN ENRIQUE MORALES CATELLANOS
OSWALDO MIGUEL JIMENEZ DIAZ**

Monografía

**Minor de Telecomunicaciones
Para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

Director

**Eduardo Gómez Vásquez
Magíster en Ciencias Computacionales**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES Y REDES
CARTAGENA DE INDIAS**

2007

Cartagena de Indias, 28 de Junio de 2007

Señores

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Tecnológica de Bolívar

L. C.

Respetados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada **“El Estándar 802.11n”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos y justificaciones establecidas con anterioridad.

Como autores de la monografía consideramos que el trabajo investigativo es satisfactorio y merece ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

KEVIN E. MORALES C.

OSWALDO M. JIMENEZ D.

Cartagena de Indias, 28 de junio de 2007

Señores

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Tecnológica de Bolívar

L. C.

Respetados señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes Kevin Morales Castellanos y Oswaldo Jiménez Díaz, titulado “**El estándar 802.11n**”.

Atentamente,

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ

Magíster en Ciencias Computacionales

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias 28 de Junio de 2007

DEDICATORIA

Esta monografía se la dedico a mi familia, amigos y a mi novia que siempre creyeron.

Kevin Enrique Morales Castellanos

Este trabajo se lo dedico mas que todo a Dios nuestro señor que me dio la fuerzas necesarias para seguir adelante, a mi madre y padre que se esmeraron para que fuera una persona digna y responsable .

Oswaldo Miguel Jiménez Díaz

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por el apoyo moral y económico, quienes hicieron de mi una persona recta y e inquebrantable, también quiero agradecer a mi tía, Malvis Morales por la ayuda en los momentos difíciles a lo largo de mi carrera y a los profesores del departamento de Ingeniería Electrónica de la Tecnológica de Bolívar UTB porque en el transcurso de vida como estudiante cada uno de ellos con su paciencia y su buen carácter tuvo que ver con mi superación.

Kevin Enrique Morales Castellanos

Le agradezco a mi padre y a mi madre por el duro esfuerzo que hicieron en todo el sentido de la palabra, y por el apoyo incondicional, a los profesores que no solo me formaron académicamente también me ofrecieron su amistad y experiencia.

Oswaldo Miguel Jiménez Díaz

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	15
RESUMEN	20
INTRODUCCION	21
1. CONCEPTOS GENERALES	23
1.1 Modulación Digital	23
1.1.2 Modulación ASK	23
1.1.3 Modulación PSK	24
1.1.4 Modulación FSK	24
1.1.5 Modulación QAM	24
1.2 Medio Inalámbrico	25
1.2.1 Atenuación	25
1.2.2 Multicaminos	25
1.2.3 Desvanecimiento Selectivo en Frecuencia	26
1.2.4 Retardo del canal	27

1.2.5	Efecto Doppler	27
1.2.6	Diversidad espacial	27
2.	EVOLUCION HACIA EL ESTANDAR 802.11n	28
3.	ESTÁNDAR IEEE 802.11a	31
3.1	Arquitectura	33
3.1.1	Independent Basic Service Sets (IBSS)	33
3.1.2	Basic Service Sets (BSS)	33
3.1.3	Extended Service Set (ESS)	34
3.2.	Servicios de red	35
3.2.1	Distribución	35
3.2.2	Integración	35
3.2.3.	Asociación	35
3.2.4	Reasociación	36
3.2.5	Desasociación	36
3.2.6	Autenticación	36

3.2.7	Desautenticación	36
3.2.8	Privacidad	37
3.2.9	MAC Service Data Unit deliver (MSDU deliver)	37
3.3.	Capa de enlace de datos MAC	37
3.3.1.	Función de Coordinación Distribuida (DCF)	38
3.3.2.	Función de Coordinación Puntual (PCF)	40
3.3.3.	Espaciado entre tramas	40
3.3.4	Estructura de las tramas	42
3.3.5	Seguridad	45
3.4.	Capa Física o PHY	46
3.4.5.	Parámetros utilizados en el estándar 802.11a	48
4.	TECNOLOGIA MIMO	55
4.1	Introducción	55
4.2	Transmisión multicanal; la matriz H de transmisión	57
4.3	Principio básico de los sistemas MIMO	59
4.4	Capacidades de los canales MIMO	61

4.5	Implementación de un canal MIMO genérico	63
4.6	MIMO distribuido	66
5.	EL ESTÁNDAR 802.11n	69
5.1	Características comunes	71
5.2	Multiple-Input/Multiple-Output (MIMO) de 802.11n	71
5.3	Ancho del canal	72
5.4	Realces de la eficiencia MAC	73
5.5	WWiSE	74
5.5.1	Mejoras MAC	75
5.5.2	LA MIMO PHY DE WWiSE	79
5.5.3	PLCP de WWiSE	85
5.5.4	PMD de WWiSE	90
5.5.5	Características de la PHY WWiSE	92
5.6	TGnSync	92
5.6.1	Mejoras MAC de TGnSync	92

5.6.2 REALCES DE LA PHY TGnSync	104
5.6.3 Transmisión física TGnSync (PLCP y PMD)	110
5.6.4 TGnSync PMD	116
CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFIA	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Multicaminos.	26
Figura 3.1 BSS independiente.	33
Figura 3.2: Basic Service Set.	34
Figura 3.3: ESS.	34
Figura 3.4: Ejemplo del nodo escondido.	39
Figura 3.5: Trama MAC.	43
Figura 3.6: Subcampos del campo de control de trama.	44
Figura 3.7: Arquitectura de la capa física.	47
Figura 3.8: Estructura de una trama OFDM.	51
Figura 4.1 a) propagación entre dos antenas	58
Figura 4.1 b) propagación entre antenas múltiples.	58
Figura 4.2: procesado MIMO que da lugar a caminos independientes.	60
Figura 4.3: MIMO distribuido.	66
Figura 5.1: eficiencia MAC.	74
Figura 5.2: agregación en WWiSE.	78
Figura 5.3: ráfagas en WWiSE.	79
Figura 5.4: portadora piloto de WWiSE.	80
Figura 5.5: Modos de Greenfield 1TX40 and 2TX40.	86

Figura 5.6:	campo de SIGNAL-N de WWiSE	88
Figura 5.7:	formato de trama PLCP para otros modos de transmisión.	90
Figura 5.8:	transector de WWiSE.	91
Figura 5.9:	Agregación de trama TGnSync.	96
Figura 5.10:	Reconocimiento de bloque TGnSync.	97
Figura 5.11:	comprensión de encabezamiento MAC TGnSync.	99
Figura 5.12:	MRA TGnSync	100
Figura 5.13	Protección de TGnSync longNAV.	101
Figura 5.14:	Pareja spoofing de protección TGnSync.	102
Figura 5.15:	protección de TGnSync: spoofing de un solo final.	103
Figura 5.16:	Estructura de canal TGnSync.	106
Figura 5.17:	formato de trama PLCP de TGnSync.	111
Figura 5.18:	Campo TGnSync HT-SIG. 127	113
Figura 5.19:	Transector MIMO 2X2 de TGnSync.	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1:	Canales utilizados en el estándar	50
Tabla 3.2:	Requerimientos de potencia para cada velocidad de transmisión	52
Tabla 3.3:	Modulación y tasas de código	54
Tabla 5.1:	reglas de codificación WWiSE cuando las antenas superan en número las corrientes espaciales	82
Tabla 5.2	modo de transmisión WWiSE	85
Tabla 5.3	Sensibilidad del receptor WWiSE	91
Tabla 5.4	parámetros WWiSE MIMO PHY	92
Tabla 5.4	velocidad tope para la propuesta definitiva del 802.11n (dos corrientes espaciales)	118

ANEXOS

Anexo 1. OFDM

1.1	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	124
1.2:	Ventajas de OFDM	127
1.3:	Desventajas de OFDM	127

Anexo 2. ACRONIMOS

124

GLOSARIO

Arrays: combinación de antenas que presenta una ganancia superior a una sola antena.

Backoff delay: es un tiempo de espera aleatorio que se toma la estación antes de transmitir un paquete.

Beamforming: son técnicas de procesamiento matricial que se utilizan para mejorar la calidad de la señal en los sistemas MIMO.

Bluetooth: es el nombre común de la especificación industrial IEEE 802.15.1, que define un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura, globalmente y sin licencia de corto rango broad cast,

Delay spread: un tipo de distorsión debido al resultado de multicaminos de la señal recibida.

Distribución probabilística tipo Rayleigh: En la teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Rayleigh es una función de distribución continua. Se suele presentar cuando un vector bidimensional (por ejemplo, el que representa la velocidad del viento) tiene sus dos componentes, ortogonales, independientes y siguen una distribución normal

site survey: (Estudio de Sitio) La diferencia en componentes de red corporativa, configuración, ubicación y ambientes físicos, hacen que cada aplicación de red sea una única instalación. Antes de instalar el sistema se debe realizar el site survey para determinar la óptima ubicación de los componentes de red. Esto es hecho para maximizar el rango, cobertura y desempeño.

Estados Unidos FCC: (Federal Communications Commission)

Agencia independiente del gobierno estadounidense responsable de la regulación de las comunicaciones interestatales e internacionales por radio televisión.

Ethernet: Norma o estándar (IEEE 802.3) que determina la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física.

Greenfield: es el nombre dado a los preámbulos usados para mejorar la eficiencia cuando no hay dispositivos de herencia

Herencia: termino usado para referirse a los dispositivos y sus estándares anteriores

hold time: o tiempo de asimiento, es un parametro usado en el ahorro de energia TRMS para referirse al tiempo que dura la trama despierta.

Incorrelar: cruzar las longitudes de onda de una señal

interferencia constructiva: se hace referencia a una superposición de dos o más ondas de frecuencia idéntica o similar que, al interferirse crean un nuevo patrón de ondas de mayor intensidad (amplitud) que cualquiera de las componentes.

interferencia destructiva: se hace referencia a una superposición de dos o más ondas de frecuencia idéntica o similar que, al interferirse crean un nuevo patrón de ondas de menor intensidad (amplitud) que cualquiera de las componentes.

Multicast: es un servicio de red en el cual un único flujo de datos, proveniente de una determinada fuente, puede ser enviada simultáneamente para diversos destinatarios. El *multicast* es dirigido para aplicaciones del tipo uno-para-varios y varios-para-varios, ofreciendo ventajas principalmente en aplicaciones multimedia compartidas

Ráfaga: se le llama ráfaga a la explosión de tramas enviadas usadas para mejorar la MAC

ramas de diversidad: replicas de la señal transmitida

Rayleigh fading: es un modelo estadístico para el efecto del ambiente de propagación sobre una señal de radio, tanto como los usados por los dispositivos inalámbricos

Reed-Solomon: son códigos de corrección de errores basados en bloques usados en muchas aplicaciones como CDS, DVDs, códigos de barra, y en comunicaciones móviles

Ron Rivest: nacido en 1947 en Schenectady, (Nueva York). Criptógrafo y profesor de informática en el departamento de ingeniería eléctrica e informática

del MIT. Es muy conocido por su trabajo con el cifrado de clave pública y creador del RC4

Shannon: nacido el 30 de abril de 1916, Michigan - 24 de febrero de 2001, ingeniero eléctrico y matemático, recordado como "el padre de la teoría de la información".

slot time: Ranura de tiempo. Intervalo de tiempo continuamente repetido o un periodo de tiempo en el que dos dispositivos son capaces de interconectarse.

slow fading: Un efecto de desvanecimiento a largo plazo que cambia el valor medio de la señal recibida. El desvanecimiento lento o slow fading se asocia generalmente con el abandono del transmisor y una experimentación de reducción de la fuerza de la señal

Spoofing :es una trama falsa la cual usa el formato de encabezamiento existente de PLCP para llevar la información de la duración.

Throughput: Término que indica rendimiento del procesamiento.

Token Ring: Arquitectura de red desarrollada por IBM en los años 70's con topología lógica en anillo y técnica de acceso de paso de testigo. Token Ring se recoge en el estándar IEEE 802.5. En desuso por la popularización de Ethernet; no obstante, determinados escenarios, tales como bancos, siguen empleándolo.

Tramas de baliza:son tramas enviadas a las estaciones para que sean informadas del canal secundario en el par.

unicast: Es un envío de información desde un único emisor a un único receptor. Se contraponen a multicast, (envío a ciertos destinatarios específicos, más de uno), broadcast (radiado, los destinatarios son todas las estaciones en la red) y anycast (el destinatario es único, uno cualquiera no especificado).

Van Jacobsen : Esta compresión busca reducir el header TCP/IP basándose en el hecho de que para una conexión TCP se realiza un intercambio de un gran número de paquetes, luego esta compresión busca reducir este encabezado

WiFi: es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones 802.11. Creado para ser utilizado en redes locales

inalámbricas; es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

RESUMEN

Ante la creciente necesidad y revolución de las comunicaciones, nace la necesidad de tener un punto de acceso a Internet a alta velocidad desde nuestro hogar, pero eso no era suficiente ya que estaban atados a un punto (cables).

De ahí nació la necesidad de brindar un servicio wireless, con su estándar 802.11 como ha sido definido por la IEEE() con esto se revoluciono los sistemas de Internet inalámbrico y a medida que crecían los usuarios crecía la demanda, cobertura, disponibilidad, técnica, velocidad, seguridad movilidad, compatibilidad con tecnologías anteriores entre otra palabras QOS/calidad de servicio debido a esta demandas se han ido implementando los estándares 802.11a, 802.11b, 802.11g, los cuales ya han sido aprobados y están en funcionamiento en al actualidad.

Existen o se pueden observar las obvias motivaciones para crear un nuevo estándar:

1. La velocidad de transmisión experimentada por los usuarios de redes inalámbricas se ve significativamente afectada por las muchas fuentes de sobrecarga dentro del protocolo 802.11. La sobrecarga se debe principalmente a los preámbulos necesarios para cada paquete, como por ejemplo, los reconocimientos, ventanas de contención, y varios parámetros de espaciado entre tramas. Los problemas de sobrecarga se hicieron más agudos con el incremento de la velocidad de transmisión.
2. La posibilidad de crear paridad en cuanto a capacidad de transmisión de datos entre los sistemas inalámbricos y los no inalámbricos de tal forma que las empresas puedan extender su uso de redes

inalámbricas a aquellas áreas en las cuales no se puede utilizar debido a que la tasa de transmisión de datos de los productos inalámbricos existentes es insuficiente.

3. En los distintos estándares del 802.11 que fueron desarrollados, la porción de datos acarreados dentro de los paquetes se encogió, mientras que la sobrecarga permaneció fija. Por ejemplo, el estándar 802.11b, con un pico de velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps, normalmente alcanza un pico neto de 5 o 6 Mbps, mientras que los estándares 802.11a y 802.11g, con un pico de transmisión de datos PHY (a nivel de la capa física) de 54 Mbps, alcanza un pico neto de alrededor de 20 a 24 Mbps. Es por esto que se demanda una mejora en la capacidad de procesamiento de datos de cuatro a cinco veces sobre el máximo alcanzado con 802.11a/b

El estándar a seguir es **el estándar 802.11n**, es un sistema muy novedoso que se basa en la tecnología MIMO (Múltiple input Múltiple output). Según la propuesta final que se adopte para el estándar WIFI 802.11n funcionará en las bandas de 10, 20, o 40 MHz y se alcanzarán velocidades superiores a 100 Mbps. Estas podrían superar también los 300 Mbps. Otro tema a tener en cuenta es el alcance de la nueva tecnología, cuyas ondas de RF podrían llegar hasta casi 500 metros del emisor.

Actualmente este estándar se encuentra en discusión para su aprobación por dos grupos que son representados por las compañías de comunicaciones y chip makers mas grandes del mundo:

1. WWiSE (WorldWide Spectrum Efficiency) apoyado por Texas Instruments, Broadcom, Conexant, STMicro, Airgo y Bermai, continúa con la compatibilidad hacia atrás con el canal de 20 Mhz.
2. TGn Sync, apoyado por Cisco, Intel, Nokia, Nortel, Phillips y Sony entre otros, planea emplear el canal de 40Mhz.

INTRODUCCION

El mundo de las comunicaciones es mas exigente cada día, la demanda de altas tasas de transferencia y movilidad están acaparando las tecnología inalámbricas existentes, por esto hay la necesidad de crear una nueva tecnología que satisfaga la sed de trouhgput, de esto esta investigación .

Esta monografía comienza con un repaso de las técnicas de modulación digital existentes utilizadas por las tecnologías de comunicaciones móviles: ASK (amplitude shift keying), PSK(phase shift keying),FSK(frequency shift keying Y específicamente la técnica de modulación en cuadratura QAM que es la técnica de modulación utilizada por el estándar 802.11n ,también se repasa los efectos del medio inalámbrico sobre la señal trasmitida tales como ;la atenuación ,los multicaminos ,el efecto doppler,desvanecimiento selectivo en frecuencia ,retardo y la diversidad espacial concepto clave dentro de esta investigación .

El capitulo 2 se hace una breve introducción a la familia de estándares en operación y mas comerciales en la actualidad ;802.11b,802.11g,802.11 ,802.11a, se realiza una pequeña reseña histórica del estándar 802.11 y se describe la implementación de técnicas de envío de tramas ,consecuentemente en el capitulo 3 se enfatiza en el estándar 802.11a ya que es la base del 802.11n y 802.11n su evolución , parámetros de operación ,y la técnica de transmisión OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Además el capitulo 3 señala las características comunes de arquitectura de los 802.11 que son las misma exceptuando las mejoras MAC y capa PHY, y técnicas de transmisión entre ellas.

El capitulo 4 da una descripción detallada de las técnicas MIMO ,se demuestra matemáticamente por que se eleva las tasas transferencia usando varias

antenas cada una con su cadena de RF diferente ,su principio de funcionamiento y las capacidades que posee un canal MIMO.

Y para culminar se habla del estándar 802.11n, el cual se presenta en forma de las dos propuestas realizadas por los consorcios WWiSE y TGnSync semejanzas diferencias y panorama del mercado actual de este nuevo estándar en discusión, conclusiones y comparaciones entre las propuestas

1. CONCEPTOS GENERALES

Antes de desarrollar los temas de la investigación es necesario recordar algunos conceptos claves para potencializar esta monografía.

En las comunicaciones inalámbricas se hace el uso de técnicas de transmisión, y modulación para aprovechar el 100% de la señal que posee la información, se recordara las técnicas de modulación existentes.

En este capítulo se mencionan los efectos del medio inalámbrico en la señal transmitida. El conocimiento de las características del canal de comunicación es fundamental para la comprensión de la estructura y de los procesos que se dan en un sistema de telecomunicaciones. Además se introduce un nuevo concepto llamado: diversidad espacial que consiste en la utilización de las replicas de la señal de radio generadas por en entorno del medio inalámbrico.

1.1 Modulación Digital

La modulación es un proceso que permite transmitir una señal que contiene información analógica o digital a través de un canal de comunicaciones, éste consiste en mapear la señal que se quiere enviar en la frecuencia, fase o amplitud de una señal una portadora¹.

1.1.2 Modulación por desplazamiento de amplitud (amplitude shift keying ASK-)

Esta técnica consiste en variar la amplitud de la portadora mientras su frecuencia y fase se mantienen constantes, de tal forma que un cero binario es

¹ Para más información de técnicas de modulación: LAWRE, Eric. "Adaptive Techniques for Multiuser OFDM", Tesis de grado. James Cook University, Australia 1992.,p 34-44

representado mediante una portadora $A_0 \cdot \cos(W_c \cdot t)$, y un uno binario mediante una portadora $A_1 \cdot \cos(W_c \cdot t)$.

1.1.3 Modulación por desplazamiento de fase (phase shift keying -PSK-)

En este esquema de modulación se varía la fase de la portadora mientras la amplitud y frecuencia de la misma se mantienen constantes, de tal manera que un cero binario es representado mediante una portadora $A \cdot \cos(W_c \cdot t + \theta_0)$, y un uno binario mediante una portadora $A \cdot \cos(W_c \cdot t + \theta_1)$.

1.1.4 Modulación por desplazamiento de frecuencia (frequency shift keying -FSK-)

Este tipo de modulación se basa en modificar la frecuencia de la portadora, mientras la amplitud y la fase de la misma se mantienen constantes, de esta manera un cero binario es representado mediante una portadora $A \cdot \cos(W_{c0} \cdot t)$, y un uno binario es representado mediante una portadora $A \cdot \cos(W_{c1} \cdot t)$. En la siguiente figura se observa una señal FSK en el dominio temporal.

1.1.5 Modulación de amplitud en cuadratura (quadrature amplitud de modulation -QAM-)

La modulación QAM tiene la particularidad de modificar tanto la fase como la amplitud de la portadora, manteniendo constante la frecuencia de la misma, por lo que se considera una combinación de ASK y PSK. En esta se presentan componentes tanto en fase como en cuadratura (I/Q), por lo que su constelación esta formada por símbolos con componentes tanto en I como en Q.

1.2 Características del medio inalámbrico.

En un medio de comunicación real la señal transmitida es la misma a la recibida, en un medio de comunicación inalámbrico real, la señal que se recibe no es una réplica exacta de la enviada, esto se debe a las perturbaciones que el canal introduce en la señal a medida que la misma se desplaza de un punto a otro. Las principales perturbaciones son:

1.2.1 Atenuación

Cuando una señal se propaga a través de un canal inalámbrico esta se debilita, lo cual se debe principalmente a que el frente de onda crece en forma esférica reduciendo así la densidad de potencia de manera proporcional al área de la misma. Al aumentar la distancia desde el punto de emisión (centro de la esfera), el área de la misma aumenta en forma cuadrática ($4\pi r^2$) por lo que la densidad de potencia también disminuye en forma cuadrática, este tipo de atenuación esta presente siempre, y se conoce como pérdida de espacio libre. Existen otros factores que producen una disminución de la potencia de la señal, como por ejemplo obstáculos entre el transmisor y el receptor que obstruyan la línea de vista, y multicaminos provocados por señales reflejadas.

1.2.2 Multicaminos.

En los enlaces de RF, la señal enviada por el transmisor es reflejada por objetos que se encuentran en el camino entre el transmisor y el receptor. Esto da origen a réplicas o copias de la señal transmitida que viajan por distintos caminos hasta llegar al receptor. En la figura 1.1 se puede apreciar como ocurren reflexiones de la señal produciendo múltiples señales en el receptor.

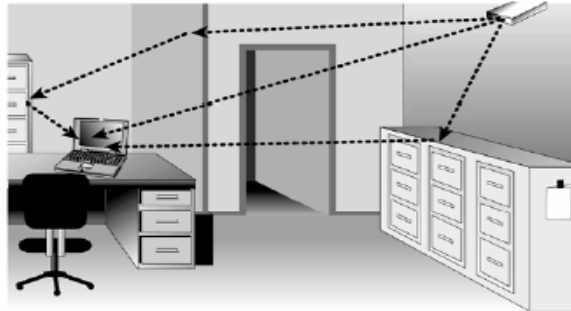


Figura 1.1: Multicaminos

Debido a que cada replica de la señal recorre caminos diferentes en su viaje desde el transmisor hasta el receptor, la fase y la potencia con la cual arriban es distinta para cada una de ellas. El receptor detecta entonces la suma de las señales (señal directa + replicas), el nivel de potencia de dicha suma puede ser mayor al nivel de potencia de la señal directa (interferencia constructiva) o menor al nivel de potencia de la señal directa (interferencia destructiva). La interferencia destructiva puede producir serios desvanecimientos en la señal, provocando disminuciones de la potencia de hasta 30 dB.

Este tipo de desvanecimientos se conoce como desvanecimiento Rayleigh² (en inglés Rayleigh Fading), debido a que se utiliza la distribución Rayleigh para estimar la probabilidad de recibir cierto nivel de potencia.

1.2.3 Desvanecimiento Selectivo en Frecuencia

Un canal inalámbrico en el cual ocurren multitrayectos o multicaminos suele tener una función de transferencia selectiva en frecuencia, es decir, algunas frecuencias se atenúan más que otras. Esto se debe a que cada una de las frecuencias que componen la señal tiene una longitud de onda distinta ($\lambda = c/f$), por lo tanto las fases con las cuales arriban cada una de estas componentes espectrales son distintas. La suma de la señal directa y las

² http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_fading

replicas en algunos casos provoca interferencia constructiva y en otros interferencia destructiva³.

1.2.4 Retardo del canal (Delay Spread)

La señal que se recibe en el receptor esta compuesta por una señal directa y por múltiples replicas de esta. El periodo de tiempo que transcurre entre la llegada de la señal directa y la llegada de la última replica se conoce como retardo del canal o delay spread.

1.2.5 Efecto Doppler

El efecto Doppler consiste en una variación en la frecuencia de la portadora que ocurre debido al movimiento relativo entre el transmisor y el receptor. Cuando estos se acercan el receptor percibe un aumento en la frecuencia de la señal que se transmite, en caso de que el transmisor y el receptor se alejen, se percibe en el receptor una disminución de la frecuencia de la señal.

1.2.5 Diversidad espacial

La diversidad consiste en esparcir la energía correspondiente a la transmisión de un símbolo de modo que en recepción dispongamos de varias replicas de la misma señal afectadas por realizaciones distintas (independientes) del canal. Las replicas transmitidas se denominan *ramas de diversidad (diversity branches)*⁴

³MACDDOCKS, M.C.D. "An Introduction to Digital Modulation and OFDM Techniques", Research Department Report, The British Broadcasting Corporation, Londres1993.p 32.

⁴ Para mayor información acerca de diversidad consultar: WILEY. John and sons, Wireless communications over MIMO channel, WILEY,sep,2006.p 36-47

2. EVOLUCIÓN HACIA EL ESTÁNDAR 802.11n

El Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE) creó una serie de comités con participantes de la industria informática y del ámbito académico, que establecieron un conjunto de estándares para protocolos de comunicaciones en redes locales. Estos estándares fueron ampliamente aceptados por la comunidad y como consecuencia todos los fabricantes desarrollaron sus equipos de acuerdo con sus especificaciones.

El estándar IEEE 802.11 fue publicado en 1997 y ratificado en 1999. Este estándar ofrece una velocidad de transmisión de 1 ó 2 Mbit/s empleando para ello tres técnicas de transmisión de tramas.

La primera es la basada en **señales Infrarrojas** (*Infrared*, IR): esta especificación deja mucha libertad de implementación a los proveedores de equipos, lo cual se traduce en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Además, es una técnica muy sensible a condiciones atmosféricas.

La segunda técnica se define como **Espectro Distribuido de Secuencia Directa** (*Direct Sequence Spread Spectrum* DSSS) y funciona en la banda Industrial, Científica y Médica (*Industrial Scientific and Medical*, ISM) de 2.4 Ghz. Esta técnica compensa la interferencia de otras fuentes, combinando cada bit a transmitir con una señal redundante y aleatoria denominada secuencia *chipping*, cuya longitud permite, en caso de error, recuperar los datos originales a través de técnicas estadísticas.

La tercera técnica se define como **Espectro Distribuido con Saltos de Frecuencia** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, FHSS). Esta técnica, que

también funciona a 2.4 GHz en la banda ISM, utiliza una portadora que cambia de frecuencia siguiendo una de las 26 secuencias preinstaladas y pseudoaleatorias pero conocidas tanto por el transmisor como por el receptor. El FHSS se utiliza en distancias cortas y en aplicaciones donde hay una gran cantidad de receptores diseminados en un área cercana al punto de acceso.

Este estándar ha sufrido varias enmiendas a lo largo de los años:

a) **802.11a**: estándar de alta velocidad aprobado en julio de 1999 que utiliza la codificación por **Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, OFDM). Esta técnica envía la información no en una única portadora sino sobre muchas espaciadas de forma óptima, repartiendo la información entre todas ellas de manera que aunque la velocidad de modulación de cada portadora individual sea pequeña, la del conjunto es muy elevada. Esta técnica alcanza una velocidad de hasta 54 Mbit/s en la banda de 5 GHz denominada Infraestructura Nacional de Información Sin Licencia (*Unlicensed National Information Infrastructure*, UNII) menos congestionada y con menos interferencias pero con un alcance limitado de 50 metros.

b) **802.11b**: estándar aprobado en el año 1999 con una velocidad máxima de 11 Mbit/s y un alcance de 100 metros que emplea la banda ISM de 2,4 GHz. Esta especificación utiliza una nueva técnica denominada **Espectro Expandido de Secuencia Directa de Alta Velocidad** (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*, HR-DSSS). La técnica HR-DSSS emplea una codificación denominada **Clave de Código Complementaria** (*Code Complementary Keying*, CCK) para incrementar la velocidad de datos. Esta codificación en vez de utilizar la secuencia chipping de DSSS, utiliza unos códigos denominados “secuencias complementarias” (*Complementary Sequences*) que permiten aumentar la efectividad del proceso codificación.

c) **802.11g**: estándar que utiliza tanto OFDM como HR-DSSS para la banda ISM de 2,4 GHz con una velocidad de hasta 54 Mbit/s. Posee una cobertura de 100 m en interiores y 300 m en exteriores. Esta técnica es totalmente compatible con el estándar inalámbrico 802.11b que es el más extendido.

Motivaciones para crear un nuevo estándar

1- La velocidad de transmisión experimentada por los usuarios de redes inalámbricas se ve significativamente afectada por las muchas fuentes de sobrecarga dentro del protocolo 802.11. La sobrecarga se debe principalmente a los preámbulos necesarios para cada paquete, como por ejemplo, los acuses de recibo, ventanas de contención, y varios parámetros de espaciado entre tramas. Los problemas de sobrecarga se hicieron más agudos con el incremento de la velocidad de transmisión.

2- La posibilidad de crear paridad en cuanto a capacidad de transmisión de datos entre los sistemas inalámbricos y los no inalámbricos de tal forma que las empresas puedan extender su uso de redes inalámbricas a aquellas áreas en las cuales no se puede utilizar debido a que la tasa de transmisión de datos de los productos inalámbricos existentes es insuficiente.

3- En los distintos estándares del 802.11 que fueron desarrollados, la porción de datos acarreados dentro de los paquetes se encogió, mientras que la sobrecarga permaneció fija.

Por ejemplo, el estándar 802.11b, con un pico de velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps, normalmente alcanza un pico neto de 5 o 6 Mbps, mientras que los estándares 802.11a y 802.11g, con un pico de transmisión de datos PHY (a nivel de la capa física) de 54 Mbps, alcanza un pico neto de alrededor de 20 a 24 Mbps.

3. ESTÁNDAR IEEE 802.11a

El estándar IEEE 802.11a es una actualización a la Capa Física del estándar IEEE 802.11, la misma se hizo con la idea de proveer altas velocidades de transmisión en la banda U-NII de 5 GHz, su publicación tuvo lugar a finales del año 1999. En el se especifican las características de Capa Física y de Capa MAC que deben tener los dispositivos inalámbricos⁵.

Las redes inalámbricas utilizan frecuencias de uso público por lo que son sumamente susceptibles a recibir interferencias de otros dispositivos que trabajen en la misma frecuencia, es por esto que mientras más equipos se encuentren compartiendo la misma banda de frecuencias en la misma área geográfica, mayor será la probabilidad de sufrir problemas de interferencia. La banda ISM de 2.4 GHz en la que operan las redes inalámbricas IEEE 802.11b/g se encuentra saturada debido a la gran variedad de dispositivos que utilizan esta frecuencia⁶.

Existen dispositivos sumamente populares que representan una amenaza a la integridad de las redes que operan en la banda de 2.4 GHz, como por ejemplo: Bluetooth, teléfonos inalámbricos, hornos de microondas, ratones y teclados inalámbricos, etc. Cuando estos equipos producen interferencia provocan una disminución de la velocidad de transmisión de la red y en casos extremos pueden destruir la conexión por completo, provocando la caída temporal de la WLAN.

Teniendo este problema en mente la IEEE seleccionó la banda U-NII de 5 GHz para el estándar IEEE 802.11a, así se utiliza un espectro electromagnético mas limpio y se evitan la mayoría de los problemas de interferencia, también existe

⁵IEEE Standard. "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", Nueva York N.Y. 1999.

⁶IEEE Standard. Op cit.

la ventaja de poseer mayor ancho de banda. La banda U-NII dispone de 300 MHz, mientras que en la banda ISM cuenta con poco más de 80 MHz, menos de la tercera parte de la capacidad de la banda U-NII.

Las ventajas antes mencionadas tienen un costo, la atenuación a esta frecuencia es aproximadamente el doble de la que ocurriría en la banda ISM de 2.4 GHz, esto genera la necesidad de tener mayor número de puntos de acceso y requiere el uso de mas potencia en los transmisores, por lo que los equipos portátiles descargarán sus baterías mas rápidamente. Adicionalmente se presenta el problema de que esta banda no es continua, la misma se divide en tres pedazos, cada uno con niveles de potencia máximos permitidos distintos, situación que aumenta la complejidad de los equipos.

La banda U-NII se dividió en 12 canales independientes de 20 MHz cada uno, para aprovechar al máximo el ancho de banda disponible se implementó la técnica OFDM, la cual será descrita más adelante en este capítulo. Las velocidades de transmisión son 6 Mbps y 9 Mbps empleando modulación BPSK, 12 Mbps y 18 Mbps usando modulación QPSK, 24 Mbps y 36 Mbps utilizando modulación 16-QAM, 48 Mbps y 54 Mbps usando modulación 64-QAM. En cuanto a los métodos de acceso al medio se implementan los mismos especificados en el estándar IEEE 802.11⁷.

A continuación se ofrece una descripción detallada de las características técnicas de capa 1 y 2 que especifica el estándar IEEE 802.11a.

⁷ IEEE Standard. Op cit.

3.1 Arquitectura

El estándar contempla tres topologías de red básicas:

3.1.1 Independent Basic Service Sets (IBSS)

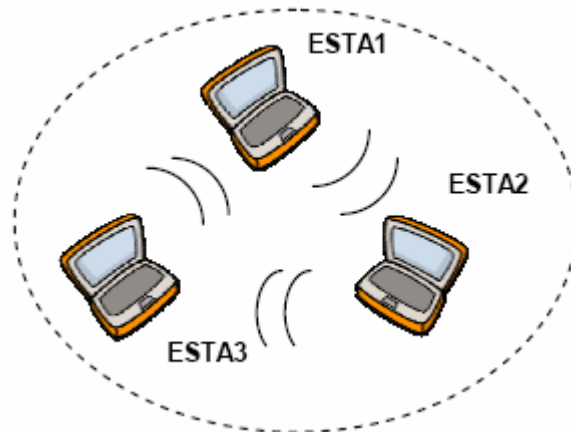


Figura 3.1 BSS independiente

Consiste en un grupo de estaciones que se comunican entre sí directamente sin necesidad de un AP, cada estación debe estar dentro del rango de señal de la otra para poder establecer la comunicación, estas redes no tienen dispositivos para su administración, por lo que una de las estaciones se encargará de realizar ésta tarea. La figura 3.1 esquematiza esta arquitectura.

3.1.2 Basic Service Sets (BSS)

Se basa en un conjunto de estaciones que se comunican entre sí por medio de un AP, el cual se encarga de realizar las tareas de administración de la red. En este tipo de topología cada terminal debe asociarse a la red, en este proceso el AP verifica si la terminal tiene permiso de unirse a la red y decide si la asocia o no.

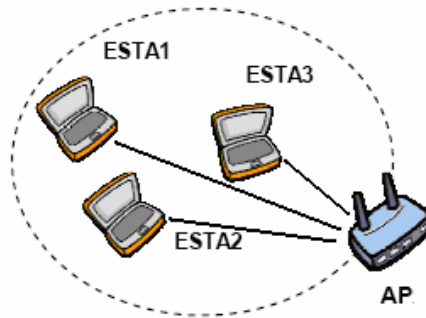


Figura 3.2: Basic Service Set

En la figura 3.2 se aprecia como cada uno de los equipos pertenecientes a la red envía sus paquetes al AP.

3.1.2. Extended Service Set (ESS)

Se trata de un grupo de redes BSS conectadas entre sí mediante un sistema de distribución (en inglés Distribution System -DS-), la conexión de las redes BSS se puede realizar por medios cableados o inalámbricos, de esta manera se logran cubrir áreas geográficas mayores a las obtenidas mediante redes BSS o IBSS.

En la figura 3.3 se puede ver como el área de cobertura de la red aumenta gracias al uso de dos AP.

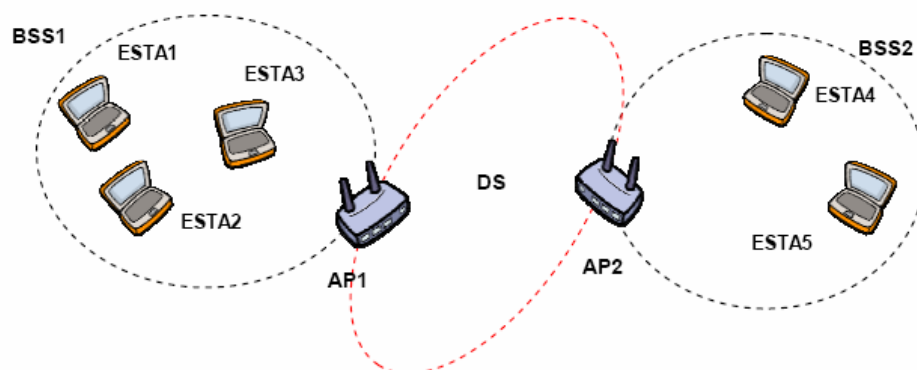


Figura 3.3: ESS

3.2 Servicios de red

Al realizar el estándar la IEEE definió nueve servicios de red, los mismos son implementados por los fabricantes de la manera que estos consideren más conveniente. Solamente tres de los servicios están relacionados con la transferencia de datos, los otros seis se ocupan de tareas de administración de la red. Estos servicios se encuentran en la capa 2 del modelo de referencia OSI. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos servicios.

3.2.1. Distribución

Este servicio es usado por las estaciones que se encuentran en redes BSS o ESS cada vez que una de ellas desea transmitir datos. Cuando el AP recibe un paquete utiliza este servicio para hacerlo llegar a su destino, todos los paquetes que pasan a través del AP utilizan este servicio.

3.2.2. Integración

Se utiliza para permitir la interconexión de la WLAN con redes externas a través del sistema de distribución, este servicio no está especificado en el estándar ya que le corresponde al sistema de distribución establecer los parámetros para el acoplamiento de las dos redes.

3.2.3. Asociación

Cada vez que una estación se une a la WLAN de tipo BSS o ESS la misma debe ser asociada por el AP, para que la estación intercambie datos con otros equipos de la red debe estar asociada, de lo contrario no existirá conexión entre ella y el AP, por lo que ningún paquete de datos podrá ser enviado a equipos pertenecientes a la red.

3.2.4. Reasociación

Cuando una terminal móvil se desplaza a través de una red ESS mide los niveles de señal de los APs cercanos, si esta determina que es conveniente cambiar de AP, entonces debe realizar un proceso de reasociación, el cual le permite terminar la asociación con el AP al cual estaba conectada y asociarse a un nuevo AP.

3.2.5. Desasociación

Se trata de terminar la asociación existente con un AP, una vez realizada la Terminal deja de pertenecer a la WLAN y cualquier dato perteneciente a ésta que se encuentre en el sistema de distribución queda eliminado.

3.2.6. Autenticación

En busca de brindar mayor seguridad en la WLAN se implementa el servicio de autenticación, todo equipo debe ser autenticado antes de poder ser asociado a la red, por lo que ningún equipo que falle las pruebas de autenticación podrá acceder a los recursos de la red.

3.2.7. Desautenticación

La desautenticación es utilizada para terminar la relación de autenticación existente entre un AP y una estación, debido a que la autenticación es necesaria para que se produzca la asociación entre estos dos equipos, la utilización de este servicio implica que la terminal ya no estará asociada al AP y por ende quedara fuera de la WLAN.

3.2.8. Privacidad

Las señales emitidas en una WLAN son vulnerables, cualquier terminal que se encuentre en las adyacencias de la red puede recibirlas o incluso puede ingresar a la red, y hacer uso de los recursos de la misma.

3.2.9. MAC Service Data Unit deliver

Todos los equipos que operan en una red poseen una dirección MAC única, la misma está constituida por un número binario de 48 bits, el cual se divide en dos partes: los primeros 24 bits identifican al fabricante del dispositivo, los 24 bits restantes son administrados por el fabricante para diferenciar a cada dispositivo creado, no se permite la existencia de equipos con la misma dirección MAC.

El servicio MSDU utiliza estas direcciones para hacer entrega de los paquetes de datos que se transmiten en una WLAN, se utilizan las direcciones MAC por ser únicas para cada equipo, lo cual garantiza que los paquetes lleguen sólo al destinatario correspondiente.

3.3. Capa de Enlace de Datos o MAC

La Capa MAC está encargada de garantizar el intercambio confiable de datos, la misma controla la forma en que los dispositivos acceden al medio, así como también la manera en que envían los datos.

La Capa MAC de la redes 802.11 difiere poco de su contraparte cableada Ethernet, la principal diferencia entre las dos radica en que Ethernet utiliza medios cableados para la transmisión de los datos, por lo que es posible la detección de una colisión, mientras que en las WLAN no es posible detectar una colisión ya que la interfaz que se utiliza es el aire, en donde el rango de

posibles valores de las señales es muy amplio, por esta razón se utiliza el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance) en vez del CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection).

En las especificaciones MAC del estándar existen dos modos de funcionamiento, el primero llamado Función de Coordinación Distribuida (en ingles Distributed Coordination Function -DCF-) es de uso obligatorio en todos los dispositivos, y el segundo conocido como Función de Coordinación Puntual (en ingles Point coordination Function -PCF-), el cual es opcional y pocos fabricantes lo implementan. DCF es un modo de funcionamiento asíncrono que no garantiza el acceso al medio, mientras que PCF es un modo síncrono, que establece periodos de acceso al medio libre de espera, ideal para aplicaciones de tiempo real como voz y vídeo. Ambos métodos de acceso al medio pueden coexistir en una WLAN⁸.

3.3.1 Función de Coordinación Distribuida (DCF)

Este es el método de acceso al medio principal del estándar, el mismo concede las mismas oportunidades para cada estación, es decir ningún dispositivo tiene prioridad.

DCF se basa en la utilización del protocolo CSMA/CA, el cual consiste en que la estación que desea transmitir un paquete de datos debe detectar el canal, si el canal está inactivo puede empezar la transmisión, de lo contrario continua censando el medio hasta que se desocupe, entonces espera un tiempo aleatorio antes de comenzar la transmisión.

Este tiempo aleatorio es llamado backoff delay y se utiliza para evitar que ocurran colisiones cuando dos estaciones se encuentran esperando que el

⁸ IEEE Communications Magazine. "A Comparison of the Hiperlan/2 and IEEE 802.11a Wireless LAN Standars", Mayo 2002

medio este libre. La recepción de los paquetes enviados se confirma mediante un paquete de Acknowledgment (ACK) enviado por el receptor, en caso de no recibir el ACK se reenvía el paquete.

En redes grandes con muchos usuarios surge una situación especial conocida como el nodo escondido. Este consiste en que un terminal 1 transmite información con la potencia necesaria para que sea escuchado por la estación receptora (2), pero no por otro terminal 3 que también desea transmitir paquetes a la estación 2, por no detectar la transmisión de la terminal 1, la terminal 3 puede suponer en forma errónea que el medio se encuentra desocupado y comenzar a transmitir, lo que produciría una colisión en el dispositivo receptor. En la figura 3.4 se muestra como la terminal 3 se encuentra fuera del alcance de la transmisión que realiza la terminal 1, en esta situación nos encontramos en presencia del problema del nodo escondido.

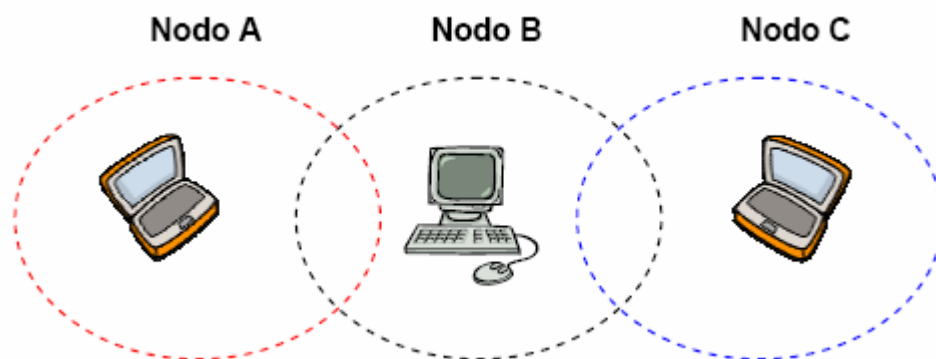


Figura 3.4: Ejemplo del nodo escondido

Para resolver el problema del nodo escondido se utiliza el protocolo Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS), este método de acceso es similar al antes expuesto, con la diferencia que cuando la estación está lista para transmitir no envía la información, sino un paquete de petición del medio (RTS), si la terminal receptora considera que el medio puede ser utilizado envía un paquete concediéndole permiso para transmitir (CTS), y a su vez emite un paquete informando a las demás estaciones que el medio estará siendo utilizado por un determinado lapso de tiempo, este paquete se conoce como Network Allocation

Vector (NAV). Cuando el nodo receptor recibe el paquete satisfactoriamente envía un ACK, lo cual da por concluido el intercambio de información.

Existen dos mecanismos para detectar el medio físico y el virtual, el primero consiste en que la estación detecta si existe alguna señal en el canal, el segundo utiliza el NAV para determinar si algún equipo está haciendo uso del canal. El NAV es una trama publicada periódicamente por el AP que indica por cuánto tiempo el medio será utilizado y cuando quedará libre. Las estaciones que desean transmitir un paquete deben verificar tanto en forma física como virtual el estado del medio.

3.3.2. Función de Coordinación Puntual (PCF)

La función de coordinación puntual se utiliza en aplicaciones de tiempo real como voz y vídeo, en donde los retardos para acceder al medio no son tolerables, por lo que se necesitan servicios de tipo síncronos. La mayoría de los fabricantes no implementan PCF en sus dispositivos debido a que aumenta los encabezados de trama.

El AP es el elemento encargado de realizar las tareas de control requeridas por este protocolo, se suele denominar a este punto coordinador (en inglés Point Coordinator PC), por lo que no se puede usar este protocolo en redes Ad-Hoc.

3.3.3. Espaciado entre tramas

Entre la finalización de una transmisión y el comienzo de otra se debe esperar un tiempo determinado. Existen cuatro periodos de tiempo distintos que dependen del tipo de trama que se desea enviar. Cuando existe una aplicación de alta prioridad como por ejemplo voz o vídeo, los paquetes deben transmitirse en el menor tiempo posible, por lo que el espaciado entre tramas debe ser pequeño.

Short InterFrame Space (SIFS)

Es utilizado cuando se van a transmitir tramas de la más alta prioridad, como ACK y RTS/CTS. Cualquier trama distinta debe esperar más tiempo para poder acceder al medio. El tiempo de espera es de 16 μ s.

PCF InterFrame Space (PIFS)

Es el periodo de espera requerido cuando se hace uso del protocolo PCF. El PC puede tomar control del medio solo después de que el periodo PIFS haya transcurrido. El tiempo de espera es de 25 μ s.

DCF InterFrame Space (DIFS)

Es el tiempo de espera para que las estaciones que utilizan DCF puedan hacer uso del medio. Se utiliza para tramas que no tienen requisitos de tiempo críticos, por lo que su nivel de prioridad es bajo. El tiempo de espera es de 34 μ s.

Extended InterFrame Space (EIFS)

Es utilizado solo cuando ocurren errores en la transmisión de una trama.

La relación de tamaño que existe entre los distintos períodos de espera antes mencionados es la siguiente: SIFS <PIFS <DIFS <EIFS. Así se garantiza que las tramas más importantes accedan al medio primero. La figura 3.8 muestra los periodos de espera y el retardo aleatorio (backoff delay) que debe esperar un equipo antes de poder enviar una trama.

3.3.4. Estructura de las tramas

Cuando una aplicación requiere enviar información a otra estación, los datos deben ser divididos en varios grupos más pequeños, los cuales se depositan en paquetes. Cada uno de estos posee un encabezado y una cola que se utilizan para el control de la transmisión. Este proceso es realizado por la Capa MAC antes de pasar la trama a la Capa Física, la cual agregará otro encabezado y otra cola al paquete. Cabe destacar que este proceso aumenta el tamaño del paquete, reduciendo así la velocidad efectiva de transmisión, por lo que se requiere que los encabezados sean lo más pequeño posible.

Existen 3 tipos de tramas en la Capa MAC:

Tramas de administración

Son paquetes pequeños utilizados para la administración de la red. Los servicios de red mencionados en la sección 3.2 emplean estas tramas para llevar a cabo sus funciones.

Tramas de control

Su tamaño es realmente pequeño ya que se emplean frecuentemente. Son utilizadas antes y después de la transmisión de un paquete de datos para controlar el correcto intercambio de información entre las estaciones. Los ACK, RTS, CTS son algunas de las tramas de control.

Tramas de datos

Las tramas de datos tienen un tamaño variable, en éstas se depositan los datos que luego serán enviados por medio de los recursos de la Capa

Física. Su estructura ésta formada por tres partes: encabezado, cuerpo y cola.

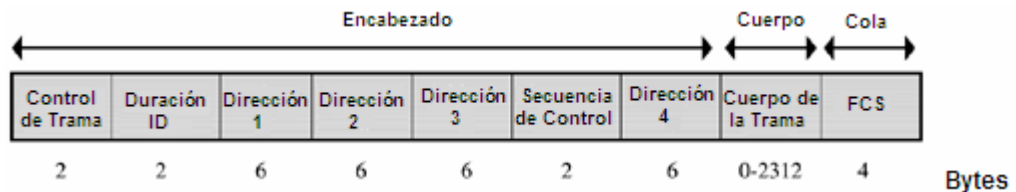


Figura 3.5: Trama MAC

Encabezado de la trama de datos

Se utiliza para procedimientos de control en el envío de datos, se divide en 7 campos distintos que ocupan un total de 30 bytes. En la figura 3.9 se puede apreciar como esta compuesta una trama MAC, también se especifica el tamaño en bytes de cada uno de los campos que la conforman. A continuación se explica cada uno de estos campos.

Control de trama

Este campo está formado por un grupo de 2 bytes (16 bits) divididos a su vez en 11 pedazos, cada uno con una función de control específica (observe la figura 3.6). El primero se denomina protocolo, el mismo ocupa los dos primeros bits del paquete y permite que dos versiones del protocolo funcionen simultáneamente en una celda. Luego se encuentra el subcampo de tipo que también ocupa dos bits, el cual indica si la trama es de control, administración o de datos. A continuación está el subcampo de subtipo, éste ocupa cuatro bits y sirve para identificar si el paquete es un RTS, ACK o CTS. Los ocho subcampos siguientes ocupan un bit cada uno y brindan información referente al origen de la trama, fragmentos restantes, administración de energía, encriptación WEP, etc.

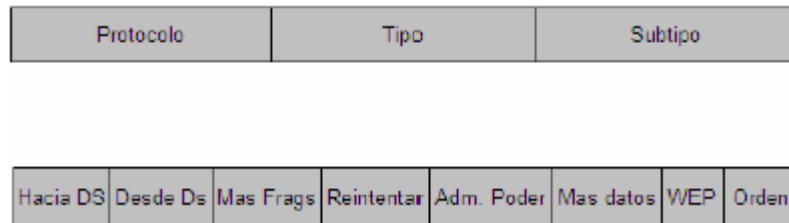


Figura 3.6: Subcampos del campo de control de trama

Duración

Se utilizan dos bytes para este campo, con este se indica el tiempo estimado durante el cual la trama estará haciendo uso del canal.

Dirección

Existen cuatro campos de dirección de seis bytes cada uno. Dos de estos campos son utilizados para indicar cual es la estación de origen y cual es la de destino, los otros dos indican cuales son los APs origen y destino, en caso de que exista la necesidad de utilizar más de un AP para hacer llegar el paquete a su destinatario.

Secuencia

Permite indicar el orden de los fragmentos que se envían, es decir se enumeran los fragmentos para su posterior reordenamiento. Este campo ocupa dos bytes.

Cuerpo de la trama de datos

Es la parte del paquete que contiene la carga útil, los datos. Su tamaño puede variar desde 0 bytes hasta 2312 bytes, de acuerdo a las necesidades de transmisión.

Cola de la trama de datos

También conocido como campo Frame Check Sequence (FCS), se emplea para verificar la integridad del paquete mediante el algoritmo CRC-32, de esta forma se puede conocer si el paquete recibido ha sido alterado durante el proceso de transmisión. El tamaño de este campo es cuatro bytes.

3.3.5. Seguridad

La seguridad en una WLAN es un elemento crítico que debe ser tomado en cuenta a la hora de implementarla. El uso de un medio de transmisión inalámbrico implica que cualquier intruso puede acceder a las señales de información que se transmiten en la red. En busca de dotar con la mayor seguridad posible a las WLAN se especifican en el estándar varios métodos o protocolos de seguridad.

SSID (Service Set Identifier)

Es el nombre de la red, el mismo debe ser configurado en el AP, el cual solicitará a las terminales que intenten unirse a la WLAN el SSID de la red para poder autenticarlas. Este método ofrece un nivel de seguridad muy bajo.

WEP (Wired Equivalent Privacy)

Es un protocolo de encriptación de datos basado en el algoritmo RC4, su creador es Ron Rivest⁹. El estándar establece el uso de algoritmos de encriptación de 64 bits y de 128 bits.

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Ronald_Rivest

3.4. Capa Física o PHY

La Capa Física establece las especificaciones que permiten transformar los paquetes de datos provenientes de la Capa MAC en señales eléctricas analógicas apropiadas para ser transmitidas al medio, que en este caso es el aire. También debe realizar el proceso inverso cuando se recibe información, es decir, captar señales presentes en el aire y transformarlas en paquetes de datos binarios que serán entregados a la Capa MAC.

Cuando una terminal realiza una transmisión la información llega a la Capa Física desde la Capa MAC en forma de paquetes, también conocidos como Protocol Data Unit (PDU) los cuales están compuestos por bits, estos deben ser codificados en señales eléctricas que posteriormente serán moduladas y transmitidas al medio haciendo uso de antenas. Si por el contrario, la terminal se encuentra recibiendo datos, ésta llevara a cabo el proceso inverso, es decir, la antena capta la señal que se encuentra en el medio y la demodula, con esto se obtiene un tren de bits que se decodifica y se transforma en un paquete apto para ser entregado a la Capa MAC.

La modulación de una señal se realiza en dos etapas, una en bandabase y la otra en pasabanda. En la primera se realiza la codificación de línea, la cual consiste en tomar los PDU y convertirlos en formas de onda binarias utilizando algún tipo de código de línea (Manchester, NRZ, Bipolar etc.), el espectro de la señal resultante se encuentra contenido en frecuencias muy bajas, alrededor de 0 Hz. En la segunda etapa se lleva a cabo la modulación pasabanda, ésta consiste en mapear la forma de onda binaria en una portadora de alta frecuencia, con esto se logra elevar la frecuencia de la señal resultante para así poder transmitirla haciendo uso de antenas de tamaños físicamente realizables. Se utilizan varios tipos de modulación digital para realizar este proceso (QAM, BPSK, etc.).

En el estándar se ha dividido la Capa Física en dos subcapas: la subcapa Physical Medium Dependent (PMD) y la subcapa Physical Layer Convergence Procedure (PLCP). Observe la figura 3.7, en esta se aprecia la forma en que se ha dividido la Capa Física.

- PMD: en esta se definen las características físicas y los métodos para enviar y recibir los datos a través del medio inalámbrico. Se encarga del manejo de los siguientes parámetros: sincronización, detección del medio, tipo de señal, frecuencia de operación, amplitud de la señal, esquema de modulación y todas las demás características de tipo físico.
- PLCP: en esta se establece la forma en que los PDU provenientes de la Capa MAC serán mapeados en la Capa Física para convertirlos en paquetes adecuados para ser entregados al medio, en otras palabras traduce el paquete MAC lógico en un paquete físico. Se encuentra en la parte superior de la Capa 1, actuando como un intermediario entre las dos capas.

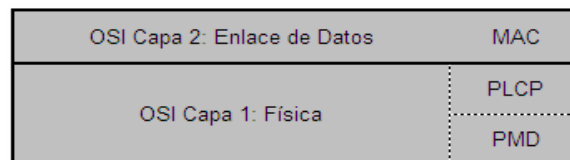


Figura 3.7: Arquitectura de la Capa Física

Existen diferencias importantes a nivel de Capa Física entre un medio cableado y uno inalámbrico, a continuación se mencionan algunas diferencias de los medios inalámbricos:

- Las transmisiones no están protegidas de señales externas.
- El medio es menos confiable, su función de transferencia varía.
- La topología de la red es dinámica.

- La atenuación es elevada y varía de acuerdo al lugar de emplazamiento de la red.
- No se puede garantizar que una estación detecte las transmisiones de las demás estaciones, a pesar de que estas pertenezcan al mismo dominio de colisión, esto genera el problema del nodo escondido.
- Las colisiones no se pueden detectar debido al amplio rango de valores que toman las señales en el medio.
- El ancho de banda disponible es mucho menor.

Todas las características mencionadas anteriormente representan un reto para los diseñadores de una red WLAN¹⁰, estos deben buscar soluciones a cada una de estas dificultades. El estándar IEEE 802.11a se basa fundamentalmente en el uso de OFDM¹¹ para transmitir la información,

3.4.5. Parámetros utilizados en el estándar 802.11a

Tipo de canal

Se trata de un canal inalámbrico con ruido blanco gaussiano y con multitrayectos que generan desvanecimientos variables en el tiempo siguiendo una distribución probabilística tipo Rayleigh, el retardo del canal puede ser hasta de 200 ns en el peor de los casos.

¹⁰ Para mas información acerca de la arquitectura del estándar 802.11a consultar GAST.Matthew. "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", O'Reilly Publisher,Abril 2002,p 30-45

¹¹ Ver Anexo 1

Velocidad de transmisión

El prefijo cíclico (GI) se escoge de tal manera de que su duración sea mayor al retardo del canal, generalmente entre dos a cuatro veces éste. En el estándar se especifica un GI de 800 ns, es decir cuatro veces el retardo del canal. La duración de un símbolo debe ser considerablemente mayor al GI, de lo contrario la eficiencia del sistema disminuye, por otra parte si se aumenta demasiado su tamaño las tareas de procesamiento se incrementan demasiado. Se estableció entonces una duración del símbolo de 4 μ s lo que es igual a cinco veces la duración del GI, este tiempo se divide en 800 ns de GI y 3.2 μ s para los datos. Durante estos 3.2 μ s se llevara a cabo la operación FFT, este periodo se conoce como tiempo de integración.

La elección del tiempo del símbolo fija la separación que existe entre las subportadoras, recordemos que esta es igual a $1/T_{sim}$ por lo que al tener un tiempo de integración de 3.2 μ s obtenemos una separación de las subportadoras de 0.3125 MHz. Entonces las 52 subportadoras que forman la señal OFDM ocupan poco más de 16 MHz. No se utiliza todo el canal para evitar que las bandas laterales de la señal interfieran con los canales adyacentes.

La frecuencia de operación fue uno de los aspectos claves en el desarrollo del estándar, se escogió la banda U-NII de 5 GHz para evitar usar la banda ISM de 2.4 GHz, la cual se encuentra repleta de equipos operando en ella, cada uno de los cuales representa una amenaza de interferencia para el sistema de comunicaciones. La banda U-NII posee un ancho de banda de 300 MHz que se dividen en canales de 5 MHz (según la FCC), en el estándar se determina el uso de canales de 20 MHz para el intercambio de información, lo que implica que cada canal utilizado por la WLAN estará formado por cuatro canales de la banda U-NII, cada uno de 5 MHz.

Organismo Regulador	Bandas (GHz)	Numero de los Canales	Frecuencia Central del Canal (MHz)
Estados Unidos FCC	U-NII Parte Baja de la Banda (5.5-5.25)	36	5180
		40	5200
		44	5220
		48	5240
Estados Unidos FCC	U-NII Parte Media de la Banda (5.25-5.35)	52	5260
		56	5280
		60	5300
		64	5320
Estados Unidos FCC	U-NII Parte Alta de la Banda (5.725-5.825)	149	5745
		53	5765
		57	6585
		161	5805

Tabla 3.1: Canales utilizados en el estándar

En la parte baja y media de la banda se dispone de 200 MHz en donde se alojan ocho canales WLAN, en la parte alta se encuentran 100 MHz adicionales en donde se ubican cuatro canales más, obteniéndose así 12 canales independientes para la transmisión de la información. Cada canal albergará 52 subportadoras ortogonales espaciadas 0.3125 MHz entre ellas, cuatro de las subportadoras están destinadas para el envío de señales pilotos, estas señales permiten estimar parámetros importantes en el receptor. La separación entre cada una de las señales piloto es de 4.375 MHz. En la tabla 3.1 se muestran los canales y la potencia máxima que se puede transmitir en cada uno de estos.

Características PLCP

La Capa Física debe añadir su propio encabezado y cola al paquete proveniente de la Capa MAC. Al comienzo de cada trama OFDM se agrega un

encabezado, el cual esta compuesto por un grupo de 12 símbolos utilizados para realizar las tareas de sincronización entre los equipos y para la estimación del canal, y por un símbolo conocido como el campo de señal, que sirve para especificar la velocidad de la transmisión y su longitud (número de bits de datos).

Los 12 símbolos antes mencionados se conocen como preámbulo y se dividen en 10 símbolos cortos y 2 símbolos largos, los cortos se envían sin hacer uso del GI mientras que los largos se transmiten precedidos por el GI y son utilizados para estimar la respuesta impulsiva del canal (ver figura 3.8).

El campo de señal esta formado por 24 bits que contienen información acerca de la velocidad de transmisión (cuatro bits) y la longitud del paquete, al final de este campo se añaden seis bits que se fijan en cero. La transmisión de este campo siempre se lleva a cabo usando modulación BPSK y una tasa de código de 1/2.

Luego del preámbulo y el campo de señal se encuentran los símbolos que contienen los datos (información), el número de bits que se envían en un símbolo OFDM depende de la modulación utilizada, mas adelante se explica en detalle este punto.

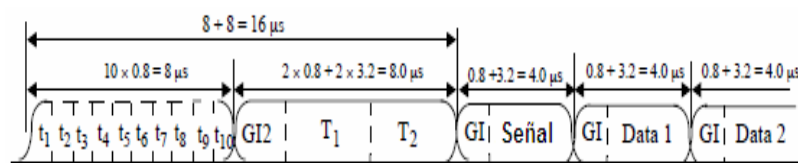


Figura 3.8: Estructura de una trama OFDM

Cuando el campo de datos antes mencionado termina, da lugar al último campo de la trama OFDM, el mismo se conoce como la cola de trama. Este campo se encarga de agregar bits de relleno en caso de que sea necesario ya que los bloques de bits deben ser un múltiplo de 48. Esto debido a que 48 es el número de subportadoras de datos en la señal OFDM y en cada una de ellas

se debe colocar símbolo modulado digitalmente (número complejo), en caso de utilizar esquemas de modulación digital que utilicen K bits por símbolo se requiere rellenar con $48 * k - N_{\text{datos}}$ bits, donde N_{datos} es la cantidad de bits de datos a transmitir. En este campo también se agregan seis bits para finalizar el código convolucional.

Características PMD

En esta sección se especifican los distintos tipos de modulación y los parámetros físicos utilizados en la Capa Física.

El estándar establece el uso de distintos esquemas de modulación que se combinan con varias tasas de código para brindar un grupo de velocidades de transmisión distintas, la utilización de alguna velocidad en específico depende de la calidad del enlace inalámbrico, se necesita cierto nivel en la relación señal a ruido, en cada velocidad para poder garantizar una transmisión confiable, es decir para mantener un nivel de BER aceptable. En la tabla 3.2 se observan los valores mínimos de señal necesarios en cada velocidad de transmisión, se muestra que altas velocidad requieren mayor nivel de potencia.

Velocidad (Mbits/s)	Sensibilidad Minima (dBm)
6	-82
9	-81
12	-79
18	-77
24	-74
36	-70
48	-66
54	-65

Tabla 3.2: Requerimientos de potencia para cada velocidad de transmisión

Los esquemas de modulación que se especifican en el estándar son los siguientes:

BPSK en el cual se transmite un bit por símbolo, QPSK utiliza 2 bits por símbolo, 16 QAM que emplea 4 bits por símbolo y 64 QAM que envía 6 bits por símbolo. Los esquemas que utilizan mayor número de símbolos en su constelación permiten enviar mayor cantidad de bits por símbolo por lo que aumentan la velocidad de transmisión, sin embargo requieren de un alto valor en la relación SNR. Las tasas de código utilizadas son las siguientes: $1/2$, $3/4$ y $2/3$.

Para entender cuantos bits se transmiten en un símbolo, se debe empezar por conocer que en cada segundo se transmiten 250 mil símbolos OFDM ($1/4\mu\text{s}$), independientemente del código de corrección de errores o del tipo de modulación utilizada. Los símbolos OFDM están formados por 48 subportadoras de datos (52 en total si se incluye las señales piloto), por lo tanto si multiplicamos el número de subportadoras de datos por la cantidad de símbolos OFDM que se envían en un segundo obtenemos 12 millones de símbolos M-QAM o M-PSK por segundo, la cantidad mínima de bits que se transmiten en un segundo sería por lo tanto 12 millones (usando BPSK) y la cantidad máxima de bits sería 72 millones (usando 64 QAM). Sin embargo es oportuno mencionar que todos esos bits son datos, debido al uso del código de corrección de errores esa cantidad se compone tanto de bits de información como de bits redundantes utilizados para la corrección de errores.

Por ejemplo si se utiliza modulación BPSK (un bit por símbolo BPSK) y una tasa de código de $1/2$ se transmitirían 6 millones de bits de información por segundo y seis millones de bits de redundancia por segundo. La tabla 3.3 muestra distintas modulaciones y tasas de código que se especifican en el estándar.

Velocidad Mbits/s	Modulación	Tasa de Código	Bits por Subportadora	Bits por Símbolo OFDM	Bits de Datos por Símbolo OFDM
6	BPSK	$\frac{1}{2}$	1	48	24
9	BPSK	$\frac{3}{4}$	1	48	36
12	QPSK	$\frac{1}{2}$	2	96	48
18	QPSK	$\frac{3}{4}$	2	96	72
24	16-QAM	$\frac{1}{2}$	4	192	96
36	16-QAM	$\frac{3}{4}$	4	192	144
48	64-QAM	$\frac{2}{3}$	6	288	192
54	64-QAM	$\frac{3}{4}$	6	288	216

Tabla 3.3: Modulación y tasas de código

4. TECNOLOGIA MIMO

Las agrupaciones de antenas MIMO constituyen el principal avance tecnológico conocidos para aumentar la capacidad de los sistemas móviles actuales, y es la principal base del nuevo estándar de WIFI explicado en el capítulo 5 de esta monografía.

En este capítulo se describe el funcionamiento de este tipo de agrupaciones, que se basa en aprovechar la diversidad espacial¹² en la propagación de diferentes antenas, transmisión multicanal, principio básico, implementación de un canal MIMO genérico y MIMO distribuido.

4.1 Introducción

El uso de agrupaciones de antenas de radio para mejorar la capacidad no es nueva, ya que si ponemos un ejemplo particular, y a la antigua antena YAGI¹³ de televisión ubicadas en los tejados de las casas, que posee una agrupación de sencilla de antenas de varilla que al direccionarlas hacia un operador local se obtendrá una potencia radioeléctrica diez veces mayor al que obtendríamos con una sola varilla. Generalizando este ejemplo tan simple, conectando adecuadamente entre si varias antenas iguales se obtiene una antena combinada que en una dirección determinada presenta una ganancia varias veces superior a al de antena, mientras que en otras direcciones la ganancia es varias veces inferior, esto se conoce como el nombre de arrays.

Los sistemas MIMO por el contrario no intercambian ganancia por direccionalidad, basan su funcionamiento en un aprovechamiento de la diversidad de caminos de propagación entre diferentes antenas. Para encender

¹² Ver capítulo 1

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_Yagi

este mecanismo que no es evidente vale la pena repasar la formula de shannon y su generalizaron al caso de antenas múltiples.

El teorema de shannon¹⁴ indica cual es la capacidad de una canal de comunicación, entendiéndose por capacidad de un canal la máxima velocidad de transmisión en bit por segundo que se puede trasmitir por el sin ocurrir errores en la recepción .De acuerdo con este teorema, la capacidad C se puede calcular mediante la expresión (4.1)

$$C(bits) = B.\log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (4.1)$$

Donde:

B,es el ancho de banda .

S/N, es la relación señal a ruido en la entrada del receptor.

Este valor de capacidad es un máximo teórico inalcanzable en la práctica, al que sin embargo es posible acercarse en los sistemas reales con un margen en la señal a ruido de medio decibelio.

Si en el canal se emplea una disposición de antenas o arrays de n antenas combinadas de una forma optima para que al receptor le llegue n veces más campo eléctrico, la capacidad resultante C_{ARRAY} cuando la antena del receptor esta perfectamente orientada será.

$$C_{ARRAY}(bits) = B.\log_2\left(1 + n^2 \frac{S}{N}\right) \quad (4.2)$$

En cambio si se dispone de n canales independientes iguales, la capacidad combinada $C_{n \text{ canales}}$ es:

¹⁴ Para mas información : <http://www.cs.unibo.it/~margara/shannon.PDF>

$$C_{n\text{canales}}(\text{bits}) = n.B.\log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (4.3)$$

De la comparación de las expresiones (4.2)y(4.3) se desprende que se consigue una capacidad mayor con n enlaces radio independientes que con una disposición de n antenas y además no es necesario realizar un direccionamiento de antenas en forma especial .Pues bien se puede decir que un sistema MIMO es aquel en que con n antenas en transmisión y otras en recepción se consigue implementar un conjunto de n enlaces radio independientes sobre unos mismos recursos radio del espectro ,tiempo y código. Como conseguirlo y bajo que condiciones es el objeto de este capítulo.

4.2 Transmisión multicanal: la matriz H de transmisión

La teoría y la practica de los sistemas MIMOS se centran entorno al concepto de matriz de transmisión .en un enlace radio de una sola parejas de antenas ,una trasmisora y la otra receptora, la relación de lo que se trasmite por una antena y se recibe por la otra se puede expresar en el dominio de la frecuencia como .

$$y(w) = h(w) \bullet x(w) \quad (4.4)$$

Donde $x(w)$ es el fasor complejo de la tensión a la entrada de la antena trasmisora, $y(w)$ el de la tensión a la salida de la antena receptora y $h(w)$ la función de transferencia compleja del canal de radio.

Tal como se muestra en la figura (4.1), en un sistema de varas antenas la variación puede ser en principio diferente entre cada una de las antenas trasmisoras y cada una de las receptoras .para caracterizarlas no basta con una ecuación sencilla como la descrita en (4.4); es necesarias un juego de tantas ecuaciones como parejas de antenas .En este sentido en el caso de las antenas mostradas en la figura 4.1 se tiene que:

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 \quad (4.5)$$

$$y_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2$$

Expresando estas dos ecuaciones matricial se obtiene que:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} ; [y] = H \cdot [x] \quad (4.6)$$

En esta expresión, $[y]$ y $[x]$ son los vectores de las tensiones de salida y de entrada y H la denominada matriz de transmisión.

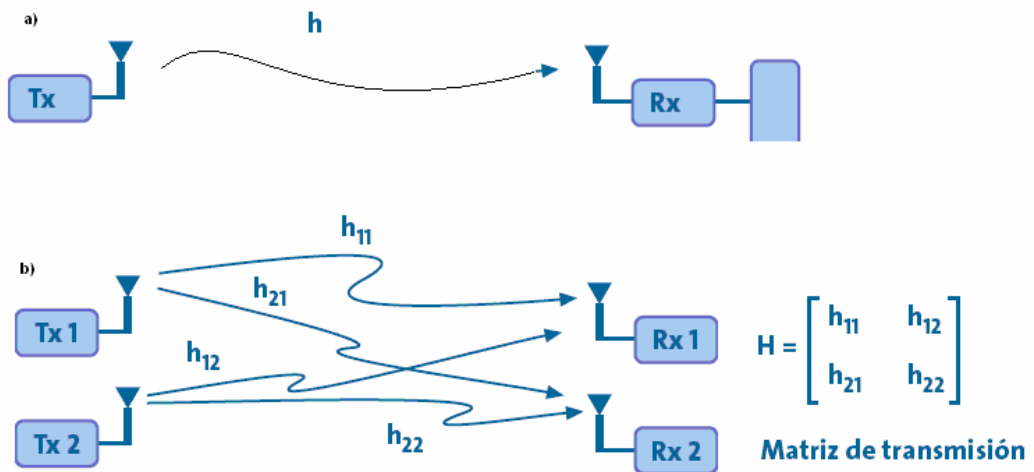


Figura 4.1 :a) propagación entre dos antenas ; b) propagación entre antenas múltiples

La ecuación (4.6) no lo es del todo completa para reflejar un sistema multicanal de comunicaciones, por que le hace falta el efecto del ruido de entrada de los receptores. Sin embargo esto se consigue fácilmente añadiendo un vector $[n]$ en esa ecuación, donde sus componentes n_i representan los niveles de tensión de ruido que inevitablemente contaminan las señales y_i obteniéndose la ecuación

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad ; [y] = H \cdot [x] + [n] \quad (4.7)$$

4.3 Principio básico de los sistemas MIMO

De la propia definición del concepto de información, que es máxima cuando la indeterminación de lo que va a suceder es máxima, se deduce que en el caso de la transmisión multicanal la capacidad es máxima cuando los canales son independientes, tal como se mencionó en la introducción.

Aplicando este hecho a las ecuaciones (4.6) y (4.7), lo cual sucede cuando la matriz H es diagonal (H=D), es decir cuando una antena receptora recibe señal únicamente de una antena trasmisora ,se dispone de la ecuación :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} = d_1 & 0 \\ 0 & h_{21} = d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad ; \quad [y] = D \cdot [x] + [n] \quad (4.8)$$

Se aclara que, salvo en los casos extremos o de laboratorios en que los caminos de propagación entre antenas deliberadamente aislados la matriz H no es diagonal, hay propagación entre cada antena trasmisora y cada una de las receptoras.

Ahora para demostrar del porque se aumenta la ganancia en MIMO ,se parte del concepto de diagonalizar la matriz trasmisora H que es equivalente a procesar las señales de salida y de entrada de forma que la matriz que presenta el conjunto proceso + propagación sea diagonal P_r y P_t tal que:

$$P_r^H \cdot H \cdot P_t = D \quad (4.8)$$

Esto implica que se puede hacer el procedimiento siguiente

- En el trasmisor se multiplica el vector de salida $[x]$ por la matriz P_t antes de radiar las señales por las antenas obteniéndose la ecuación

$$[x'] = P_t \cdot [x] \quad (4.9)$$

- A la salida de las antenas receptoras el vector recibido $[y']$ se multiplica por la matriz P_r^H obteniéndose la ecuación :

$$[y] = P_r^H \cdot [y'] = P_r^H \cdot H \cdot [x'] = P_r^H \cdot H \cdot P_t \cdot [x] = D \cdot [x] \quad (4.10)$$

El resultado que se refleja en la figura 4.2 es que obtienen caminos equivalentes de propagación independientes, es decir caminos de propagación que combinados con el preprocesado en el transmisor y el postprocesado en el receptor proporcionan canales independientes dando lugar a la ecuación

$$[y] = D \cdot [x] \quad (4.11)$$

A las agrupaciones de antenas en las que se realiza este proceso que es dinámico porque el canal varía con el tiempo se les denomina de entrada y salida MIMO. El cálculo de P_r , P_t y D se puede encontrar en¹⁵

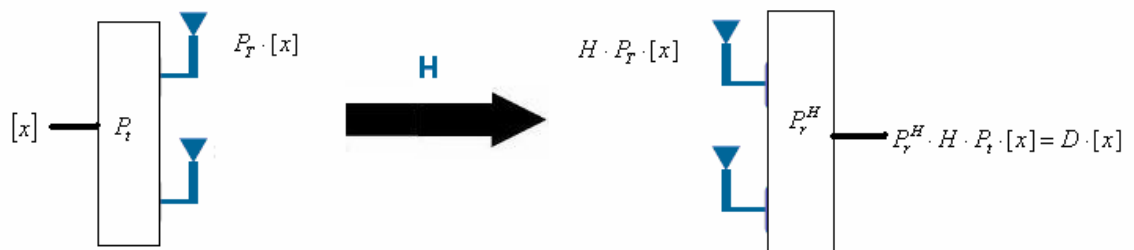


Figura 4.2: procesamiento MIMO que da lugar a caminos independientes

4.4 Capacidades de los canales MIMO

Una vez calculadas las matrices de transmisión y recepción P_r , P_t y tras realizar el procesamiento de señal correspondiente se obtienen tantas señales de salida independientes como parejas de antenas haya, dando lugar a la ecuación

¹⁵ WSEWOLD Warzanskyj, GARCIA Luís, CAMPOY Miguel, "Agrupaciones de antenas MIMO: una promesa de aumento de capacidad en comunicaciones móviles", Fernando Fournon González –Barcía, junio 2005. Anexo1, pag31

$$y_i = d_i \cdot x_i \text{ Con } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.12)$$

La transferencia de potencia entre y_i y x_i es $|d_i|^2$ y al canal independiente se le llama "i" modo de propagación MIMO i. Hay tantos modos de propagación como parejas de antenas cuanto mayor sea el coeficiente de d_i menor será la atenuación del canal i y por lo tanto mayor será su capacidad, por que para una potencia dada de transmisión será mayor la relación señal a ruido en el receptor.

En el caso de que la propagación sea por un mismo rayo directo los sistemas MIMO no ofrecen ningún beneficio práctico: solo se excita un modo, es decir, se radia por una sola antena transmisora y se recibe señal por una única antena receptora. Todas las demás permanecen inactivas.

Los sistemas MIMO tienen utilidad únicamente cuando existen caminos de propagación diferentes entre las diferentes parejas de antenas. En este caso se pueden excitar de forma significativa varios modos. Para que esto ocurra, en los sistemas de comunicaciones móviles tiene que cumplirse algunas de las dos condiciones siguientes:

- a. Que tanto las antenas transmisoras como las receptoras estén separadas entre sí varias longitudes de ondas (al menos 2 ó 3).
- b.** Que la propagación sea básicamente multitrayecto, con una componente de rayo directo pequeña. Este caso que se presenta generalmente en escenarios metropolitanos y de interiores, suele ir acompañado por unas pérdidas de propagación elevada, que suelen traducir en una cobertura radioeléctrica pobre.

En un apartado posterior se hará uso de estas conclusiones para definir el tipo de sistemas con que el operador puede conseguir una gran ganancia de capacidad. Antes de llegar a ello es preciso proseguir con la descripción de los sistemas MIMO y sus implicaciones.

Como los modos son canales independientes, la capacidad total de un sistema MIMO es la suma de las capacidades de cada modo. Para calcularlas hay que saber la atenuación de cada modo $|d_i|^2$, y la potencia que se transmite en cada uno. $P_i = |x_i|^2$.

Suponiendo que a la entrada de todos los receptores la potencia de ruido es la misma (N) la capacidad total (C_{total}), suma de las capacidades individuales (C_i), es:

$$(C_{total}) = \sum_{i=1}^n C_i = B \cdot \sum_{i=1}^n \log_2 \left(1 + \frac{P_i \cdot |d_i|^2}{N} \right) \quad (4.13)$$

Siendo la potencia total: $(P_{total}) = \sum_{i=1}^n P_i$

Evidente mente no se debe gastar potencia en aquellos modos ñeque la propagación es nula $|d_i| = 0$, se debe gastar poca potencia en los modos en que la propagación sea pobre y se debe concentrar la mayor parte de la potencia en aquellos modos en los $|d_i|$ sea mayor .el calculo de reparto optimo de la potencia de antenas cuando la potencia total que se puede trasmitir es un parámetro conocido es problema clásico de optimización con condiciones de contorno y se conoce como water falling ¹⁶.

4.5 Implementación de un canal MIMO genérico

¹⁶ GESBERT. David ,et al :from theory to practice: an overview of MIMO time coded Wire less system paper de IEEE en areas de telecomunicaciones ,vol 21Nº3 ,abril ,2003

Ya descrita la capacidad de los sistemas MIMO, el siguiente paso es traducirla a la circuitería y procesos en los elementos de la red móvil, las estaciones bases y los terminales.

En esta sección se describe un enlace MIMO genérico que sirve para representar los problemas de implementación en sentido amplio.

El primer paso que hay que dar en lo que respecta a la transmisión debe ser el sondeo del canal. Para hacer uso del aumento de ganancia es necesario conocer la matriz de transmisión es decir todos los elementos de la matriz H , en tiempo real. El tiempo durante el cual el canal se puede considerar constante, se denomina tiempo de coherencia, depende del escenario de transmisión y generalmente es inferior a 1 ms.

Medir la matriz H requiere que en extremo del transmisor cada ráfaga que se radia incluya una secuencia de identificación o preámbulo tal como se explicara en el capítulo 5 con más detalle. En este sentido cada antena debe tener asociada una secuencia diferente, de forma que en el extremo receptor se pueda identificar de qué antena proviene cada secuencia. La medida del parámetro h_{ij} , es entonces el cociente entre la tensión de salida de la antena i correspondiente a la secuencia de la antena j dividida por la tensión que se transmite por la antena j . Teniendo en cuenta que a efectos de procesamiento de señal únicamente interesan los valores relativos entre los coeficientes h_{ij} , si todas las secuencias se transmiten con la misma potencia, es directamente la tensión de salida de la antena i correspondiente a la secuencia j .

Con estas ráfagas el receptor conoce la matriz de transmisión H , pero no basta con esto, también es necesario que la conozca el transmisor. Esto genera uno de los requerimientos más graves de los sistemas MIMO genéricos, la necesidad de implementar un canal de retorno para que el receptor informe al transmisor

del estado de los canales propagación .la servidumbre de este canal lleva a preguntarse si no seria posible prescindir de el, realizando una transmisión ciega .de acuerdo con la ecuación (4.7).

Teniendo en cuenta que el receptor mide la matriz H ,e receptor puede recuperar o estimar las señales transmitidas multiplicando el vector recibido $[y]$ por la matriz inversa de H H^{-1} ,dando lugar a la ecuación .

$$Est\{[x]\} = H_r^{-1} \cdot [y] = H \cdot H^{-1} \cdot [x] + H^{-1} \cdot n = [x] + H^{-1} \cdot [n] \quad (4.14)$$

Siendo $Est\{[x]\}$ la estimación del receptor el resultado del proceso de detección.

El problema de esta transmisión ciega radica en si los caminos de propagación no son muy diferentes ,la matriz H esta mal condicionada ,y su inversa es muy grande y amplifica el ruido .En caso de propagación por un único rayo directo la matriz H^{-1} tiende a infinito y la transmisión ciega aplicada no funciona .este inconveniente de la amplificación el ruido se puede evitar utilizando un algoritmo de inversión de matriz que limite el valor máximo de la matriz inversa .A efectos prácticos esto es equivalente a disminuir el tamaño de la matriz previo a su inversión ,eliminando las filas y las columnas que son similares .y esto a su vez equivale a utilizar únicamente las parejas de antenas cuyos modos propagan un tanto por ciento apreciable de la energía total que se trasmite .

Como consecuencia de ello, la información que se radia por antenas con modo de propagación de poca energía se pierde un procedimiento para recuperarla es implementando un mecanismo de retransmisión que conceptualmente equivale a una canal de retorno.

El siguiente requisito gravoso de un sistema MIMO es el de la complejidad del proceso asociado que haya que llevar a cabo en tiempo real para transmitir y recibir. Para cada conjunto de ráfagas que se transmiten a su vez es necesario:

1. calcular los auto valores de la matriz $H.H^H$.
2. Calcular sus auto vectores.
3. determinar la potencia velocidad de transmisión o código de protección que se aplica a las señales de cada antena.
4. calcular las matrices P_r , P_t .
5. multiplicarlas adecuadamente por los vectores que corresponda según se indica en la figura 2.

Todo esto no es un inconveniente apreciable para una estación base, donde se dispone de espacio, alimentación eléctrica y posibilidad de disipación de calor, pero si puede ser un problema para una Terminal.

El ultimo gran problema se refiere a la correlación entre los caminos de propagación en entre las antenas. en una estación base no presenta un gran problema separar las antenas unas cuantas longitudes de ondas para correlar las señales que se transmiten. sin embargo los terminales son de pequeño tamaño y sobre ello se pueden instalar dos antenas. Quizás cuatro en los ordenadores personales pero si es imposible separar las antenas varias longitudes de onda que se utilizan en comunicaciones móviles. Cuando el numero de antenas es dos se puede conseguir una cierta correlación si sus polarizaciones son ortogonales, pero cuando son mas de dos la correlación es posible solo si la propagación es fuertemente multitrayecto, con perdidas elevadas.

El conjunto combinado de estos problemas parece reducir el numero de parejas útiles a dos al menos en el escenario descrito. Afortunadamente existe otro escenario en el que los requisitos anteriores se simplifican en gran manera o incluso desaparecen, se llama MIMO distribuido.

4.6 MIMO distribuido

Una definición básica del sistema MIMO distribuido se encuentra en la figura. El sistema está compuesto por una BTS con n antenas separadas entre sí una pocas longitudes de onda y unos terminales, cada uno con una antena, que la BTS agrupa en grupo de n . La comunicación se establece entre las BTS y los diferentes conjuntos de n terminales. El término distribuido viene del hecho de que las antenas del extremo Terminal no están concentradas en un único equipo sino que se encuentran separadas o distribuidas especialmente entre varios equipos.

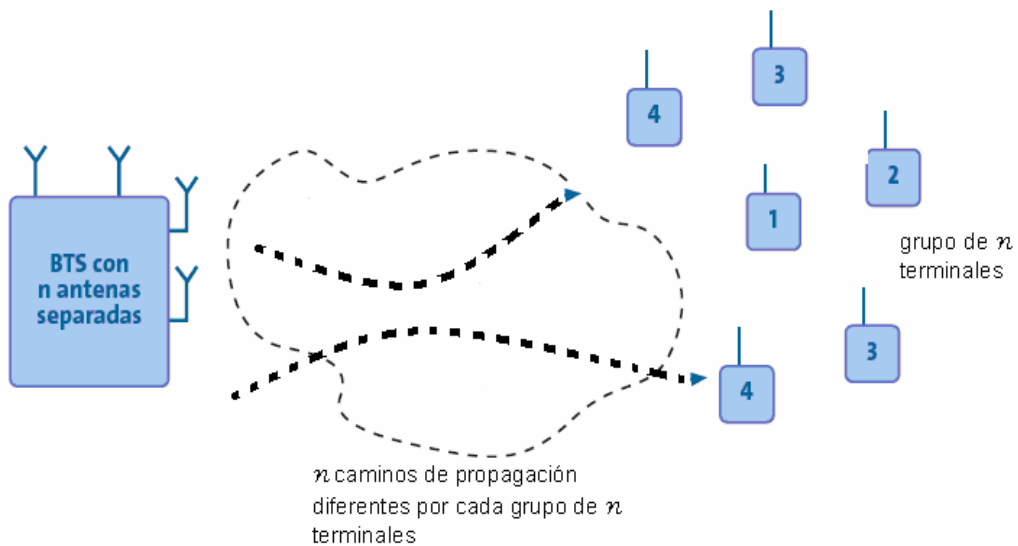


Figura 4.3: MIMO distribuido

La primera gran ventaja de este esquema es que la separación entre terminales prácticamente garantiza la correlación de todos los caminos de propagación lo que a su vez permite reutilizar los recursos radios del sistema hasta n veces, al menos en teoría tal como se ha descrito en secciones anteriores.

De esta correlación casi asegurada entre caminos se desprende que se pueda utilizar transmisión ciega en el enlace ascendente ,sin necesidad de canal de retorno .aplicando en la BTS en recepción el procedimiento de la ecuación 12 no es de prever una amplificación de ruido ya que la matriz H esta bien acondicionada .si x_i es la señal que trasmite el terminal i pertenecientes a un grupo de n terminales e y_i es la señal a la salida de la antena i en la BTS la estimación del receptor será:

$$Est\{[x]\} = H^{-1} \cdot [y] = H \cdot H^{-1} \cdot [x] + H^{-1} \cdot n = [x] + H^{-1} \cdot [n] = [x] + [n"] \quad (4.15)$$

Siendo la potencia de Ruido similar antes y después de la detección por lo que:

$$|n_i''|^2 \approx |n_i|^2 \quad (4.16)$$

Con lo dicho hasta ahora los recursos radio se reutilizan hasta n veces solo en el camino ascendente aumentando únicamente la complejidad de la BTS .El paso siguiente es reutilizarlos en el descendente pero sin aumentar la complejidad de los terminales .esto es posible mediante el mecanismo conocido como preecualizacion ,que consiste en que si la BTS conoce la matriz de transmisión , H' , en el enlace descendente puede preprocesar las señales , antes de trasmitirla, multiplicándolas por el inverso de esa matriz H' de forma que :

$$la_señal_transmitida = [S] = [H'^{-1} \cdot [x']] \quad (4.17)$$

Por lo tanto lo que llega a los receptores es:

$$[y'] = H' \cdot [S] + [n] = H' \cdot H'^{-1} \cdot [x'] + [n] = [x'] + [n] \quad (4.18)$$

La ecuación trece indica que cada receptor recibe únicamente la señal que le corresponde sin interferencia de las señales que van a los otros

$n-1$ receptores de su grupo .la preecualizacion es posible por que la correlación de caminos se traduce en que la matriz H' esta bien condicionada y por lo tanto su inversa H'^{-1} no e muy grande ,y la multiplicación de las señales que se quiere trasmitir por H'^{-1} no saca a los BTS de su zonal lineal de funcionamiento .

Para que las BTS conozcan la matriz H' se puede implementar un canal de retorno entre las terminales y las BTS .es posible sin embargo utilizar un procedimiento que conduce a un sistema mucho mas simple .consiste en usar múltiplexación en el tiempo entre los enlaces descendentes y ascendentes ,el conocido en nomenclatura UMTS como TDD ,y utilizar tramas lo suficientemente cortas como para asegurar que la duración de las ráfagas descendentes mas la duración de las ráfagas ascendentes sea inferior al tiempo durante el cual el canal de transmisión se mantiene prácticamente constante. Si se cumple esta condición la matriz de transmisión descendente es la transpuesta de la ascendente $H' = H^t$, que las BTS ya han calculado como paso previo a la detección de las señales procedentes de las terminales.

5. EL ESTANDAR 802.11n

Para finalizar esta investigación se explicara en este capitulo las propuestas mas interesantes que hay hasta el momento para ganar los derechos del estándar 802.11n, los consorcios TGnSync y WWiSE.

Se analizara las características técnicas, bandas de frecuencia, arquitecturas, y se contrastara las dos propuestas y se concluirá acerca de cual podría ser el consorcio ganador de esta competencia que todavía se esta llevando acabo.

802.11 task group N (TGn) tienen una meta interesante. La mayoría de los grupos de tarea de IEEE se centran en el aumento del rendimiento de procesamiento máximo, haciendo datos volar tan rápidamente como sea posible durante el tiempo que se está transmitiendo. La meta de TGn es alcanzar el rendimiento de procesamiento neto de 100 Mbps, Después de restar todos los gastos generales para las características de dirección de protocolo como preámbulos, espaciado intertramas, y acuses de recibo. Aunque la meta es rendimiento de procesamiento de red de 100Mbps, la oferta final sopla seguramente más allá de ese número, y ofrece muchas veces ese rendimiento de procesamiento en configuraciones máximas. Hay dos caminos a 100 Mbps: mejorar la eficiencia del MAC, aumentar la tasa de datos máxima bien más allá 100 Mbps-o ambos

Seis ofertas completas fueron hechas al grupo que creaba el 802.11n eventual, pero la ayuda se ha unido alrededor de dos ofertas principales, de los grupos nombrados TGnSync y WWiSE (Breve para World Wide Spectrum Efficiency"). .Ambos campos tienen chipmakers. Atheros, Agere, Marvell, y Intel son parte de TGnSync; Airgo, Broadcom, Conexant, y Texas Instruments son la base de WWiSE. Sin embargo, algunos de los fabricantes de los dispositivos electrónicos que pudieron utilizar 802.11 (Cisco, Nokia, Nortel, Philips,

Samsung, Sanyo, Sony, y Toshiba) también sean convertidos parte de el esfuerzo, y se representan desproporcionadamente en TGnSync.

En un muy alto nivel, ambas ofertas son similares, aunque diferencian en el énfasis en el aumento de la tasa de datos máximas contra mejorar eficiencia. Cada uno de ellas hace uso la tecnología multiple-input/multiple-output (MIMO) en varias configuraciones y predice compatibilidad hacia atrás de los sistemas instalados en la misma banda de frecuencia. Ambos apoyan la operación en los actuales canales de 20 MHz, con las provisiones de utilizar doble de anchura de los canales de 40 megaciclos para el throughput o rendimiento de procesamiento adicional.

Mientras que la guerra de los estándares se lucha a través del globo en las reuniones de IEEE, un punto de acceso del “pre-N” ha golpeado ya las calles, basadas en el chipset de Airgo. Comprarlos antes de que el proceso de los estándares esté en curso es bien un rodillo de los dados. Cuando la mayoría de los productos del “pre-G” fueron traídos al mercado, el grupo de tarea había comenzado a trabajar en serio en una sola oferta. TGn está actualmente en la etapa de la “oferta en duelo” ahora, y no hay garantía que un dispositivo temprano será soporte lógico inalterable aumentable al estándar final 802.11n. 802.11n es probable que sea la última oportunidad de estandarizar un PHY esta década. Desarrollar un estándar es tanta ingeniería política como la ingeniería técnica. Las reglas de IEEE requieren que una oferta consiga un voto del súper mayoría del 75% antes de convertirse en la base para un estándar. TGnSync tenía una clara mayoría de apoyo, pero todavía faltaba el 75% necesario. Se cuenta con que características de ofertas competentes sean incorporadas en el documento de funcionamiento para traer la cuenta del voto al necesario nivel. Consecuentemente, esta sección describe ambas ofertas competentes principales. Aunque TGnSync será probablemente la base para la especificación 802.11n, el cierto negociar dará lugar probablemente a algunas características de WWiSE que son incorporadas. Esta sección de la monografía, describe las ofertas de WWiSE y de TGnSync ya que no ha sido

aprobada ninguna propuesta hasta el momento del estándar en discusión. El estándar final tendrá cierta semejanza a los dos, y probablemente escogerá y elegirá características de cada uno. Afortunadamente, muchos conceptos básicos se comparten entre los dos. Para leer esta parte de monografía se debe tener en cuenta que las propuestas pueden cambiar un poco ya que ha sido basada en los draft (borradores) propuestos¹⁷.y¹⁸

5.1 Características comunes

Aunque las dos ofertas son diferentes, hay mucha semejanza entre los dos. Prácticamente hablando, algunas características se requieren para alcanzar el rendimiento de procesamiento de 100 Mbps

5.2 Multiple-Input/Multiple-Output (MIMO) de 802.11n

Hasta el 2004, las interfaces de 802.11 tenían una sola antena. Para estar seguros, algunos interfaces tenían dos antenas en una configuración de la diversidad, pero la base de la diversidad es que la “mejor” antena es seleccionada. En configuraciones de la diversidad, solamente una sola antena se utiliza en cualquier momento. Aunque puede haber dos o más antenas, hay solamente un sistema de componentes para procesar la señal, o cadena del RF. El receptor tiene una sola cadena de la entrada,(input Chaín) y el transmisor tiene una sola cadena de la salida. (Output Chaín)

El paso siguiente más allá de la diversidad es unir una cadena del RF a cada antena en el sistema. Ésta es la base del funcionamiento de MIMO cada cadena del RF es capaz de la recepción o de la transmisión simultánea, que pueden mejorar dramáticamente el caudal de proceso y transferencia. Además,

¹⁷ <http://www.tgnsync.org/techdocs/tgnsync-proposal-presentation.pdf>

¹⁸ ZYREN. James the WWiSE proposal for the 802.11n standard ,Conexant Systems,Inc,Analog Zone ,2005

el proceso de receptores simultáneos tiene beneficios de resolver interferencias de multicamimos, y puede mejorar la calidad de la señal recibida mucho más allá que una simple diversidad. Cada cadena del RF y su antena correspondiente son responsables de transmitir un torrente espacial. Un solo tramo puede ser dividido y multiplexado a través de las corrientes espaciales múltiples, los cuales son reensamblados en el receptor. Las ofertas de WWiSE y de TGnSync emplean tecnología de MIMO para alzar la tasa de datos, aunque diferencian sus usos.

Las configuraciones de la antena MIMO se describen a menudo con la taquigrafía “YxZ,” Y y Z, donde son números enteros usados para referir al número de las antenas de transmisor y al número de las antenas de receptor. Por ejemplo, WWiSE y TGnSync requieren la operación 2x2, que hace que dos transmitan cadenas, dos reciben cadenas, y dos corrientes espaciales multiplexadas a través del acoplamiento de radio. Ambas ofertas también tienen modos requeridos y opcionales adicionales. Se espera que las configuraciones de hardware común tengan dos cadenas del RF en el lado del cliente para ahorrar costo y energía de batería, mientras que por lo menos tres cadenas del RF serán utilizadas en la mayoría de los puntos de acceso. Esta configuración utilizaría 2x3 MIMO para su acoplamiento de subida y 3x2 MIMO en el acoplamiento de bajada.

5.3 ancho del canal

802.11a utiliza actualmente los canales de 20 megaciclos porque ésa es la anchura de banda del canal permitido por todos los reguladores por todo el mundo. Doblar la anchura de banda del canal a 40 megaciclos dobla la capacidad teórica de la información del canal. Aunque prometen para el futuro, algunos reguladores no permiten actualmente la operación de 40 megaciclos. Japón es la excepción más notable.

5.4 Realces de la eficiencia del MAC

La eficiencia de la MAC de 802.11 es a menudo pobre. En la mayoría de los panoramas del uso, es muy difícil exceder de 50-60% de la tasa de bit nominal de la capa física subyacente. Cada trama que se transmitirá requiere un encabezamiento de capa física, así como los gastos indirectos puros de la transmisión preámbulo. La MAC 802.11 agrega otros gastos indirectos requiriendo que cada trama esté reconocida. Los gastos indirectos son malos en particular para las tramas pequeñas, cuando los gastos indirectos toman más tiempo que los datos sí mismo de la trama. La figura 5.1 demuestra la eficiencia, definida como el porcentaje del índice binario nominal dedicado a los datos de la carga útil de la MAC, para una variedad tamaños de trama. Los valores en la figura están exclusivamente para los datos de la carga útil de la MAC. Cualquier medida de red requeriría datos adicionales del LLC, y las redes que están encriptadas tendrían bytes de gastos adicionales. Además, la mayoría de los protocolos de red proporcionan sus propias instalaciones del reconocimiento, la cual además reduce la eficiencia de mundo real . El punto de la figura 5.1 es que las tramas pequeñas tienen particularmente pobres eficiencias

TGnSync y WWiSE adoptan técnicas para mejorar la eficiencia del canal de radio. Los conceptos son similares, pero los detalles diferencian. Ambos ofrecen una cierta forma de bloque ACKs (a veces llamado trama que estalla). Quitando la necesidad de una trama del reconocimiento para cada trama de datos, la cantidad de gastos indirectos requerida para las tramas de ACKs, así como el preámbulo y el entramado, se reducen. Los reconocimientos del bloque son provechosos, pero solamente si todos las tramas en una ráfaga se pueden entregar sin un problema. Faltar una trama en el bloque o perder el reconocimiento sí mismo lleva una pena brusca en operaciones del protocolo porque el bloque entero debe ser retransmitido

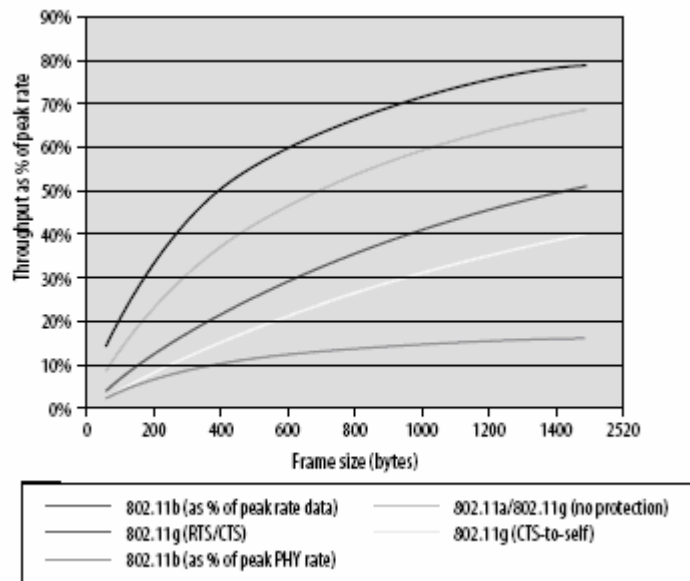


Figura 5.1: eficiencia MAC¹⁹

La agregación de trama es también parte de ambas ofertas. Muchos de los paquetes llevados por 802.11 son pequeños. Las sesiones interactivas de la red, tales como telnet y SSH, hacen el uso pesado de los paquetes pequeños de fuego rápido. Los paquetes pequeños se convierten en tramas pequeñas, que requieren un trameado y gasto de la capa física. Combinar varios paquetes pequeños en una sola trama relativamente grande mejora la proporción de datos para gastos generales. La agregación de trama es a menudo usada con una compresión de encabezamiento MAC, puesto que el encabezamiento MAC en tramas múltiples a la misma destinación es absolutamente similar.

5.5 WWiSE

El consorcio de WWiSE incluye varios chipmakers bien conocidos: Airgo (el fabricante de los primeros dispositivos del “pre-N” en el mercado), Broadcom, Conexant, y Texas Instruments. Motorola ensambló el consorcio en febrero de 2005.

¹⁹ GAST. Op cit. p 314

5.5.1 Mejoras MAC

Como se esperaría de un nombre que promocionaría la eficiencia espectral, WWiSE es más interesado en mejorar la eficiencia MAC de las dos ofertas. Para llegar a un redimiendo de procesamiento de carga útil de 100 Mbps neto, 12.000 bytes (960.000 bits) necesitan ser transmitidos en 960 microsegundos. La especificación de PHY de WWiSE tiene una tasa de 135 datos de Mbps en una configuración básica de la dos-antena con dos secuencias de datos, que pueden mover datos en 711 microsegundos. Los 249 microsegundos restantes se utilizan para los preámbulos, trameados, espaciamiento intertramas, y el reconocimiento de bloque.

Canales y modos de radio

WWiSE utiliza los canales de 20 megaciclos y de 40 megaciclos. La operación de 40 megaciclos puede ser a través de un solo canal de 40 megaciclos, o con un par del canal de 20 megaciclos en el cual ambos canales se utilizan simultáneamente para la transmisión de datos. Se señala un canal como el canal primario, y funciona normalmente. El canal secundario se utiliza solamente para la agregación del canal, y no tiene estaciones asociadas en ella. El canal secundario se utiliza para el “desbordamiento” del primario; el portador que detecta funciones se realiza solamente en el canal primario.

Aunque el uso de dos canales es realmente una operación de la capa física, hay algunas funciones de economía doméstica realizadas por el MAC. Un nuevo elemento de información, El elemento determinado del canal (Channel Set element,) se envía en las tramas primarios de baliza del canal de modo que las estaciones sean informadas del canal secundario en el par. Los puntos de acceso también envían tramas de baliza en el canal secundario; desemejante de la mayoría de las operaciones de baliza, aunque, el propósito es desalentar a clientes de asociarse, o de otros dispositivos de elegir ese canal para la

operación. Una trama secundaria de baliza del canal es muy similar a la baliza primaria del canal, pero la única tasa apoyada es una tasa obligatoria de MIMO PHY. Para desalentar más lejos el uso del canal, puede también incluir el elemento de información contención libre.

Protección

De la misma manera que 802.11g, los nuevos PHYs requieren que mecanismos de protección mejorados para evitar interferir con estaciones existentes.

Naturalmente, los mecanismos de la protección especificados en 802.11g se adoptan para la operación de las estaciones de 2.4 gigahertz que pueden tener que evitar de interferir con una más vieja secuencia directa o el equipo 802.11b. Cuando los puntos de acceso detectaron la presencia de un equipo más viejo, accionará el uso de RTS-CTS o CTS para auto protección.

Sin embargo, la protección adicional se puede requerir para evitar de tener una estación de MIMO transmite en un valor no entendida por el equipo 802.11a o 802.11g. La oferta de WWiSE contiene un esquema de protección OFDM para permitir que las estaciones de MIMO fijen apropiadamente el NAV en más viejas estaciones de OFDM. El mecanismo de la protección es idéntico a el que está descrito en el capítulo 14²⁰, pero toma lugar usando tasas de datos OFDM.

Finalmente, la oferta de WWiSE utiliza dos bits en el elemento de información de ERP en tramas de baliza para indicar si la protección de OFDM es necesaria. En algunos casos, La protección OFDM puede ser necesaria para asistir a una más vieja red 802.11g, pero no hay protección necesaria para las

²⁰ GAST. Op cit. p 325

estaciones 802.11b. Los puntos de acceso supervisan el acoplamiento de radio para determinarse si la protección de OFDM es necesaria. Para asistir a estaciones usando pares del canal, también divulgan encendido si un canal secundario esta funcionando.

Agregación ráfaga y reconocimiento

La oferta de WWiSE aumenta el tamaño máximo de la carga útil a partir de 2.304 bytes a más de 8.000 bytes. El aumento de la carga útil aumenta la carga útil para gastos y la porción aumentan la eficiencia si las tramas mas grandes o las explosiones más grandes se pueden entregar con éxito.

La agregación mete a empujones paquetes de protocolo de la red de más alto nivel múltiples en una sencilla trama. Cada paquete consigue un encabezamiento de subtrama con fuente y direcciones de destinación, y una longitud para delimitar el paquete, según las indicaciones de la figura 5.2. La agregación puede ser utilizada solamente cuando las tramas juntas tienen el mismo valor para el campo de la dirección 1, que es el receptor de la trama.

Las tramas de un punto de acceso en una red de infraestructura usan dirección 1 como destino, así que los puntos de acceso pueden agregar solamente las tramas limitadas para una sola estación. Una estación en una red de la infraestructura puede, sin embargo, tramas agregadas a las destinaciones múltiples. Las transmisiones de la estación utilizan el campo de la dirección 1 para los AP, puesto que todas las tramas se deben procesar por el AP antes de alcanzar la red de espina dorsal o backbone. Sobre la agregación, la dirección de destinación es el “salto siguiente” que procesa la estación, y la fuente es el creador de la trama. Sobre la desagregación, las subtramas individuales serán procesados según los encabezados del las subtramas. Debido a el requisito que la dirección del receptor debe ser igual, no

es posible a agregar una mezcla de datos unicast, broad cast, y multicast. La oferta no contiene ninguna regla sobre cuándo utilizar la agregación.

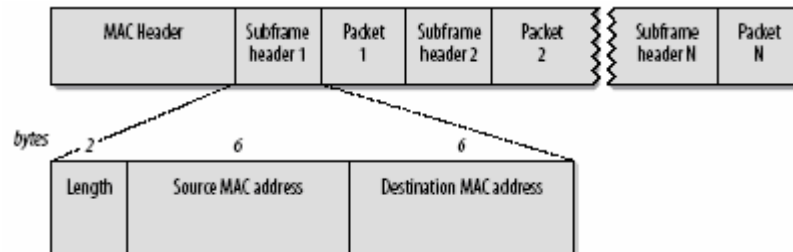


Figura 5.2: agregación en WWiSE²¹

Envío de ráfagas es un concepto relacionado, pero levemente diverso. La agregación de trama pega los paquetes del protocolo de la capa mas alta juntos para la transmisión en terrones más grandes. Las ráfagas hacen iguales en la capa física. Una vez que una estación haya invertido una significativa cantidad de gastos de protocolo para obtener el control del canal, solo puede seguir trasmitiendo. Una de las ventajas de usar tramas físicos múltiples, en comparación con la trama de la capa más alta, son que cada trama física tiene su propia fuente y destinación. Las ráfagas de trama pueden consistir en el tráfico previsto para una variedad de diversas direcciones de destinación. En la ráfaga de trama, hay dos espacios de intertramas adicionales definidas, el c Espacio de intertrama cero (ZIFS) y el espacio Intertrama reducido (RIFS). Tramas sucesivas que utilizan la misma energía de transmisión pueden utilizar el ZIFS para la transmisión inmediata. Si la energía de transmisión se cambia entre las tramas, el RIFS puede ser utilizado. El RIFS es más corto que otros espacios intertramas, aunque, así permite que una estación conserve el control del canal. En la figura 5.3, la primera trama no se puede agregar, y se transmite después que el transmisor gana el control del canal. Una vez que haya ganado control, puede sostener el tiempo que sea permitido. Los segundos y terceras tramas utilizan la misma energía de transmisión, y se transmite después del espacio ítertrama cero. Además, ellos comparten el

²¹ GAST. Op cit. p 316

campo de la dirección 1 y por lo tanto se lían en una trama agregada. Para la transmisión de la trama siguiente, la energía necesita ser cambiada, requiriendo el uso del espacio intertrama reducido. Las cuartas y quintas tramas se pueden agregar, y son transmitidas como solo trama agregado. Cuando los datos dispuestos en una cola de espera han sido transmitidos, el centro renuncia al control del canal.

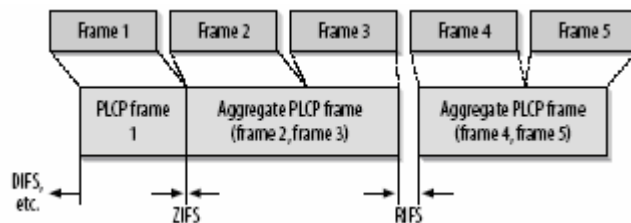


Figura 5.3: ráfagas en WWiSE²²

En la versión inicial del MAC 802.11, un reconocimiento positivo fue requerido para cada trama de los datos de unicast. WWiSE levanta esta restricción, y permite una política más flexible del reconocimiento. Además de la política “normal”, las tramas se pueden transmitir sin un requisito del reconocimiento, o con reconocimientos del bloque en lugar de otro.

5.5.2 La MIMO PHY de WWiSE

La oferta de WWiSE es una evolución leve de 802.11a, usando tecnología de MIMO. Se conservan los mecanismos de acceso básicos del canal, al igual que la codificación de OFDM. En un de alto nivel, el WWiSE PHY se dedica principalmente a asignar bits a diversas antenas.

Estructura de una canal en funcionamiento

²² GAST. Op cit. p 317

Como 802.11a, el canal de radio se divide en subportadoras de 0.3125 MHz. Como en las subdivisiones de canal 802.11a, un canal de 20 megaciclos en la oferta de WWiSE se divide en 56 subportadoras. Los canales de 40 MHz., que son opcionales, se dividen en 112. Subportadoras Además de ser opcionales, los canales de 40 MHz.se apoyan solamente en la banda de 5 gigahertz porque no es posible meter a la fuerza múltiple canales de 40 megaciclos en la banda de ISM. En la figura 5.4 demuestra la estructura de los canales de funcionamiento de 20 megaciclos y de 40 megaciclos en la oferta de WWiSE.

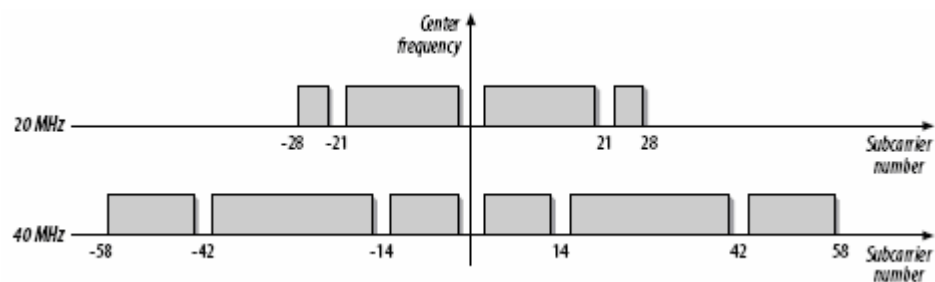


Figura 5.4: portadora piloto de WWiSE²³

Como en 802.11a, las subportadoras se ponen a un lado como pilotos para supervisar el funcionamiento del acoplamiento de radio. Pocos portadores pilotos se necesitan en un sistema MIMO porque los portadores pilotos funcionan a través de tantas cadenas del receptor. un canal de 20 MHz de 802.11a utiliza cuatro subportadoras pilotos. En la oferta de WWiSE, un canal de 20 megaciclos requiere solamente dos portadores pilotos porque dos cadenas del receptor procesa a cada piloto, lo cual tiene el mismo efecto como cuatro pilotos procesados por una sola cadena del receptor. Con pocos pilotos, más subportadoras se puede dedicar al portamiento de datos. Los canales de 20 megaciclos de WWiSE tienen subportadoras de 54 datos; Los canales de 40 megaciclos tienen exactamente dos veces tanto en 108.

²³ GAST. Op cit. p 318

Modulación y codificación.

La oferta de WWiSE no requiere nuevos valores de modulación. Utiliza la modulación 16-QAM (4bits) y 64-QAM (6bits) exhaustivamente pero no requiere las constelaciones fino-granulosas de la modulación

Se realiza la codificación, sin embargo. Un nuevo índice convulucional del código de 5/6 se agrega. Como las valores de 2/3 y 3/4 definidas por 802.11a, el código de 5/6 es definido pinchando la salida para obtener una tasa más alta del código. WWiSE también define el uso de una densidad baja

Clave de cheque (LDPC) de igualdad.

Intercalador

En 802.11a, el intercalador es responsable de asignar bits a las subportadoras. Los intercaladores de MIMO son más complejos porque deben asignar bits a una corriente espacial además de asignar los bits a las posiciones sobre el canal de sí mismo. El intercalador de WWiSE toma bits del codificador de error delantero y de los ciclos por cada secuencia espacial. El primer bit se asigna a la primera corriente espacial, el segundo pedacito se asigna a la segunda corriente espacial, y así sucesivamente. El intercalador es también responsable de revolver los bits codificados dentro de cada corriente espacial.

Codificación de espacio tiempo (STBC)

En la mayoría de los casos, una antena será utilizada para cada corriente espacial. Sin embargo, puede haber casos cuando el número de antenas es mayor que el número de corrientes espaciales. Si, por ejemplo, la mayoría de los APs que usa tres antenas mientras que los clientes utilizan solamente dos, hay una trasmisora extra, y las dos secuencias de datos espaciales necesitan ser asignadas a las tres antenas. Transmitiendo una sola corriente espacial a través de las antenas múltiples se llama la codificación del bloque del espacio-tiempo (STBC)

La regla básica para partir una corriente espacial a través de las antenas múltiples es transmitir dos corrientes relacionadas en diversas antenas, .la onda de radio se compone de los componentes en fase y cuadratura, donde la onda de la cuadratura es un cuarto ciclo fuera de fase con el componente en fase. Los defasajes son representados matemáticamente por la parte imaginaria del número complejo en la constelación. La conjugación compleja de un número complejo tiene la misma parte real, Pero voltea la señal sobre la parte imaginaria., físicamente la onda de radio de la conjugación compleja tendrán el mismo componente en fase, pero el componente de la cuadratura tendrá el cambio de fase opuesto. Cuando hay antenas adicionales, la propuesta de WWiSE asigna que por mandato una corriente espacial y su conjugada compleja están transmitidas en un par de la antena. La tabla 5.1 repasa las reglas. Las reglas para partir corrientes espaciales son independientes de la anchura de banda del canal, aunque las corrientes espaciales de 40 megaciclos llevarán más bits.

Antenas trasmisoras	Corrientes espaciales	Primera corriente espacial	Segunda corriente espacial	Tercera corriente espacial
2	1	Codificado a través de antenas 1 y 2	N/A	N/A
3	2	Codificado a través de antenas 1 y 2	Trasmitido normalmente sobre la tercera antena	N/A
4	2	Codificado a través de antenas 1 y 2	Codificado a través de antenas 3y4	N/A
4	3	Codificado a través de antenas 1 y 2	Tercera antena	Cuarta antena

Tabla 5.1: reglas de codificación WWiSE cuando las antenas superan en número las corrientes espaciales²⁴

²⁴ GAST. Op cit. p 319

Tasas de modulación

Hay 24 valores de datos definidas por el WWiSE PHY, con 49 diversas opciones de modulación. Es una fórmula básica para la tasa de datos:

La tasa de datos (Mbps) = 0.0675 | × ancho de banda del canal × numero de corrientes espaciales × bits codificados por subportadoras × tasa de código.

Ancho de banda del canal

20 para los canales de 20 megaciclos, o 40 para los canales de 40 megaciclos o los pares del canal.

Número de corrientes espaciales

El número de corrientes espaciales puede ser igual a 1, a 2, a 3, o a 4. Debe ser inferior que o igual que el número de las antenas trasmisoras .el apoyo para al menos dos corrientes espaciales es obligatoria.

bits cifrados por subportadora

En la mayoría de los casos, éste será tampoco 6 para 64-QAM o 4 para 16-QAM. BPSK (1 bit cifrado por subportadora) y QPSK (2 bits cifrados por subportadora) se apoyan solamente en el modo del canal de 20 MHZ con una corriente espacial.

Tasa de código

La tasa del código puede ser el 1/2 o 3/4 cuando está utilizada con 16-QAM, y 2/3, 3/4, o 5/6 cuando está utilizada con 64-QAM.

Puede haber maneras múltiples de conseguir a la misma tasa de datos. Como ejemplo, hay cuatro maneras de conseguir 108 Mbps:

|

- Cuatro corrientes espaciales en canales de 20MHZ, usando 16-QAM con R=1/2.

- Dos corrientes espaciales en canales de 20 MZ, usando 64-QAM con $R=2/3$.
- Una corriente espacial en un canal de 40HZ, usando 64-QAM con $R=2/3$.
- Dos corrientes espaciales en canales de 40 MZ , usando 16-QAM con $R=1/2$.

En un modo básico con una sola corriente espacial, la capacidad de canal es levemente más alta que con 802.11a porque se utilizan pocos portadores experimentales. La modulación la modulación de un solo canal alcanza su punto más alto a 60.75 Mbps, más bien que los 54 Mbps en 802.11a. Usando todos los parámetros más altos del rendimiento de procesamiento (cuatro corrientes espaciales de 40 megaciclos, con 64-QAM y un código de 5/6), la oferta de WWiSE tiene un rendimiento de procesamiento máximo de 540 Mbps

MIMO y modos de transmisión

Las especificaciones PHY de las anteriores 802.11 tenían modos de transmisión bastante simples. La oferta de WWiSE tiene 14 modos de transmisión, dependiendo de 3 ítems:

El número de antenas trasmisoras, conocidas por el xTX, donde x es el número de antena trasmisoras. Se extiende a partir de 1 a 4, aunque una sola antena se apoya solamente para los canales de 40 megaciclos. Los canales de 20 megaciclos deben utilizar por lo menos dos antena trasmisoras, aunque pueden tener solamente una corriente espacial.

Si la trama está utilizada en un greenfield (GF) o un ambiente de modo mezclado (MM) .las transmisión es de modos mezclado usan encabezamientos físicos que son compatibles con otras PHY OFDM, mientras que las transmisiones del greenfield utilizan Un encabezamiento físico mas rápido.

El ancho de banda del canal, que puede ser 20 MHz o 40 MHz

La tabla 5.2 demuestra los 14 modos de transmisión que resultan. Hay varias codificaciones de la capa física definidas para cada uno de estos modos, y serán discutidos en la sección de PLCP. El número de antenas activas se relaciona solamente libremente con el número de corrientes espaciales. Un sistema que funciona en el modo de los 4TX40MHz hace que cuatro antenas transmisoras, pero podría tener dos o tres corrientes espaciales.

Canales 20 MHz		Canales 40 MHz
Greenfield	2TX20GF	1TX40GF
	3TX20GF	TX40GF
	4TX20GF	TX40GF
		TX40GF
Mixed mode	2TX20GF	TX40GF
	3TX20GF	TX40GF
	4TX20GF	TX40GF
		TX40GF

Tabla 5.2 modo de transmisión WWiSE²⁵

5.5.3 PLCP DE WWiSE

El PLCP debe funcionar en dos modos. En el modo de Greenfield, funciona sin usar encabezamientos físicos hacia atrás. El acceso de Greenfield es más simple: puede funcionar sin compatibilidad hacia atrás. Como punto de partida, considerar la Figura 5.5; demuestra la encapsulación de PLCP en los modos 1TX40GF, 2TX20GF, y 2TX40GF.

²⁵ GAST. Op cit. p 320

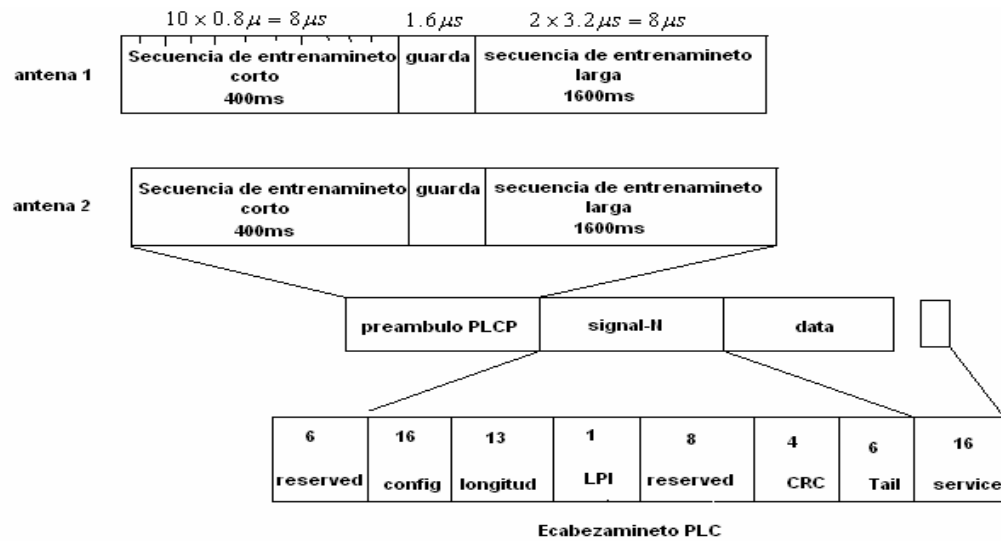


Figura 5.5: Modos de Greenfield 1TX40 and 2TX40²⁶

Preámbulo de MIMO –OFDM PLCP

El preámbulo consiste en secuencias bien conocidas de bits para ayudar a receptores localizar automáticamente la señal. Dependiendo del modo de transmisión, el preámbulo se puede partir en piezas múltiples. Consiste en generalmente secuencias cortas y largas del entrenamiento. En la propuesta de de WWiSE, el mismo preámbulo se transmite en todas las antenas, pero con cambios de poco tiempo relativo a los otros. En la figura 5.5 demuestra las secuencias del entrenamiento usadas por modos de transmisión de la dos-antenas. Aunque las secuencias del entrenamiento consisten en diversos bits, el cambio es igual. Naturalmente, la sola antena de modo de 40 megaciclos tendría solamente una antena activa transmitiendo un preámbulo.

SIGNAL-N

El campo de SIGNAL-N contiene la información que ayuda a descifrar la secuencia de datos. Se envía siempre usando QPSK, R=1/2, y no esta

²⁶ GAST. Op cit. p 321

revuelto. Contiene la información sobre el número de corrientes espaciales, ancho de banda del canal, modulación, y codificación, y un CRC.

Servicio

El campo del SERVICIO es idéntico a su uso en 802.11a. Desempejante de los otros componentes del jefe de PLCP, se transmite en la zona de informaciones de la unidad del protocolo físico en el índice de datos del bastidor encajado del MAC. Los primeros ocho pedacitos se fijan a 0. Como con las otras capas físicas, las tramas de la MAC son revueltas antes de la transmisión; los primeros seis pedacitos se fijan a 0 para inicializar el desmodulador. Los nueve bits restantes son reservados y deben fijar a 0 hasta que se adoptan para el uso futuro.

Datos

El campo final es una secuencia de cuatro símbolos del microsegundo que lleven los datos. Los bits de datos tienen seis bits cero de la cola hacia rampa abajo del código corrector de error, y tantos grupos de bits como se requieren para tener un tamaño de bloque uniforme del símbolo.

El campo de SIGNAL-N

El campo de SIGNAL-N se utiliza en todos los modos de transmisión. Tiene información para recuperar la secuencia de bits de los símbolos de datos. El campo de SIGNAL-N se demuestra en la Figura 5.6

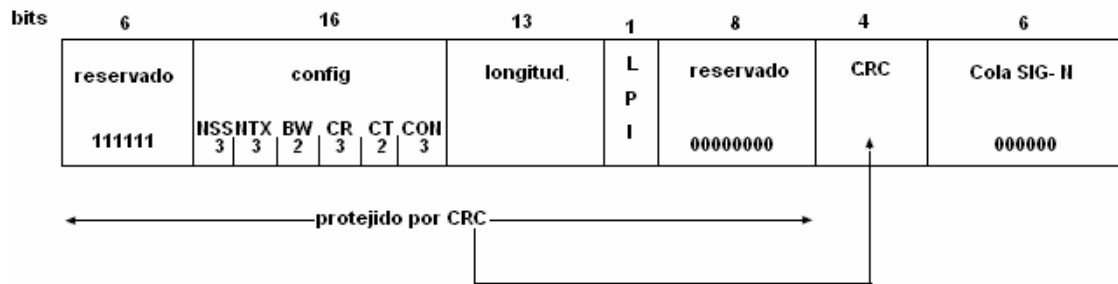


Figura 5.6: Campo de SIGNAL-N de WWiSE²⁷

CONFIG

Seis campos se agrupan en el subcampo de la configuración.

NSS

(Número de corrientes espaciales) Tres bits se utilizan para indicar cuántas corrientes espaciales son usadas. El valor parte de cero, así que se extiende a partir de cero a tres.

NTX

(Número de las antenas de la transmisión) Tres bits se utilizan para indicar cuántas antenas se utilizan para llevar el número de corrientes espaciales. El valor parte de cero, así que se extiende a partir de la cero a tres.

BW

(Anchura de banda) Dos bits llevan el ancho de banda del canal . 20 megaciclos se representan por cero, y 40 megaciclos son representados por uno.

²⁷ GAST. Op cit. p 322

CR

(Tasa del código) Tres bits indican la tasa del código. El 1/2 es cero, 2/3 es uno, 3/4 es dos, y 5/6 es tres.

CT

(Tipo del código) Dos bits indican el tipo de código. Cero es un código convolucional, y uno es el LDPC opcional.

CON

(tipo de la constelación) Tres bits indican el tipo de constelación: cero para BPSK, uno para QPSK, dos para 16-QAM, y tres para 64-QAM.

LONGITUD

Un identificador de 13 bits para el número de bytes en la carga útil de la trama física. Se extiende a partir de la cero a 8.191.

LPI

(Indicador pasado de PSDU) Cuando las tramas físicas múltiples se envían en una ráfaga, el bit de la LPI se fija en el pasado para notificar otras estaciones que la ráfaga está acabando.

CRC

El CRC se calcula sobre todos los campos a excepción del CRC y de los bits de cola.

Cola

Seis bits se utilizan como bits de cola a la rampa abajo del codificador convulocional.

En los otros modos de la transferencia, demostrados en la figura 5.7, el preámbulo está partido en pedazos. Entre los pedazos, puede haber campos de la señal. Los campos de SIGNAL-N son definidos por la oferta 802.11n y descifrados solamente por las estaciones 802.11n; el campo de SIGNAL-MM se utiliza para conservar compatibilidad hacia atrás en un modo mezclado con más viejas estaciones de OFDM. Es idéntico al campo de la señal usado por 802.11a.

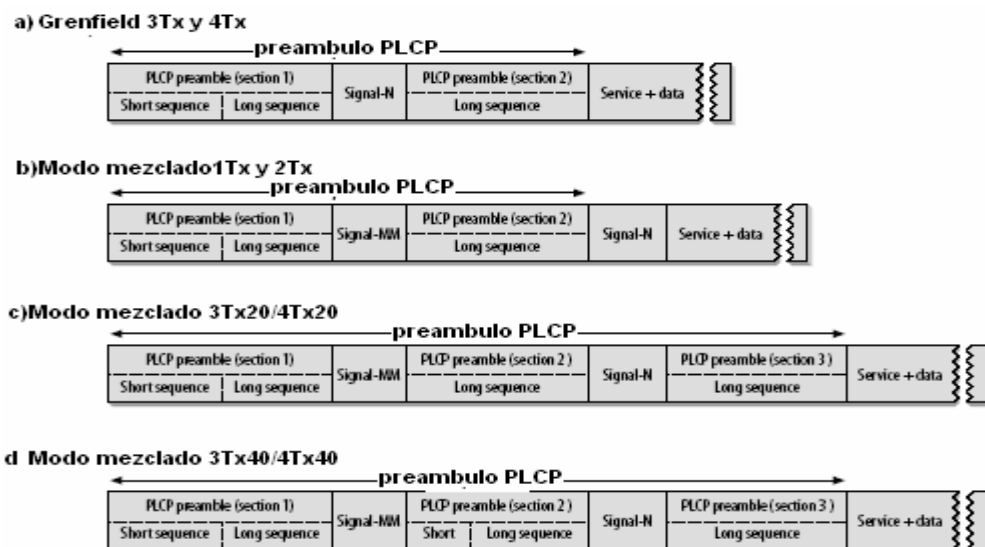


Figura 5.7: Formato de trama PLCP para otros modos de transmisión²⁸

5.5.4 PMD de WWiSE

La Figura 5-8 demuestra la disposición básica del transector de WWiSE. Es esencialmente igual que el transmisor-receptor 802.11a, pero hace que el

²⁸ GAST. Op cit. p 323

múltiplo transmite cadenas. El intercalador es responsable de dividir bits cifrados entre las diferentes cadenas de transmisión y corrientes espaciales.

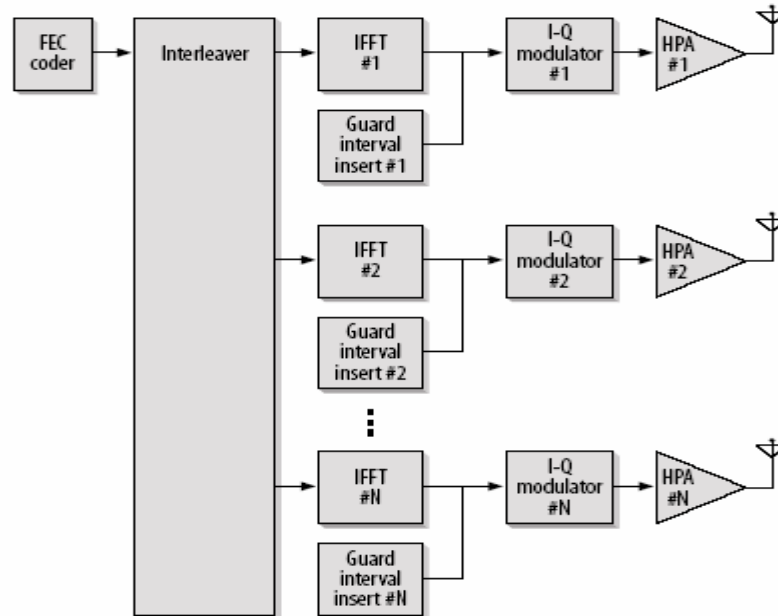


Figura 5.8: Transceptor de WWiSE²⁹

La sensibilidad es especificada por la propuesta, y es idéntica a qué se requiere de los receptores 802.11a. La tabla 5.3 demuestra la sensibilidad requerida. La propuesta no tiene Requisitos de rechazo de canales adyacentes

Constelaciones	Velocidad	Sensibilidad	Sensibilidad del 802.11a (dBm) Para referencia
BPSK	1/2	-82	-82
BPSK	3/4	-81	-81
QPSK	1/2	-79	-79
QPSK	3/4	-77	-77
16-QAM	1/2	-74	-74
16-QAM	3/4	-70	-70
64-QAM	2/3	-66	-66
64-QAM	3/4	-65	-65
64-QAM	5/6	-64	N/A

Tabla 5.3 sensibilidad del receptor WWiSE³⁰

²⁹ GAST. Op cit. p 323

5.5.5 Características del WWiSE PHY

Los parámetros específicos al WWiSE PHY se enumeran en la tabla 5.4. Como las otras capas físicas, también incorpora un número de parámetros para ajustar para que haya retraso en varias etapas de proceso en la electrónica.

Parámetros	Valor	Notas
Longitud de trama MAC máxima	8,191 bytes	
Ranura de tiempo	9 μ s	
tiempoSIFS	16 μ s	El SIFS es usado para obtener el valor de otros espacios de intertramas
Tiempo RIFS	2 μ	
Tamaño de la ventana de contención	5 a 1.023slots	
Duración del preámbulo	16 μ	
Duración del encabezamiento PLC	4 μ	
Sensibilidad del receptor	-64 a 82 dBm	Depende la de la velocidad de transmisión de datos

Tabla 5.4 parámetros WWiSE MIMO PHY³¹

5.6 TGnSync

El consorcio de TGnSync se compone de una gama más amplia de compañías. Además de los chipmakers (Atheros, Agere, y Intel, y Qualcomm), TGnSync incluye notablemente los fabricantes de otros dispositivos electrónicos. Fabricantes de equipos de redes e incluso las compañías electrónicas consumidoras están representados. Una de las metas de TGnSync es apoyar los nuevos dispositivos networked en el hogar; los materiales promocionales refieren a enviar las señales de vídeo HDTV o de DVD a través de redes sin

³⁰ GAST. Op cit. p 323

³¹ GAST. Op cit. p 324

hilos. El objetivo de la señal de video que fluye probablemente explique las altas tasas de datos máximas ya habladas.

5.6.1 Mejoras del MAC TGnSync

Aunque la oferta de TGnSync tiene una tasa de datos máxima más alta, el grupo totalmente no descuido el desarrollo de las mejoras MAC para mejorar eficiencia y la operación. La eficiencia se mejora con el desarrollo de la agregación de trama y las ráfagas, así como cambios a las políticas del reconocimiento. Una cierta protección de más viejas transmisiones se realiza en la capa del MAC. Notablemente, varios realces de la MAC son diseñados para ahorrar la energía de batería, que es probable una reflexión de la calidad de la membresía del grupo.

Canales, modos de radio, y coexistencia

Aunque algunos reguladores no los permiten, la oferta de TGnSync hace que la base de canal de 40 megaciclos sea obligatoria. Si fuera adoptada sin un cambio, un chipset de TGnSync apoyaría los canales de 20 megaciclos y de 40 megaciclos, incluso en los dominios reguladores que no permitieron la última anchura de banda del canal. La oferta de TGnSync también tiene características MAC que permiten el uso de redes con estaciones de 20 megaciclos y 40. Cuando las estaciones tienen cantidades grandes de datos a transmitir, es posible negociar un uso temporal de un canal más ancho antes de caer de nuevo a la operación de 20 megaciclos.

Los modos operacionales de la MAC pueden también ser clasificados basados en los tipos de estaciones en la red. Las redes de modo puro consisten solamente en las estaciones 802.11n. No hay protección necesaria para las viejas estaciones 802.11a y 802.11g. Alternativamente, TGnSync los

dispositivos 802.11n pueden funcionar en el modo de herencia apenas como una estación 802.11a o 802.11g.

La mayoría de la operación, aunque, en modo mezclado, donde una red de TGnSync debe coexistir con una red de la herencia en el mismo canal, y puede aceptar asociaciones de más viejas estaciones 802.11a o 802.11g.

Redes de modo puros se quedan puros haciendo caso omiso de los pedidos de la asociación de estaciones más viejas,, y enviando tramas de baliza con un elemento de información que ordena estaciones asociadas para utilizar solamente los nuevos modos de transmisión 802.11n. Las redes de modo puro también transmiten tramas de baliza usando el PLCP de alto rendimiento de procesamiento o throuput de TGnSync, que las hace ilegibles por dispositivos de herencia. Los puntos de acceso de modo mezclados son visibles a los dispositivos de herencia porque transmiten las balizas usando el formato de la herencia.

El modo mezclado se requiere para coexistir con más viejos dispositivos. (Si la experiencia del despliegue 802.11g es alguna guía, la mayoría de los dispositivos 802.11n son probables para operar en modo mezclado por algún tiempo absoluto. el modo mezclado es una amplia clasificación con varias subdivisiones. Las redes capaces mezcladas permitirán la asociación de los dispositivos de herencia, pero no divide tiempo entre la herencia y las transmisiones del alto-rendimiento de procesamiento. Los puntos de acceso en redes mezcladas manejadas dividen activamente el tiempo entre las transmisiones del alto-rendimiento de procesamiento y las transmisiones de la herencia. Como la división entre el periodo libre de contención y el período de la contención³², un AP que funciona en modo mezclado manejado no prohibirá a estaciones de herencia su desliz de tiempo, mientras que usen mecanismos

³² GAST, .Op cit ,capitulo 9 ,pag 112

similares al mecanismo de la protección para reservar algún desliz de tiempo para las estaciones de MIMO solamente.

Agregación y ráfagas

Las estaciones de la inicial 802.11 envían típicamente tramas en orden en que son recibidas. Para los propósitos de rendimiento de procesamiento, es altamente deseable reordenar las tramas de modo que puedan unirse en tramas agregados más grandes. La agregación en TGnSync es una función de la capa de la MAC eso lía varios tramas de la MAC en un sola trama de PLCP para la transmisión.

La Figura 5-9 demuestra el formato básico de una sola trama de capa física que contiene varias tramas de la capa MAC. Varias tramas de la MAC se ponen en la misma trama de PLCP, con un delimitador apropiado entre ellos. El delimitador tiene un campo reservado pequeño, un campo de la longitud para la trama siguiente de la MAC, un CRC para proteger el delimitador, y un patrón único para asistir a recuperar tramas individuales del agregado. Las tramas de la MAC se ponen en el agregado sin la modificación, y contienen el encabezamiento y la MAC CRC llenos. Aunque una trama fuera de un agregado se pierde, puede ser posible recibir con éxito todas las tramas restantes.

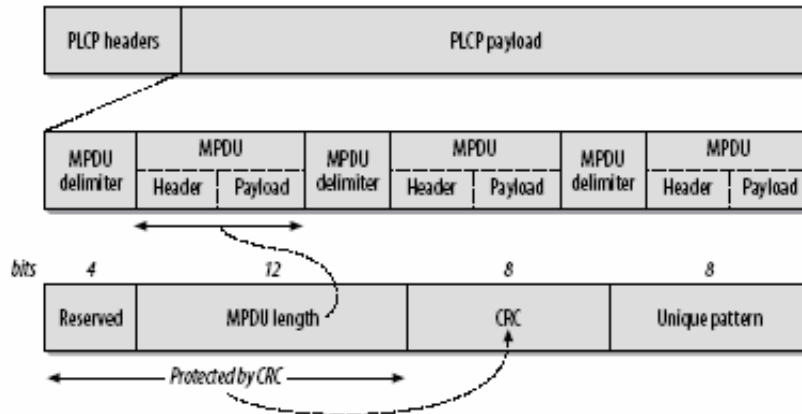


Figura 5.9: agregación de trama TGnSync³³

El cambio de tramas agregadas es solamente posible una vez que el canal se haya configurado para él. la Figura 5.10 ilustra el proceso. El remitente de un agregado, llamado el iniciador, debe enviar una trama del control de la agregación del iniciador (IAC). Las tramas del IAC trabajan como tramas de RTS, pero tienen campos adicionales a asistir con control de canal. Los iniciadores pueden solicitar medidas del canal, ofrecer diversos tipos de codificación en la trama agregada, y aceptar los agregados en la dirección de vuelta. a la recepción del IAC, el sistema de la destinación, llamado el respondedor, genera una control de agregación del respondedor (RAC). Las tramas de RAC trabajan como tramas de CTS: cierran el lazo notificando a el remitente que un agregado será aceptado, y acabando la negociación del parámetro. Cuando se reciben las tramas agregadas, se requiere un reconocimiento. TGnSync define un nuevo tipo del reconocimiento, el BlockACK, a el cual puede ser utilizado reconocer todas las tramas MAC contenidas en un agregado.

³³ GAST. Op cit. p 327

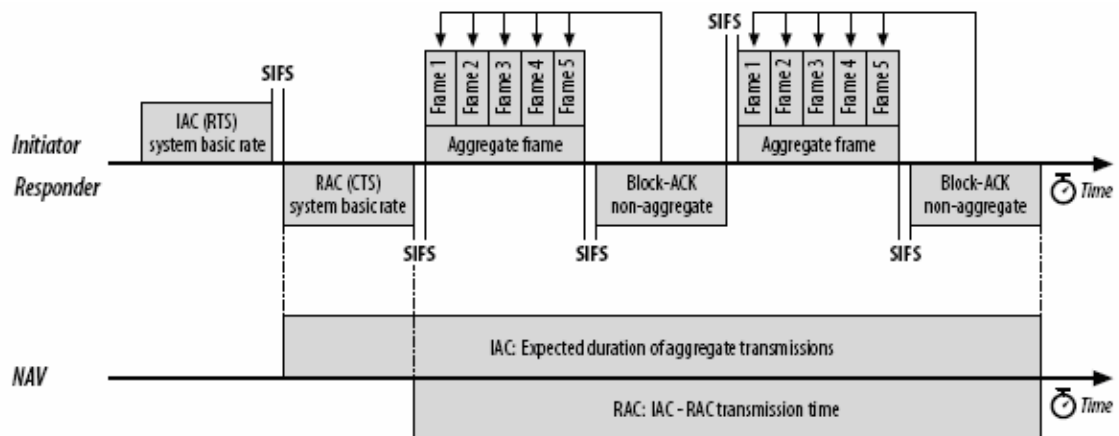


Figura 5.10 Reconocimiento de bloque TGnSync³⁴

Para mejorar aun mas la eficiencia MAC, TGnSync define un algoritmo de compresión de cabecera MAC para el uso conjuntamente con tramas agregadas. Trabaja de manera semejante como compresión de encabezamiento Van Jacobsen en líneas de marcado seriales. Las tramas entre dos destinaciones comparten la mayor parte de los campos en la cabecera MAC, lo mas notable las direcciones MAC dentro del paquete. Por lo tanto, una identificador de cabecera de un byte (HID) ES asignado a un sistema único de las tres direcciones MAC dentro de una trama MAC.

La identificación de la cabecera puede también guardar el campo de la duración, puesto que el agregado tendrá su propia duración, así como dos bytes para el control de QoS. Cuando las tramas se transmiten entre el mismo remitente y destinación, más bien que la repetición de los mismos 22 bytes de información cabecera, es substituido por una sola identificación de cabecera de un byte.

La figura 5-11 (a) demuestra el uso de las tramas MAC de compresión de encabezamiento. Primero, Una trama de encabezamiento que contiene el encabezamiento completo es transmitida, y se asigna una identificación de cabecera. La identificación de cabecera se puede utilizar para referenciar al encabezamiento lleno previo, enviando un solo byte para referenciar la

³⁴ GAST. Op cit. p 327

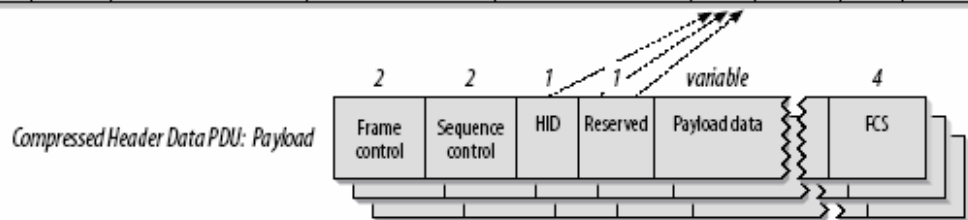
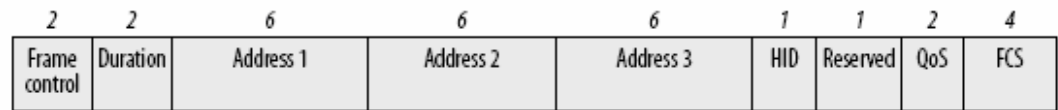
información transmitida anteriormente sobre la duración, la dirección, y los datos de QoS.

La Figura 5-11 (b) ilustra el uso de la compresión de la cabecera. Cinco tramas para dos destinaciones de la MAC se han agregado en una sola trama para la transmisión física. Más bien que transmitir un encabezamiento completo en cada trama constitutivo de la MAC adentro de agregado, el sistema utiliza la compresión de cabecera o de encabezamiento. Hay dos destinaciones y por lo tanto dos encabezamientos únicos de la MAC. Cada uno de ellos se transmite y se asignan a un número de identificación de cabecera. Las cinco tramas de datos que siguen el agregado cada uno refieren al número apropiado de encabezamiento. Un número de la identificación del encabezamiento es único solamente dentro del contexto de una sola trama agregada. Comparado a transmitir los encabezamientos completos sobre todas cinco tramas, el gasto atribuible a la estructura de la Mac es extendida por más de la mitad.

La comprensión del encabezado es útil cuando un solo agregado contiene tramas múltiples entre la misma fuente y el par de la destinación. Sin embargo, las ventajas de la agregación en TGnSync no se confinan a los pares. Se requiere la agregación de un Solo receptor; una extensión opcional permite que las tramas agregadas contengan las tramas de la MAC para los receptores múltiples, en este caso se llaman las tramas del agregado Múltiple Receiver (MRA). Dentro de la sola trama agregada transmitida, hay tramas múltiples del control de acceso del iniciador. Cada IAC especifica una compensación para transmitir la respuesta a las tramas agregadas, que serán generalmente una respuesta del reconocimiento del bloque. Para distinguir tramas agregadas de múltiples receptores de tramas agregadas de un solo receptor, las tramas de múltiples-receptores comienzan con un ítem del control llamado el descriptor del agregado de múltiples receptores (MRAD). La Figura 5-12 demuestra la operación de la agregación del múltiple receptor. La trama agregada del

iniciador comienza con el descriptor agregado, y es seguido por las tramas agregadas para cada destinación. Una trama del IAC es usado para dividirlos.

a) *MAC Header PDU: Full header*



b) *Using header compression*

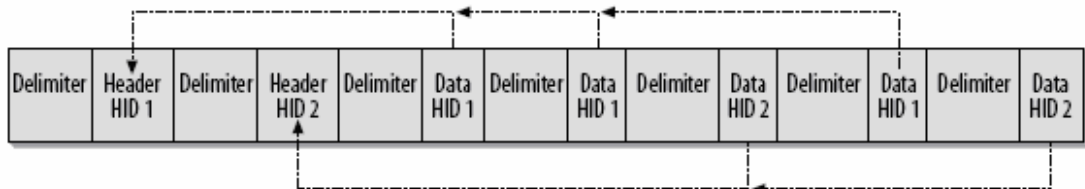


Figura 5.11 compresión de cabecera MAC³⁵

Protección

Como con todo los PHYs que ha seguido el hardware existente encendido al mercado, La propuesta de TGnSync pone la protección en ejecución para evitar tener el nuevo paso de PHY en transmisiones del viejo PHY. La protección en la propuesta de TGnSync puede tomar uno de dos formas principales. La primera clase se basa en el mecanismo que detecta el portador virtual de la MAC con el vector de la asignación de red. La segunda clase se basa en “spoofing,” el cual usa el formato de encabezamiento existente de PLCP para llevar la información de la duración. Cada estación puede hacer su propia determinación en cuanto al mecanismo apropiado.

³⁵ GAST. Op cit. p 329

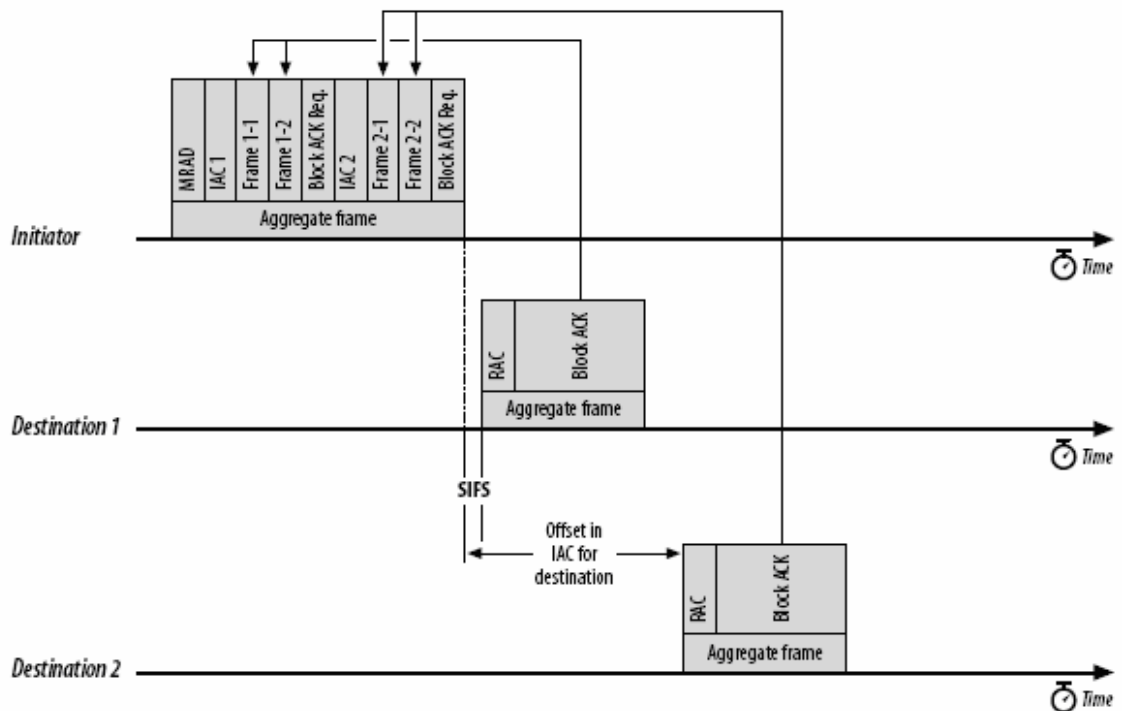


Figura 5.12: MRA de TGnSync³⁶

Fijar valores largos de NAV para proteger la duración de un intercambio de trama es una adaptación pequeña del mecanismo de la protección 802.11g³⁷. Al comienzo de un intercambio de trama, la marco de RTS contendrá un NAV bastante tiempo para proteger el intercambio entero de la marco. la trama de RTS se envía usando una tasa de “herencia”, y se puede entender por los receptores existentes de OFDM. En respuesta, la estación blanco envía un mensaje de CTS devuelta, también con un valor largo de NAV. Según las reglas básicas del acceso MAC, otras estaciones difieren el acceso al medio debido al claro de RTS/CTS, y las dos estaciones están libres intercambiar tramas en tasas de datos más altas usando las modulaciones que no serían entendidas por las más viejas estaciones. Los intervalos de LongNAV pueden ser terminados temprano usando una trama CF-End. Cuando esta protección se utiliza para las tramas agregadas, el RTS es substituido por una trama de control de acceso del iniciador (IAC), y el CTS es substituido por una trama del

³⁶GAST. Op cit. p 329

³⁷ GAST. Op cit. p 120

control de acceso del respondedor (RAC); la teoría de operación, sin embargo, sigue siendo idéntica. Véase la Figura 5-13.

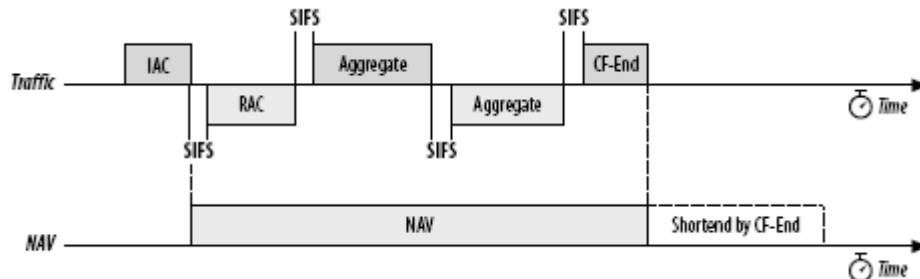


Figura 5.13: Protección de TGNsync LongNAV³⁸

La segunda clase de la protección se llama el “spoofing,” y depende de fijar campo de la longitud en el encabezamiento PLCP. TGNsync conserva el encabezamiento existente de OFDM idéntico al formato 802.11a/g, el spoofing es eficaz con todas las estaciones. El encabezamiento de OFDM PLCP contiene dos números son usados utilizado por los receptores para determinar cuánto tiempo la transmisión tomará. El campo de la SEÑAL, que se demuestra en la Figura 13.16³⁹ de, codifica ambas tasas de la transmisión para cuerpo y su longitud en bits. Las estaciones descifran el campo de la señal y dividen el número de los bits por la tasa a subir con un tiempo de transmisión aproximado. Para maximizar la cantidad de tiempo que puede ser spoofed, la tasa de datos en el campo de la SEÑAL de la herencia es fijada siempre al valor posible más bajo de seis Mbps.

Las parejas spoofing, cada dos estaciones enviaran una longitud y tasas incorrectas tal que las más viejas estaciones estarán en modo receptor para la duración de la trama en curso y su próxima respuesta. Las estaciones de TGNsync mas nuevas ignoran los campos de señal mas viejas y usan un campo de señal 802.11n en su lugar. La figura 5-14 ilustra una pareja spoofing. Cuando la trama 1 transmite, la pareja spoofing es usada para alargar el

³⁸ GAST. Op cit. p 330

³⁹ GAST.OP cit .p150

tiempo de recepción de la trama a través del final de la trama 2. Las estaciones de TGnSync interpretarán spoofing como NAV más largo y por lo tanto actuará como si los NAV fueran fijados para la duración de la trama 2, Naturalmente, una estación dentro de la gama del respondedor será fijada al estado de recepción; si, sin embargo, hay un nodo ocultado, el NAV protegerá la transmisión por la trama 2. Las estaciones 802.11a/g interpretarán tiempo spoofed como recepción de tiempo, aunque ellas están fuera de la gama de la segunda trama. Cuando se transmite la trama2, también emplea en parejas spoofing para proteger la trama 2 y la trama 3.

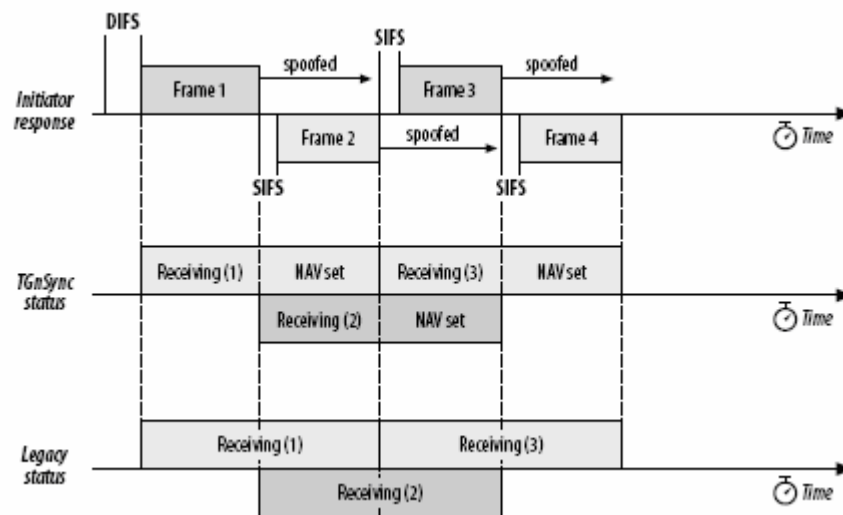


Figura 5.14: Parejas de protección spoofing TGnSync⁴⁰

Si un período largo del cierre es necesario para las respuestas múltiples a una solo trama, el spoofing de un solo final puede también ser utilizado. Con spoofing de un solo final, la primera trama en el intercambio utiliza spoofing para proteger el intercambio entero, permitiendo que todas las respuestas vengan adentro durante el período protegido. La Figura 5-15 ilustra spoofing de un solo final con trama de agregación. la primera trama del agregado es un agregado de receptor múltiple, permitiendo respuestas a partir de dos otras estaciones. Se fija la duración spoofed igual al tiempo esperada para el intercambio entero. Las estaciones de TGnSync entrarán en modo de

⁴⁰ GAST. Op cit. p 331

recepción para la duración de la primera trama, y después actúan como si los NAV fueran fijados para duración spoofed . Los dispositivos de herencia entran en modo de recepción para la entera duración spoofed.

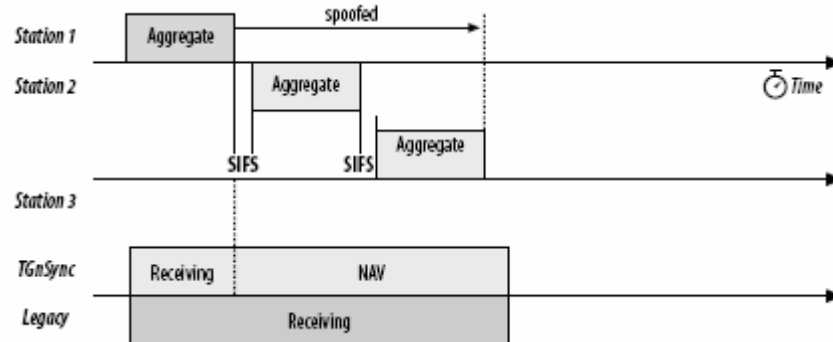


Figura 5.15: protección de TGnSync: spoofing de un solo final⁴¹

Ahorro de energía

TGnSync define el modo interruptor de receptor sincronizado (Timed Receive Mode Switching, TRMS) para conservar la energía y ampliar la vida de la batería. El ahorro de energía del tradicional 802.11 trabaja totalmente cerrando una interfaz y requiriendo el buffering en el AP. En radios de los sistemas siso, hay solamente una cadena del RF a cerrar. Con los sistemas MIMO, sin embargo, puede haber ahorros significativos de la energía cerrando cadenas inusitadas del RF, pero reteniendo una sola cadena activa para supervisar el acoplamiento de radio. Los dos estados del sistema se llaman MIMO habilitado para capacidad de recibir llena, y MIMO inhabilitado cuando todo si no una cadena del RF se cierra.

Las estaciones activan el ahorro de energía de TRMS incluyendo un elemento de información en la petición de la asociación. El parámetro básico en el ahorro de energía TRMS es el tiempo de asimiento (hold time). Después de que una estación transmita una trama, permanece despierta para la duración del tiempo de asimiento. Cualquier trama transmitida reajusta el contador de

⁴¹ GAST. Op cit. p 332

tiempo del asimiento a su valor máximo. Poner el tiempo de asimiento a cero indica que la estación se quedará completamente en funcionamiento por un slot time antes de dormir.

En redes de la infraestructura, el AP es responsable de mantener el contador de tiempo de asimiento TRMS para cada estación. Si transcurre el contador de tiempo, el AP debe concluir que ha incorporado el estado inhabilitado MIMO, y accionarlo para accionar las cadenas receptoras durmientes. En una independiente BSS, cada estación debe mantener un contador de tiempo del asimiento para todas las otras estaciones.

El contador de tiempo es un parámetro sintonizable. Si se fija a un valor más grande, las estaciones utilizarán más energía para mantener el receptor completamente en funcionamiento. El rendimiento de procesamiento es probable ser mejor, pero costa de una cierta vida de la batería. La capacidad de la red no puede ser afectada mucho en absoluto. Las redes que utilizan el procedimiento que alarga el NAV para la protección deben transmitir el intercambio inicial de RTS/CTS en modo de una sola antena de manera que sea compatible con todas las estaciones de OFDM, y harán estaciones habilitar la operación de MIMO sin tramas adicionales. Los modos de transmisión avanzados pueden sufrir, sin embargo, porque muchos de ellos requieren intercambios de tramas del multiantena que sean completamente operacionales.

5.6.2 REALCES DE LA PHY TGnSync

Para desarrollar una tasa de datos máxima más alta, la oferta de TGnSync depende de la tecnología similar a WWiSE. Las tramas se dividen en las corrientes espaciales que se pueden multiplexar a través de las antenas en una configuración de MIMO. Una codificación más agresiva, incluyendo a una constelación más grande, una tasa de código convolucional mas alta, y un

intervalo reducido de protector están presentes para mejorar la tasa de datos. Canales más anchos también son requeridos por TGnSync. el soporte para los canales de 40 megaciclos se debe construir dentro de dispositivos dóciles de TGnSync, mientras que es opcional en WWiSE.

Estructura de un canal

Los canales de 20 megaciclos y de 40 megaciclos se dividen en subportadoras de 0.3125 megaciclos, apenas como en 802.11a. El canal de 20 megaciclos es idéntico a un canal 802.11a, y se demuestra en la Figura 5-16 (a). El canal de 40 megaciclos propuesto de TGn figura 5-16 (b) es una modificación de la estructura de 20 megaciclos. Dos canales de 20 megaciclos se enlazan juntos, y la resultante banda espectral se divide en 128 subcanales. Las frecuencias de centro de los viejos canales de 20 megaciclos se localizan en ± 32 . Los canales de herencia aplican una máscara espectral de -6 a +6 y cae la amplitud de las transmisiones en el extremo de las bandas. Con un solo canal continuo, sin embargo, no hay necesidad de utilizar una máscara espectral, y el centro de la banda se puede utilizar al máximo. Las transmisiones máximas (full strength) en el medio de la banda permiten ocho nuevas subportadoras. Usar un solo bloque contiguo de 40 megaciclos del espectro reclama las subportadoras que habrían estado de otra manera perdidas. Así, en TGnSync, un canal de 40 megaciclos proporciona el rendimiento de procesamiento igual a 2.25 veces del canal de 20 megaciclos, más bien que simplemente doblar el rendimiento de procesamiento. Para aumentar más lejos el rendimiento de procesamiento, uno de los portadores experimentales del canal de 20 megaciclos se quita, así que un canal de 40 megaciclos tiene 6 portadores experimentales en vez de 8.

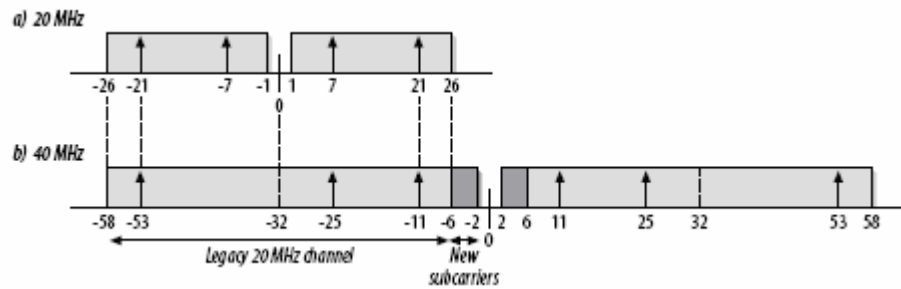


Figura 5.16: estructura del canal de TGnSync⁴²

Tasas básicas de MIMO

Hay 32 pares de modulación y de codificación definidos por el TGnSync PHY. En el básico modo MIMO, cada corriente espacial debe utilizar una técnica idéntica de la modulación, así que la tasa de datos es simplemente un múltiplo de la sola tasa de datos espacial de la corriente. Más bien que tomar mucho espacio en la tabla, aquí hay unas fórmulas básicas para las tasas de datos:

La tasa de datos (Mbps) = 12 × el factor de ancho de banda del canal × número de corrientes espaciales × bits codificados por subportadora × tasa de código × factor intervalo de guarda

Factor de la ancho de banda del canal

Los canales de 20 megaciclos son la línea de fondo, y son asignados a un factor de ancho de banda del canal de los canales de 1. 40 megaciclos que llevan más de dos veces los datos, y son asignados a un factor de ancho de banda del canal de 2.25.

Número de corrientes espaciales

El número de corrientes espaciales puede ser igual a 1, a 2, a 3, o a 4. Debe ser inferior o igual el número de las antenas de la transmisión. Soporte para al menos dos corrientes espaciales es obligatorio.

⁴² GAST. Op cit. p 333

bits cifrados por subportadora

Éste es también 6 para 64-QAM, 4 para 16-QAM, 2 para QPSK, o 1 para BPSK.

Tasa de código

La tarifa del código puede ser el 1/2 cuando está utilizada con BPSK; el 1/2 o 3/4 cuando está utilizado con QPSK o 16-QAM; o 2/3, 3/4, o 7/8 cuando está utilizado con 64-QAM.

Factor del intervalo del protector

El intervalo de guarda básico es 800ns y es asignado el factor intervalo de guarda de 1.400ns que incrementa el rendimiento y procesamiento ligeramente y son asignados al factor de 1.11

En un modo básico con una sola corriente espacial, la capacidad de canal es idéntica a 802.11a, con excepción del hecho que un código de la tasa de 7/8 se puede utilizar para una tarifa de 63 datos de Mbps. Usando los parámetros de la capacidad más alta (cuatro canales de 40 megaciclos, 64-QAM con una tasa del código de 7/8, y el intervalo corto de guarda), la oferta de TGnSync tiene un máximo rendimiento de procesamiento de 630 Mbps.

Modos de transmisión

Hay tres modos de MIMO para los cuales la oferta de TGnSync llama. En el modo básico obligatorio de MIMO, el número de corrientes espaciales es igual al número de antenas. Cada corriente espacial se modula y se transmite idénticamente. Se cifra usando la misma modulación, y se envía cada canal con la misma energía de la transmisión. Cualquier cambio en la tasa de la transmisión se basa en la regeneración implícita de reconocimientos perdidos.

Dos modos opcionales se aprovechan de la información aprendida sobre el canal de radio, que se refiere como operación “a circuito cerrado”. Los dispositivos de TGnSync envían unas tramas de sondeo para así medir el funcionamiento del acoplamiento. De acuerdo con la información espigada del sondeo y de la calibración, el beamforming o técnicas de procesado matricial⁴³ se puede utilizar para mejorar la calidad de la señal. Una calidad más alta de la señal significa que una tasa de datos dada se puede utilizar en un rango mas largo. Para una porción de señal a ruido dado, una transmisión beamformed puede llevar más datos. Beamforming es una característica opcional del protocolo. Es improbable que la mayoría de dispositivos clientes no podrán enviar transmisiones beamformed. Sin embargo, dispositivos cliente debe poder recibir tramas beamformed para recibir las ventajas.

En el MIMO básico con modo beamforming, cada canal se debe cifrar de igual manera. Antes de comenzar la transmisión, un sondeo se requiere para calibrar el canal de radio. De acuerdo con la información del sondeo, la energía y la codificación para las corrientes espaciales se seleccionan. El modo beamforming básico requiere que todas las corrientes espaciales estén transmitidas en la misma energía con la misma codificación. El beamforming básico puede ser utilizado siempre que sea el número de corrientes espaciales inferior o igual el número de las antenas de la transmisión, pero sus ventajas del proceso de señal es más evidente cuando el número de las antenas que transmiten una señal es mayor que el número de las antenas que reciben. Si el número de corrientes espaciales es menos que el número de antenas trasmisoras, una matriz de dirección (*spatial steering matrix*) se utiliza para asignar bits a las antenas de la transmisión.

Un opcional beamforming mimo avanzado (ABF-MIMO) también se define. Trabaja de una forma similares al modo beamforming básico, pero con la

⁴³ PEREZ. Daniel, *Un Marco Unificador para Comunicaciones sobre Canales MIMO*, Departamento de Teoria de la Senal y Comunicaciones Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Campus Nord UPC, Edificio D5c/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona (España), 2004

capacidad adicional de usar diferente energía de transmisión en cada flujo transmitido, tan bien como la posibilidad de usar una modulación y codificación diferente en cada corriente flujo espacial. Como el modo beamforming básico, requiere la recolección de la información de estado de radio para calibrar el canal. Un modo opcional en el modo beamforming avanzado permite el beamforming para ocurrir en ambas direcciones si es soportado en ambas direcciones. El modo beamforming avanzado de MIMO también incluye una nueva constelación: 256-QAM, que transmite 8 bits codificados por portadora subportadora

Para obtener el rendimiento de procesamiento para el modo beamforming avanzado, utilizar la ecuación en la sección anterior () para cada corriente espacial, y agregar las corrientes espaciales juntas. Para 256-QAM, el uso de 8 bits codificados por subportadora. 256-QAM se utiliza solamente con una tasa del código de la tasa $R=3/4$.

Codificación opcional

Además del código convolucional apoyado por la especificación original de OFDM, la oferta de TGnSync también incluye dos códigos de corrección de error adicionales opcionales. La primera técnica utiliza el código del bloque de la Reed-Solomon⁴⁴, que fue desarrollado en 1960. Es ampliamente utilizada en muchos usos digitales, la aplicación mas notable se encuentra en la corrección de error en los CDs y DVDs. La oferta de TGnSync combina el código de la Reed-Solomon con código convolucional existente de una manera convencional. Primero, se codifica la secuencia de datos con el código de la Reed-Solomon, y entonces la salida de ese proceso de codificación se maneja hacia una codificación convolucional. Ambos códigos tienen características complementarias. los códigos convolucionales trabajan separando errores

⁴⁴ Para mas información acerca de los códigos Reed-solomon consultar http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm

hacia fuera sobre el tiempo, y pueden ocuparse de errores relativamente aislados; el código de la Reed-Solomon trabaja bien en corregir ráfagas de error. Una alternativa a la combinación Reed-Solomon/la convolucional es un low-density parity check cod (LDPC)

Intervalo de guarda corto operacional

Para mejorar más allá la eficiencia MAC, la oferta de TGnSync permite el uso de un intervalo corto de guarda. En los estándares 802.11a y 802.11g⁴⁵ así como la oferta de WWiSE, el intervalo de guarda es 800 ns. El intervalo debe ser dos a cuatro veces el delay spread. Un intervalo del protector de 800 ns permite 200ns delay spread, que es mucho más alto que lo observado en muchos ambientes. La mayoría de las oficinas y de los hogares tienen un mucho más pequeño delay spread, en el orden de 50-100 ns. En ese caso, usar un intervalo del protector de 400 ns puede alzar rendimiento de procesamiento por el aproximadamente 10%.

5.6.3 Transmisión física TGnSync (PLCP y PMD)

El formato básico de la trama de PLCP en la propuesta de TGnSync se demuestra adentro Figura 5-17. Utiliza el mismo encabezamiento que el OFDM existente, y por lo tanto no requiere el uso de la protección de los altos gastos para evitar de interferir con las redes 802.11a o 802.11g. Los campos introducidos con L en la figura son campos de herencia comunes a 802.11a y a 802.11g; ver los capítulos 13 y 14 para los detalles del libro wireless networks

⁴⁶

⁴⁵ Para mas información de los estándares 802.11a y g consultar: IEE Standard .Op cit

⁴⁶ GAST. Op cit. p 188-309

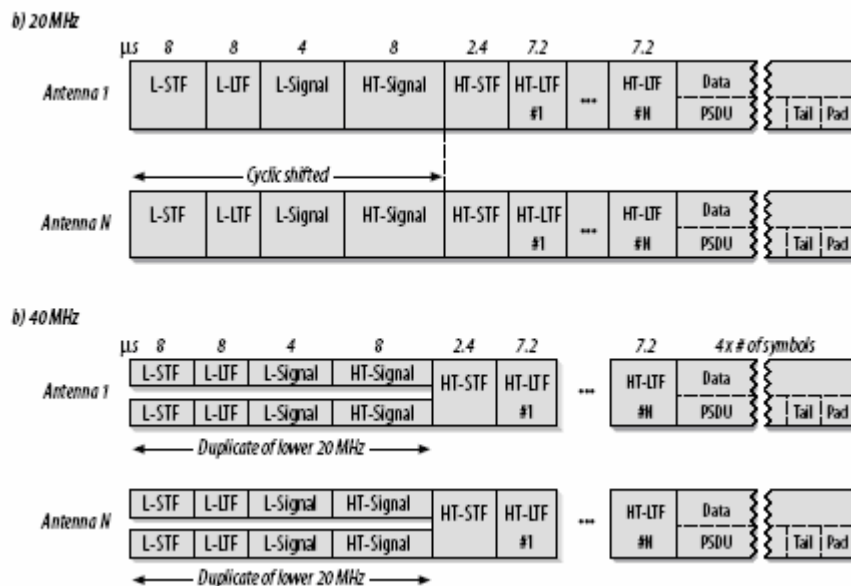


Figura 5.17: formato de trama PLCP de TGnSync⁴⁷

Encabezamiento heredado

Los primeros tres campos de la trama de TGnSync PLCP son idénticos al encabezamiento de 802.11a/g PLCP.

L-STF (Legacy Short Training Field)

(campo corto del entrenamiento de herencia) El campo del entrenamiento del cortocircuito de la herencia es idéntico a su definición en 802.11a. Dura ocho microsegundos.

L-LTF (Legacy Long Training Field)

(Campo largo del entrenamiento de herencia) El campo largo del entrenamiento de la herencia es idéntico a su definición en 802.11a. También duran ocho microsegundos.

⁴⁷ GAST. Op cit. p 336

L-SIG (Legacy Signal)

(Señal de la herencia) Estos tres campos son idénticos a los campos correspondientes usados por 802.11a y adoptados por 802.11g. El campo de L-SIG es transmitido usando BPSK, modulación y codificación $R=1/2$

El contenido del campo de L-SIG es ignorado por las estaciones de TGnSync. Cuando se emplea la protección spoofing, el contenido del campo de la señal de la herencia no es descriptivo. Las estaciones de TGnSync mirarán en los encabezamientos del alto-rendimiento de procesamiento que siguen los encabezamientos de herencia para la longitud real y la tasa de codificación del tramaMAC incluida.

Para aprovecharse de la diversidad espacial que es el resultado del tener antenas múltiples transmitiendo el mismo encabezamiento de herencia, TGnSync ofrece un retraso cíclico opcional. Cada antena transmite su trama de herencia con una alteración leve en su longitud cíclica del prefijo, tal que el cambio de retraso total es 50 ns.

Cuando se utilizan los canales de 40 megaciclos, como en la Figura 5-17 (b), el encabezamiento de la herencia se transmite en cada subcanal de 20 megaciclos. Es decir, subportadoras -58 a -6 en los subsánales de 20 megaciclos más bajos y subportadoras +6 a +58 en el subcanal mas alto ambos transmiten el mas viejo estilo de 802.11 a

Encabezamiento de Througput alto.

El componente principal del encabezamiento de alto del rendimiento de procesamiento es campo de la señal de alto rendimiento de procesamiento (HT-SIG), que se demuestra en la Figura 5-18. El campo El HT-SIG se utiliza

para detectar si una trama lleva datos TGnSync-codificados en las altas tasas de datos, o si es simplemente una trama de los datos de la herencia. El campo de HT-SIG se modula conservadoramente, usando Q-BPSK, $R=1/2$ modulación y codificación. Q-BPSK utiliza dos puntos de referencias en su constelación, pero ellos están presentes en el componente de la cuadratura. La constelación de QBPSK se compara a la constelación de BPSK en la Figura 5-18 (b)

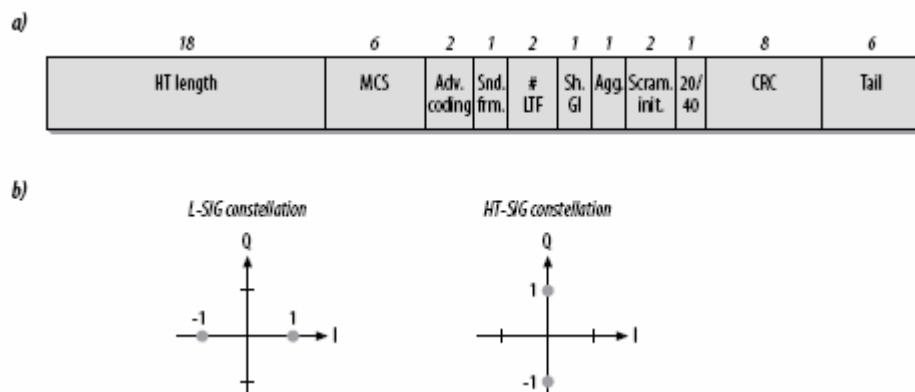


Figura 5.18: campo HT-SIG de TGnSync⁴⁸

Longitud HT (18 bits)

Este campo es el número de bytes en la carga útil de la trama PLCP. Cuando se utiliza la agregación, puede ser absolutamente grande si varias tramas del mismo tamaño de MAC se incluyen en la carga útil.

Modulación y juego de código (MCS) (6 bits)

Una de las desventajas a usar MIMO es que hay opciones innumerables cuando explicas diversos esquemas de la modulación, números diferentes de corrientes espaciales, y diversas tasas de código. El campo del MCS selecciona el esquema de la modulación y de codificación, junto con el número de corrientes espaciales. Los valores de 0-31 se utilizan para los modos básicos de MIMO, y los valores de 33-63 se utilizan para los modos avanzados de MIMO.

⁴⁸ GAST. Op cit. p 338

Codificación de estado avanzado (2 bits)

Este campo de dos bits es usado para indicar si la codificación avanzada opcional es usada. No se indica ninguna codificación avanzada por cero. LDPC es indicado por 1. La codificación Reed Solomon es indicada por 2. El valor 3 no se utiliza.

Paquete de sondeo (1 bit)

Las peticiones y las respuestas usadas para medir el funcionamiento del canal fijaron este bit. Cuando está fijado, indica que cada antena está transmitiendo su propia corriente espacial. Si no se fija, entonces el marco no se debe utilizar para medir la información del canal.

Número de HT-LTFs (2 bits)

Después del campo de la señal HT están los campos del entrenamiento del alto-rendimiento de procesamiento. Cada corriente espacial requiere un campo del entrenamiento.

Intervalo corto de guarda (1 bit)

Cuando se fija a uno, esta bandera bit indica que el intervalo de guarda de 400 ns es usado en símbolos mimo en campo de datos de la trama.

Agregación o suma (bit)

Si este bit se fija a uno, indica que la trama de PLCP lleva varias tramas del MAC en una ráfaga del agregado.

Inicialización del desmodulador (2 bits)

Estos dos bits se utilizan para sembrar el desmodulador.

20/40 BW (1 bit)

Si se fija a uno, este bit indica que un canal de 40 megaciclos es utilizado. Cuando el sistema a cero, él indica un canal de 20 megaciclos

CRC (8 bits)

El CRC se utiliza para proteger el campo de la señal de herencia, y todos los campos en el campo de HT-SIG antes del CRC.

Cola (6 bits)

El campo de HT-SIG es protegido por un código convolucional, y como siempre, seis bits son necesarios para rampa abajo del codificador convolucional

Campos del entrenamiento del Alto Througput

Siguientes los encabezamientos rendimiento y procesamiento pequeños y campos de entrenamientos largos .. Un solo campo corto del entrenamiento atraviesa el canal de funcionamiento entero. En canales de 20 megaciclos, el ancho de banda del canal del campo de entrenamiento de alto rendimiento y procesamiento (HT-STF) es 20 megaciclos. Cuando se utilizan los canales más anchos de 40 megaciclos, el HT-STF tiene una anchura de banda de 40 megaciclos. The short training field fine-tunes the receivers in MIMO operation.

Cuando varias corrientes espaciales se transmiten sobre varias cadenas, un control más fino de la amplificación aplicada a la señal entrante es importante. Los campos largos del entrenamiento (HT-LTFs) se utilizan para templar más lejos cadenas de cada receptor. Un HT-LTF se utiliza para cada corriente espacial. En modo básico de MIMO, hay una cadena del receptor para cada corriente espacial; en el modo avanzado, puede haber más cadenas del receptor que corrientes espaciales.

Datos, cola, y relleno

Los bits de datos se codifican según los métodos de la modulación y de la codificación que son definidos por el encabezamiento del alto-rendimiento de procesamiento. Como otras capas físicas de OFDM, los datos son revueltos antes de la transmisión, usando los bits de la inicialización del desmodulador en el encabezamiento del alto rendimiento de procesamiento. Después de los datos, hay una cola de seis bits que las rampas abajo el código convulucional, y bastantes bits de acolchado para hacer los datos sean transmitidos igual al tamaño del bloque del símbolo.

5.6.4 TGnSync PMD

El diseño básico de un transmisor-receptor de TGnSync se demuestra en la Figura 5-19, que representa el diseño de un transmisor beamforming, más bien que un transmisor básico de MIMO. La trama revuelta entrante se da al codificador de corrección de error delantero (*forward-error correction coder*), que es generalmente un codificador convulucional. Los bits cifrados del codificador de FEC entonces se envían a diferentes corrientes espaciales por el analizador sintáctico espacial, que es responsable de dividir la secuencia de bit unificada en las corrientes subsidiarias para la transmisión. Se pincha cada corriente espacial hasta la tasa deseada. En el modo beamforming, el pinchar ocurre para cada corriente espacial y puede ocurrir en diversas tasas. Los transmisores básicos deben pinchar cada corriente a la misma tasa. (Lógicamente, el pinchar en el transmisor básico de MIMO puede ocurrir antes del analizador sintáctico espacial.) Cada corriente espacial ahora consiste en una secuencia de bits cifrados, alistar para mapear sobre los portadores de OFDM por el interclador. Después del intercalador, cada bloque de bits puede ser mapeado sobre un solo símbolo por la constelación del mapeador. En el modo básico de MIMO, se procesa cada corriente espacial intercalada por una sola cadena de transmisión; el modo avanzado utiliza una matriz espacial del

manejo para asignar símbolos a cualquier cadena transmitida. La matriz espacial del manejo demostrada en la figura podría ser substituido por un interfaz uno a uno entre los procesadores espaciales de la corriente y las antenas trasmisoras para la operación básica de MIMO. Cada cadena transmitida toma sus secuencias de símbolo y lo modula ajustándolo a las ondas aéreas. No hay mención en la especificación de rechazamiento del canal requerido o del desempeño de sensibilidad.

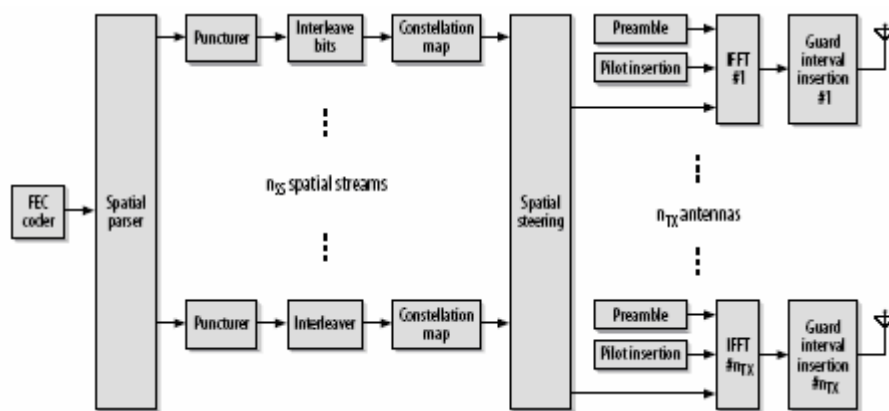


Figura 5.19: transector MIMO 2x2 de TGNsync⁴⁹

⁴⁹ GAST. Op cit. p 340

CONCLUSIONES

Las propuestas son esencialmente evoluciones de MIMO del 802.11a PHY. Ambos requieren la ayuda para un modo 2x2, donde el transmisor y el receptor tienen dos transmisores-receptores activos. Sin embargo, es probable que la mayoría de los productos que se basan en el estándar eventual 802.11n (que puede o no puede asemejarse a cualquiera de las ofertas) apoyen por lo menos algunos de los modos opcionales. Es probable que los apremios de coste en los dispositivos del cliente los restrinjan al funcionamiento en un modo del dos-transmisor-receptor, mientras que el APs tendrá más transmisores-receptores. El APs básico puede tener solamente dos, mientras que los AP de clase corporativos tienen tres o cuatro transmisores-receptores.

La tabla 5-5 demuestra las tasas de datos para los dos modos espaciales de la corriente para cada propuesta. La Tasas de datos más altas son posibles con las corrientes espaciales adicionales, no obstante hay un costo adicional de silicio. Las tasas máximas propuestas de TGnSync son más altas, aunque en el coste de una codificación más agresiva. La tasa de datos de Mbps de WWiSE 135 es lograda usando 64-QAM en $R=5/6$; TGnSync consigue a 140 Mbps usando un código de la tarifa de $7/8$ y cortando el intervalo del protector a la mitad. (Sin el intervalo corto de guarda, la tasa de datos de TGnSync es solamente 126 Mbps.)

El modo beamforming avanzado utiliza la constelación mucho más grande 256-QAM. Aunque las tasas de datos de TGnSync son más alta.

	Canales de 20MHz	Canales de 40MHz
WWiSE	135Mbps	270Mbps
TGnSync		
Modo básico	140Mbps	315Mbps
Modo beamforming avanzado	160Mbps	360Mbps

Tabla 5.5 velocidad tope para la propuesta definitiva del 802.11n (dos corrientes espaciales)

El uso espectral es un punto importante de la contención entre los dos grupos. WWiSE se ha centrado mucho más pesadamente en mejorar eficiencia del MAC que en la tasa de datos, incluso yendo mas lejos de lo que se argumenta que usar los canales de 40 megaciclos para mejorar la tasa de datos antes de mejorar eficiencia es una pérdida de escaso espectro sin licencia. Mientras que puede haber mérito a ese punto, el acercamiento del canalización de 40 megaciclos usado por TGnSync tiene la ventaja de poder reclamar espectro en el medio de un canal más ancho. WWiSE dobla simplemente rendimiento de procesamiento en su modo de 40 megaciclos, mientras que TGnSync exprime la capacidad más que doble fuera del canal más ancho. Ambos acercamientos tienen sus desventajas. La oferta de TGnSync conduciría probablemente a los chipsets que son siempre capaces de la operación de 40 megaciclos, agregando coste adicional y complejidad, aun cuando reguladores puede no permitirlos. En los países en donde se permiten los canales de 40 megaciclos, la velocidad adicional sería agradable. En áreas donde están solamente un sueño los canales de 40 megaciclos de la pipa de los fabricantes del chipset, el coste adicional puede no ser agradable. Por otra parte, la negación de WWiSE de la necesidad de canales de alta velocidad se parece negar el salto quíntuplo en tasas de datos que ocurre con cada 802.11 PHY nuevo.

Para la velocidad máxima, TGnSync requiere la operación a circuito cerrado, que sería a empresa importante al instrumento en silicio. Las tramas del sonido se deben utilizar para medir el canal, y las respuestas se deben recoger para

calibrar el canal de radio. WWiSE utiliza solamente la operación del lazo abierto, que es más simple poner en ejecución. La oferta WWiSE también ofrece la capacidad de separar una sola corriente codificada a través de múltiples antenas sin usar la operación a circuito cerrado. Si es a circuito cerrado la operación fuera a ser problemático implementar en el silicio, 802.11n podría ser retrasado inaceptablemente. La agregación de trama es una parte importante de resolver la meta más grande fijada para el eventual estándar 802.11n. Sin embargo, tomar la ventaja completa de las oportunidades de la agregación requiere hacer cola más inteligente que se ponga en ejecución actualmente. Si 802.11n ofrece un aumento enorme en velocidad es probable depender mucho de como de bien ha mejorado los algoritmos que hacen cola que pueden unirse a las colecciones de paquetes pequeños en los agregados grandes. Ninguna de las dos ofertas especifica hacer cola, así que el alza del funcionamiento puede variar entre los vendedores.

La agregación según lo diseñado por el protocolo es un bit más inteligente en TGnSync, aunque esto es solamente una ventaja de menor importancia. La oferta de WWiSE permite solamente la agregación cuando el encabezamiento MAC del campo de dirección 1 es el mismo. En una red de la infraestructura, el campo de la dirección 1 es el BSSID. Todas las tramas de una estación a un AP pueden ser agregadas, así que las dos ofertas son idénticas en la dirección ascendente. En la dirección en sentido descendente, WWiSE debe utilizar una ráfaga de trama de la capa física para cambiar direcciones. Cada nueva dirección debe tener un encabezamiento nuevo de PLCP. TGnSync puede reducir por encima usando una trama del agregado del múltiple-receptor, y recogiendo respuestas de cada receptor en el agregado.

Los modos de ahorros de energía en 802.11 se han descuidado, y no son muy sofisticados. TGnSync procura subir con las operaciones ahorro de energía extendidas para algunas de las nuevas estructuras del MAC, mientras que no lo hace WWiSE. Esto es probablemente debido a la presencia de los

vendedores del equipo que utilizan chips en el consorcio de TGnSync, mientras que WWiSE se abarca solamente de vendedores de la chips. Mientras que la compensación entre la velocidad y la vida de la batería es específica aplicación y puede no tener siempre sentido, es siempre bueno que los cuerpos que forman los estándares piensen en solucionar problemas futuros.

BIBLIOGRAFIA

LAWRE, Eric. "Adaptive Techniques for Multiuser OFDM", Tesis de grado. James Cook University, Australia 1992,.p 34-44.

MACDDOCKS, M.C.D. "An Introduction to Digital Modulation and OFDM Techniques", Research Department Report, The British Broadcasting Corporation, Londres1993.p 32

WILEY. John and sons, Wireless communications over MIMO Chanel, WILEY, sep, 2006.p 36-47

IEEE Standard. "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", Nueva York N.Y. 1999.

IEEE Communications Magazine. "A Comparison of the Hiperlan/2 and IEEE 802.11a Wireless LAN Standards", Mayo 2002.

GAST.Matthew. "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", O'Reilly Publisher,Abril 2002,p 30-45

⁵WSEWOLD Warzanskyj, GARCIA Luís, CAMPOY Miguel, ,"Agrupaciones de antenas MIMO :una promesa de aumento de capacidad en comunicaciones móviles" „Fernando Fournon Gonzáles –Barcía, junio 2005. Anexo1, pag31

¹ GESBERT. David ,et al :from theory to practice: an overview of MIMO time coded Wire less system paper de IEEE en areas de telecomunicaciones ,vol 21Nº3 ,abril ,2003.

ZYREN. James the WWiSE proposal for the 802.11n standard ,Conexant Systems,Inc,Analog Zone ,2005

PEREZ. Daniel, *Un Marco Unificador para Comunicaciones sobre Canales MIMO*, Departamento de Teoria de la Senal y Comunicaciones Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Campus Nord UPC, Edificio D5c/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona (España),2004

SITIOS WEB

² http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_fading

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Ronald_Rivest

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_Yagi

¹⁴ <http://www.cs.unibo.it/~margara/shannon.PDF>

¹⁷ <http://www.tgnsync.org/techdocs/tgnsync-proposal-presentation.pdf>

⁴² http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm

ANEXO 1

1.1. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Es una técnica de transmisión que data del año 1970, en aquel momento la utilización de la misma era poco viable debido a que esta requiere grandes capacidades de procesamiento de señal, y la tecnología disponible para su implementación era demasiado costosa. Actualmente aplicaciones como DSL, WLAN y TV Broadcasting han puesto su mirada en OFDM gracias a su eficiencia espectral y a su resistencia contra los desvanecimientos por multitrayectos. La alta capacidad de procesamiento de los circuitos integrados actuales (VLSI) y su bajo costo hacen posible la implementación de esta técnica en forma eficiente y económica.

La figura 1.1 proporciona una idea de la cantidad de portadoras que se envían en un determinado ancho de banda usando FDM y OFDM, observe como usando OFDM la cantidad aumenta considerablemente.

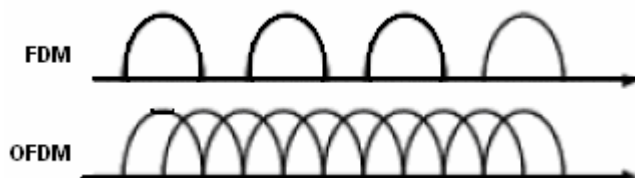


Figura 1.1: Señales OFDM y FDM en el dominio de la frecuencia

OFDM se basa en dividir el canal de comunicaciones en el dominio de la frecuencia en varios canales más pequeños, en cada uno de estos se transmite una subportadora. Cada una de las N subportadoras que se transmiten en los N subcanales deben ser ortogonales entre sí, de esta manera se permite el solapamiento de las mismas sin que esto cause interferencia alguna. La información que se envía es multiplexada en las subportadoras y se transmite entonces en forma paralela, ahora en vez de enviar un portadora que utilice todo el ancho de banda disponible, se envían varias subportadoras con un

ancho de banda N veces menor. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del ancho de banda del canal gracias a que las subportadoras se pueden solapar, evitando así las bandas de guarda.

Descripción formal de OFDM

OFDM es un esquema de modulación en el cual los símbolos son transmitidos en paralelo empleando un número considerable de subportadoras ortogonales, un bloque de N símbolos que son transmitidos serialmente en T_s segundos cada uno, se convierten en un bloque de N símbolos en paralelo que se transmiten en $T = N \cdot T_s$ segundos cada uno (ver figura 1.2). Los símbolos tienen entonces una duración N veces mayor permitiendo así reducir la interferencia intersímbolo (en inglés Inter Symbol Interferente ISI), esto se debe a que al tener símbolos mas grandes el porcentaje de éste afectado por un símbolo adyacente es menor. A cada uno de los símbolos le corresponde modular una de las N subportadoras, es decir si tenemos N símbolos debemos tener N subportadoras, cada una de las subportadoras debe estar separada $1/T$ Hz, esto garantiza la ortogonalidad de las mismas.

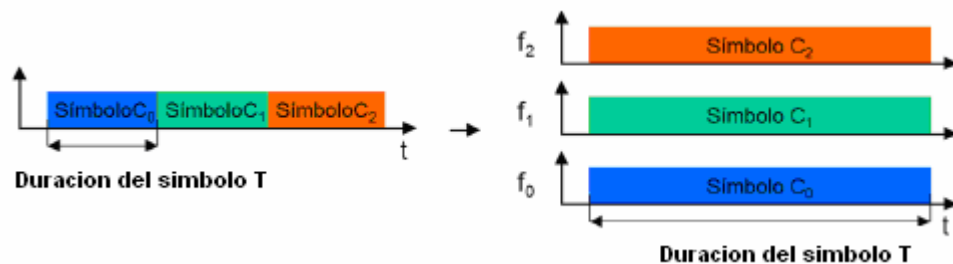


Figura 1.2: Transformación de los símbolos

En la figura 1.3 se observan las subportadoras en el dominio de la frecuencia, nótese como los máximos de cada subportadoras coinciden con los ceros de las otras, esto se debe al carácter ortogonal de las mismas y permite el solapamiento de sus espectros sin que esto provoque interferencias.

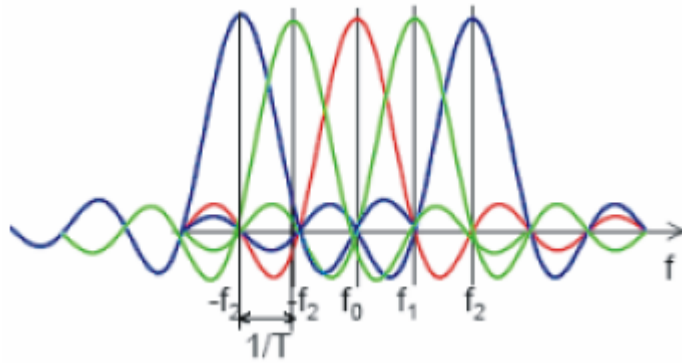


Figura 1.3: Subportadoras ortogonales

La señal OFDM en banda base se define de la siguiente manera:

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} I_k e^{j2\pi t/T} \quad \text{si } 0 \leq t < T \quad (3.1)$$

Donde:

I_k : Símbolo complejo, este contiene la información.

N : Número de subportadoras.

k : Índice de la subportadora.

T : Tiempo del bloque OFDM.

$1/T$: Frecuencia de separación entre las subportadoras para que sean ortogonales.

$v(t)$: Señal OFDM.

.

Ventajas de OFDM:

- Alta eficiencia espectral.
- Resistencia a desvanecimientos por multitrayectos.
- Resistencia a desvanecimientos selectivos en frecuencia.
- Resistencia a la dispersión de la señal.
- Resistencia a la distorsión de fase.
- Fácil ecualización del canal.
- Alta inmunidad a ráfagas de ruido.

Desventajas de OFDM:

- Las variaciones en frecuencia de las subportadoras degradan de manera considerable la calidad del enlace, ya que se pierde la ortogonalidad y las subportadoras interfieren entre sí, fenómeno que se conoce como ICI (Inter Carrier Interference).
- Se requieren altas capacidades de procesamiento de señales debido a la complejidad de la técnica.
- Alto valor en la relación de potencia pico a potencia promedio (en inglés peak-to-average power ratio PAPR).

ANEXO 2

ACRONIMOS

AP Access Point :Punto de Acceso

ASK amplitude shift keying, modulación por desplazamiento de amplitud

BSS Basic Service Set: estación de servicio básico

BER Bit Error Rate: tasa de error por bit

BSSID BSS Identifier, identificador BSS.

BPSK Binary Phase Shift Keying, desplazamiento de fase binaria

BTS Base transceiver station, Estaciones Base

CSMA/CA.Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance: Acceso múltiple de detección de portadora con evitación de colisión

CTS Clear to Send, claro para enviar

CCK Code Complementary Keying, Código complementario Cambiante

COFDM Coded OFDM OFDM codificado

CP Contention Period, periodo de contención

CW Contention Window, ventana de contension

CFP Contention-free Period, periodo libre de contención

RAC control de agregación del respondedor agregación control.

IAC control de la agregación del iniciador

DIFS DCF Interframe Space, espacio intertrama DCF

DA Destination Address, dirección de destinacion

DSSS Direct Sequence Spread Spectrum, espectro esparcido de secuencia directa.

DCF Distributed Coordination Function, function de coordination distribuida

DS Distribution System, sistema de distribucion

EIFS Extended Interframe Space, espacio intertrama extendido

ESS Extended Service Set, estación de servicio extendido

FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum, espectro esparcido por salto de frecuencia.

FSK frequency shift keying, despazamineto de frecuencia

HR-DSSS High Rate Direct Sequence Spread Spectrum, espectro esparcido por secuencia directa.

HT-SIG high throughput signal, señal de alto rendimiento de procesamiento

HT-STF high-throughput short training field, campo de entrenamiento corto de alto rendimiento de procesamiento.

ByteHID byte header identifier, identificador de cabecera de un byte

IBSS Independent Basic Service Set, estacion de servicio básico independiente

ISM Industrial Scientific and Medical Immediate, científica, industrial y medica

ACK Acknowledgement Reconosiminetos o acuses de recibo

IFFT Inverse Fast Fourier Transform, trasformada inverse de Fourier

L-LTF Legacy Long Training Field, campo de entrenamiento largo de herencia

LAN Local Área Network, red de área local

L-SIG Legacy Signal, señal de herencia

L-STF Legacy Short Training Field, campo de entrenamiento corto de herencia.

MAC Médium Access Control, Control de Acceso al Medio

MMPDUs MAC Management Protocol Data Units, Unidad de Datos de Protocolo de Administración MAC .

MPDUs MAC Protocol Data Units Unidad de Datos de Protocolo MAC

MSDUs MAC Service Data Units Unidad de datos de Servicio MAC

MCS Modulation and Coding Set Juego de Codigos y Modulation

MIMO Multiple-Input/Multiple-Output , Múltiples Entradas Múltiples Salidas

NAV Network Allocation Vector , Vector de Asignación de Red

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal

PIFS PCF InterFrame Space, Espacio Intertrama PCF

PLCP Physical Layer Convergence Procedure, Procedimiento de Convergencia de la Capa Física

PMD Physical Medium Dependent Dependencia de la Capa Media

PSK Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase

PCF Point Coordination Function, Función de Coordinación Puntual

PC Point Coordinator , Coordinación Puntual

PS Power-Save, Ahorro de Energía

PDU Protocol Data Unit, Unidad de datos de protocolo

QoS quality of service, calidad de servicio

QPSK. Quadrature Phase Shift Keying , desplazamiento de fase por cuadratura

RA Receiver Address dirección del receptor

RTS Request to Send, pedido para enviar

RTS/CTS Request to Send/Clear to Send

SSID Service Set ID identificador de sistema de servicio

SIFS Short Interframe Space , espacio intertrama corto

SA Source Address, direccion de fuente

STBC Space Time Block Coding, Codificación del Cloque de Espacio-Tiempo

Tgnsync task group sync

TRMS Timed Receive Mode Switching, mode interruptor de receptor sincronizado

TA Transmitter Address, Dirección del trasmisor

UNII Unlicensed Nacional Información Infrastructure, Infraestructura Nacional de la Información Sin Licencia.

UMTS Universal Mobile Telecommunications System, sistema de telecomunicaciones móviles universales.

WPA Wi-Fi Protected Access, Acceso protegido de wifi

WEP Wired Equivalent Privacy,. Privacidad Equivalente con la Alamburada

WLAN. Wireless Local Area Network, Red de Area Local Inalambrica

WWiSE World Wide Spectre Efficiency

FFT Fast Fourier Transform, Trasformada Directa de Fourier

FCC Federal Communications Commission, comision federal de comunicaciones.

RIFS, Rreduced interframe space, espacio de intertama reducido

ZIFS zero interframe space, espacio intertrama cero



PROPUESTA PARA LA MONOGRAFÍA DE MINOR EN COMUNICACION

ESTANDAR 802.11n

OSWALDO JIMENEZ

0004038

KEVIN MORALES

0104034

ING. EDUARDO GÓMEZ VASQUEZ

Magíster en Ciencias Computacionales.

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA

2007

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA

1. TITULO

ESTANDAR 802.11n

2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Comunicaciones (WIFI)

3. COBERTURA DE INVESTIGACIÓN

Local

4. CAMPO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Tecnológica de Bolívar

5. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ante la creciente necesidad y revolución de las comunicaciones, nace la necesidad de tener un punto de acceso a Internet a alta velocidad desde nuestro hogar, pero eso no era suficiente ya que estaban atados a un punto (cables).

De hay nació la necesidad de brindar un servicio wireless (sin cables), con su estándar 802.11 y a medida que los usuarios de estas plataformas pedían mas velocidad, seguridad y movilidad, pasaron los estándares **802.11a**, **802.11b**, **802.11g** y los demás hasta llegar al estándar **802.11n** complementado con un nuevo sistemas de antenas MIMO (multiple input multiple output) que le dara al usuario mas movilidad y velocidad.

6. JUSTIFICACIÓN

El concepto de antenas MIMO y el estándar 802.11n es básicamente reemplazar los estándares 802.11x existentes para brindar mas velocidad y capacidad de conexión por medio de las antenas que generan canales de tráfico simultáneos entre las diferentes antenas de los productos 802.11n, esta

tecnología utiliza simultáneamente las bandas de 2.4 y 5 Ghz, en el borrador la velocidad marcada es de 300 Mbps y cuando ya culmine el producto final alcanzara una velocidad máxima posible de 600 Mbps,

7. OBJETIVOS

7.1. GENERAL

Estudiar el estándar 802.11n basados en las propuestas realizadas por los consorcios WWiSE y TGnSync.

7.2. ESPECÍFICOS

- Presentar la evolución hacia el estándar 802.11n
- Analizar la incidencia de las antenas MIMO en el estándar 802.11n.
- Describir el estándar 802.11n bajo las versiones de los dos consorcios.

8. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptiva

9. RECURSOS

HUMANOS

Eduardo Gómez Vásquez M.Sc.

BIBLIOGRÁFICOS

- <http://www.cientec.com/analisis/mimo.asp>
- <http://www.metrologicmexico.com/contenido/archivos/000088.shtml>
- www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_10.pdf
- Terry, J. y Heiskala, J. "OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide", Sams Publisher, Diciembre 2001.
- Gast, Matthew. "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", O'Reilly Publisher, Abril 2002.
- Tanenbaum, A. (2003) "Compute Networks". Section 4.4 The Medium Access Control sublayer. Prentice Hall. Cuarta edición.

- Jhon Wiley, and, sons, Wireless ,comunicacions, over MIMO
channel, WILEY, sep, 2006

10. AUTORES Y DIRECTOR

OSWALDO MIGUEL JIMENEZ DIAZ

KEVIN ENRIQUE MORALES CASTELLANOS

DIRECTOR EDUARDO GÓMEZ VASQUEZ M.Sc

