

WI-FI 6: CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS PARTICULARES DEL ESTÁNDAR IEEE-802.11ax

WI-FI 6: CHARACTERISTICS AND PARTICULAR ASPECTS OF THE IEEE-802.11ax STANDARD

Víctor Manuel Hinostrza Zubía

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
vhinostr@uacj.mx

Héctor Garcés Guzmán

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
hgarces@uacj.mx

Recepción: 17/octubre/2019

Aceptación: 23noviembre/2019

Resumen

El estándar IEEE 802.11 de red de área local inalámbrica se ha desarrollado por más de 28 años desde su primera versión con velocidad a 2 Mbit/s. La última versión de Wi-Fi está por aparecer, la versión ax, que alcanza la velocidad de 10 Gbit/s. IEEE 802.11ax fue concebido en 2014 con el objetivo de mejorar el rendimiento por área en escenarios de alta densidad. Describiremos las principales características de 802.11ax. En este trabajo se hace una revisión bibliográfica de las principales diferencias entre este nuevo estándar y las versiones anteriores. Entre las diferencias se pueden mencionar las siguientes; el enfoque de acceso aleatorio con división de frecuencia ortogonales, nuevas técnicas de reutilización de canales espaciales y control de potencia. Además, se destacarán otras mejoras significativas seleccionadas; incluyendo mejoras en la capa física, múltiples usuarios con múltiples entradas y salidas, avances en el ahorro de energía, etc. que hacen este estándar una mejora importante con respecto a su predecesor 802.11ac.

Palabras clave: Ahorro de potencia, calidad de servicio, OFDMA, MU-MIMO, redes de alta densidad, redes de alta eficiencia.

Abstract

The IEEE 802.11 wireless local area network standard has been developed for more than 28 years since its first version with a speed of 2 Mbit / s. The latest version

of Wi-Fi is about to appear, the ax version, which reaches the speed of 10 Gbps. IEEE 802.11ax was conceived in 2014 with the objective of improving performance per area in high density scenarios. We will describe the main features of 802.11ax, among which may be mentioned the following; the random access approach with orthogonal frequency division, new spatial channel reuse techniques and power control. In addition, other significant improvements selected will be highlighted; including improvements in the physical layer, multiple users with multiple inputs and outputs, advances in energy saving, etc. that make this standard a significant improvement over its predecessor 802.11ac.

Keywords: *High density networks, High efficiency networks, OFDMA, MU-MIMO, QoS, power saving.*

1. Introducción

El desarrollo de Wi-Fi, como se conoce más comúnmente a las redes IEEE 802.11 ya tiene más de 28 años en desarrollo, esta evolución de los estándares se caracterizó por un aumento significativo en las velocidades de datos nominales: desde los 2 Mbit/s de la versión original IEEE 802.11, a los 11 Mbit/s de 802.11b, los 54 Mbit/s de 802.11a/g, los 600 Mbit/s de 802.11n, y las tasas de Gbit/s en la última versión 802.11ac. Estas velocidades de Wi-Fi se han alcanzado por medio de esquemas de modulación y codificación más rápidos, canales más amplios, y la adopción de tecnologías de múltiples entradas múltiples salidas (MIMO) [Karmakar, 2017].

Desafortunadamente, el análisis de las redes 802.11ac demuestra que cuanto más intentemos aumentar el rendimiento de Wi-Fi en un espectro determinado se necesitan nuevas formas de acceso al canal en lugar de simplemente ampliar la banda o aumentando el número de canales espaciales [Lukaszewski, 2015], [Tianyu, 2013]. Además, aunque sigue siendo una característica clave, una alta velocidad de datos nominal no es completamente representativa del rendimiento de una implementación de Wi-Fi, de hecho, la operación de la red se ve más afectada por patrones de interferencia y atenuación selectiva en frecuencia, así como ineficiencias de acceso al medio y escenarios de configuración de red. Además, una

alta velocidad podría ni siquiera ser el principal requisito para varias aplicaciones y servicios.

La particularidad de diseño más notable de 802.11ax es el reconocimiento que, hoy los dispositivos WLAN están desplegados en muy diversos ambientes, caracterizados por la presencia de un número masivo de terminales concentradas en zonas geográficas localizadas. Oficinas corporativas, eventos masivos, *hotspots* al aire libre, centros comerciales, aeropuertos, salas de exposiciones, apartamentos residenciales densos, estadios, etc., estos son todos ejemplos de entornos densos [Kamel, 2016], cuya cobertura requiere una multiplicidad de Puntos de Acceso (AP), que pueden llevar a ser de hasta cientos [Khorov, 2015]. Por lo tanto, estas redes pueden requerir ser operadas con superposición de canales. En tales entornos, la velocidad ya no es el principal indicador de rendimiento de interés; más bien, el objetivo debe ser un aumento de la densidad de rendimiento, es decir, el rendimiento por área que se define como la relación del rendimiento total de la red entre el área de la red [Aboul, 2014].

Otro reto proviene de la disminución de la asimetría en los patrones de tráfico. El despliegue generalizado de las redes sociales, caracterizadas por una cantidad significativa de contenidos multimedia generados por los usuarios, así como aplicaciones que interactúan continuamente con los sistemas de almacenamiento centralizados en la nube. Estas aplicaciones suponen una carga importante no solo para el enlace descendente (DL) de la transmisión, como era el caso de los servidores tradicionales con aplicaciones de recuperación de información. Sino ahora esa carga se encuentra también en el enlace ascendente (UL). Para DL, el problema se resolvió parcialmente en 802.11ac con DL Multi-usuario (MU) MIMO. Para el enlace ascendente, esta técnica requiere sincronización del sistema que va más allá de lo que ha sido hasta ahora en los anteriores estándares de 802.11.

Este trabajo se enfoca en tres objetivos principales: proporcionar una radiografía de las soluciones y los enfoques incluidos hasta ahora en los trabajos de estandarización; complementar dicha información con datos cuantitativos seleccionados, resultados que sugieren hasta qué punto el modelo emergente es capaz de mantener sus promesas de mejora del rendimiento establecida en el

proyecto 802.11ax., e identificar los problemas o advertencias que pueden requerir más investigación, por ejemplo, en términos de otras ideas y/o resultados de simulación.

2. Métodos

La característica clave de 802.11ax es la adopción de un enfoque de acceso múltiple con multi-canalización por frecuencias ortogonales OFDMA, un enfoque ampliamente utilizado en redes celulares, pero nuevo en Wi-Fi. El razonamiento aquí es que canales muy amplios (80 MHz, 80 + 80 MHz y 160 MHz) introducidos por el estándar 802.11ac sufren de interferencia selectiva de frecuencia, que reduce significativamente las velocidades de red que puedan ser prácticamente alcanzables. Con OFDMA, sub-portadoras adyacentes (llamados tonos) se agrupan en una unidad de recursos (RU) y quien envía la información puede elegir la mejor RU para cada receptor particular, lo que en realidad resulta en una mayor relación señal-interferencia más ruido (SINR), un esquema de modulación y codificación (MCS) más adecuado y mejora el rendimiento, ver figura 1.

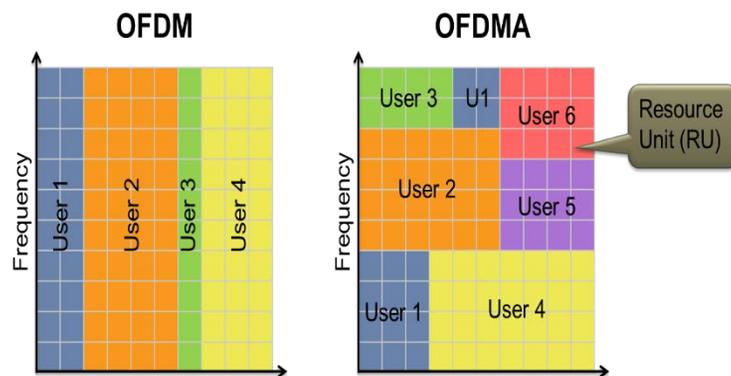


Figura 1 Acceso múltiple con OFDMA.

Además, la eficiencia de las altas velocidades de datos se degrada cuando una estación, tiene pocos datos para transmitir, técnicas avanzadas de agregación usadas para reducir el acceso al canal, el reconocimiento (ACK) y la sobrecarga inducida por el preámbulo de la trama se vuelven operaciones inútiles. Asignar RU más pequeños para estas estaciones es una corrección eficiente. De acuerdo con

las últimas investigaciones, OFDMA proporciona seis veces mayor rendimiento que la función de coordinación distribuida DCF de anteriores estándares [Deng, 2014]. OFDMA provoca que el acceso a radio Wi-Fi sea más cercano al de sistema celular LTE. Sin embargo, a diferencia de LTE, OFDMA trabaja sobre DCF y es coordinado por la AP. Significa que, al tener acceso al canal, el AP puede iniciar una transmisión DL habitual, transmitir DL MU (utilizando OFDMA, MIMO o ambos) o asignar RU para transmisión UL MU. En LTE, OFDMA está basado en el tiempo, es decir, varios tonos corresponden a diferentes equipos de usuario durante un intervalo de tiempo de transmisión (TTI). En 802.11ax, OFDMA está basado en tramas, es decir, una trama MU contiene datos de/hacia diferentes usuarios y se asignan varios tonos a los usuarios para toda la duración de la trama.

Para una transmisión DL MU, un preámbulo de la capa física PHY especifica la duración de la trama y la asignación de tonos entre las estaciones. Por el contrario, para una transmisión UL MU, tal programación es especificada en la trama anterior, que puede ser una trama de disparo, una nueva trama de control que asigna el canal para transmisión UL MU, o una trama de datos, cuyo encabezado contiene información de la programación. Esta última es especialmente útil para reconocimiento de las transmisiones DL MU. Una transmisión UL MU inicia exactamente un espacio de inter-trama corto SIFS después de la trama DL que contiene la programación. Esto permite sincronizar las estaciones participantes en la transmisión UL MU, cualesquiera que sean las técnicas que las estaciones usen: OFDMA, MU-MIMO, o ambas.

Además de OFDMA, se han realizado muchos esfuerzos para mejorar el rendimiento y para disminuir el consumo de energía en redes densas o sobrepuestas. La lista de las nuevas características incluye entre otras: coloración BSS: heredada (y extendida) de 802.11ac y 802.11ah, permite distinguir conjuntos de servicios básicos BSS con inter e intra tramas basados en sus preámbulos, incluso si las tramas son corrompidas por colisiones; varias modificaciones en el sensado de portadora virtual, conocido como vector de asignación de red (NAV); virtualización de operaciones; operación de micro-sueños, que permiten que una estación apague su radio solo por la duración de una trama que interfiera en la

transmisión; rediseño del tiempo de despertar programado TWT, originalmente introducido en 802.11ah; y ahorro de potencia oportunista. Las nuevas características del 802.11ax se muestran en tabla 1.

Tabla 1 Características del legado y nuevas de 802.11ax.

	Legado	802.11ax
Capa Física		
Espectro de frecuencia	Hasta 40 MHz @2.4 GHz, hasta 160 MHz @ 5 GHz	Hasta 40 MHz @2.4 GHz, hasta 160 MHz @ 5 GHz
Constelación de OFDM	256 QAM (11ac)	1024 QAM
Duración de símbolo OFDM	3.2 μ S	12.8 μ S
Intervalo de guardia OFDM	0.4 o 0.8 μ S (10 o 20% sobrecarga)	0.8, 16 o 3.2 μ S (5, 10 o 20% sobrecarga)
Orden de MIMO	4(11n), 8(11ac)	8
Máxima velocidad de datos	\approx 7 Gbps	\approx 9.6 Gbps
Acceso al canal		
Acceso al canal básico	CSMA/CA	OFDM encima de CSMA/CA
Acceso al canal aleatorio	DCF, EDCA	UL OFDM acceso aleatorio encima de CSMA/CA
Acceso libre de contención	PCF, HCCA	UL OFDMA basado en disparo
Tecnología MU	MU-MIMO (11ac)	MU-MIMO, OFDMA
Dirección de transmisión MU	DL (11ac)	DL y UL
Fragmentación	Estática	Flexible
Agregación	A-MSDU, A-MPDU	A-MSDU, A-MPDU con fragmentación
Manejo de OBSS		
Mitigación de interferencia	NAV, RTC/CTS, HCCA TXOP	Dos NAV's, período quieto
Reuso espacial	Sectorización (11ah)	Potencia adaptiva, coloración de BSS y umbrales de sensibilidad
Manejo de potencia		
Manejo de potencia	Muchas formas	TWT mejorado y micro-sueño mejorado

Capa Física: Formato de Trama y Modulación

La capa física de 802.11ax hereda varios aspectos de su predecesor 802.11ac. Al igual que en 802.11ac, se basa en multi-canalización por división de frecuencias ortogonales OFDM y soporta operaciones en 20, 40, 80, 80 + 80 y 160 MHz. Para aumentar el número de tonos, que es favorable para OFDMA, se ha cuadruplicado la duración de los símbolos OFDM utilizados para la carga útil de la capa física hasta 12.8 μ s., de tal manera que los símbolos OFDM más largos son más resistentes al

jitter entre usuarios inherente a los ambientes al aire libre, lo cual es muy importante para que la transmisión UL MU pueda realizarse simultáneamente para varios usuarios. Además, los símbolos más largos permiten reducir la sobrecarga debido a los intervalos de guardia GI. De hecho, basado en las condiciones del canal, un dispositivo 802.11ax puede separar símbolos OFDM con el IG seleccionado entre los valores (0.8, 1.6 y 3.2 μ s). La capa física de 802.11ax también introduce nuevas técnicas de modulación además de las conocidas BPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM. La primera es un 1024-QAM opcional, que puede ser explotada en medios ambientes interiores con muy buenas condiciones de canal, es decir, un alto SINR. Junto con códigos de corrección de errores (comprobación de paridad convolucional o de baja densidad) que tienen relaciones de código de 1/2, 2/3, 3/4 y 5/6. Estas modulaciones generan una paleta de velocidades de datos con un máximo de 9.6 Gbps. Una velocidad tan alta se logra cuando los datos son transmitidos en el MCS-11, el cual es el más alto con una tasa de código de 5/6, en un canal de 160 MHz o 80 + 80 MHz con 8 canales espaciales y un IG de 0.8 μ s.

Transmisión Multi-Usuario y Acceso al Canal

802.11ax define 4 tipos de tramas PHY (denominadas PPDU, Unidad de Datos del Protocolo PHY): para la transmisión de usuario único (SU), para la transmisión de rango extendido del SU, para la transmisión DL MU y para la transmisión de UL MU. Estos cuatro tipos de tramas diferentes aprovechan una estructura de trama de línea base extendida con campos seleccionados especializados para los diferentes tipos de tramas, ver figura 2.

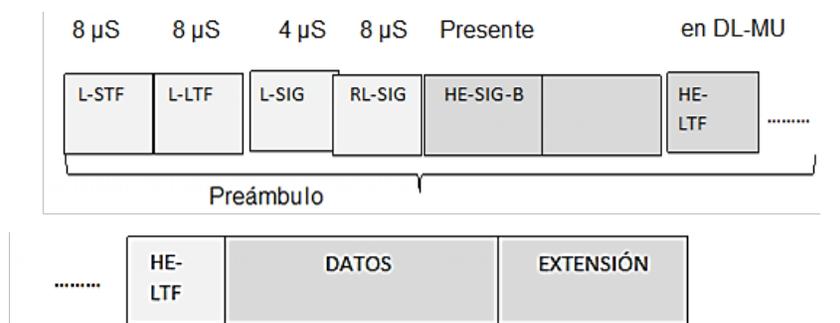


Figura 2 Formato de trama de 802.11ax.

La característica principal de la transmisión DL MU es que la trama contiene un preámbulo común que describe qué tonos un receptor particular debe decodificar para obtener su parte del campo de datos. Del mismo modo, para la transmisión UL MU, el preámbulo es común y lo emiten todas las estaciones. Entonces, cada estación envía su parte del campo de datos utilizando un conjunto predefinido de tonos. En 802.11ax, los recursos del canal se asignan a lo largo del tiempo y la frecuencia, pero con el fin de simplificar la gestión de recursos y el funcionamiento del dispositivo y para mantener la compatibilidad con los dispositivos actuales, la transmisión OFDMA se organiza trama por trama. Esto significa que una trama puede transportar información desde múltiples estaciones. En tal trama, se asignan varios tonos a diferentes estaciones, pero la duración de todas las RU dentro una trama es la misma. Una RU puede contener 26, 52, 106, 242, 484, 996 o 2x996 tonos (incluidos los de servicio). Las bandas pueden ser de 20 MHz, de 40 MHz, 80 MHz y 80 + 80 (160) MHz, corresponden a una RU de 242 tonos, RU de 484 tonos, RU de 996 tonos y dos RU de 996 tonos, respectivamente. Cada RU amplio puede ser dividido en dos RU aproximadamente dos veces más estrechos. A su vez, cada uno se puede volver a dividir, separadamente de otro. La única excepción es que una RU de 242 tonos puede ser reemplazada por dos RU de 106 tonos y una RU de 26 tonos. Debido a varios problemas con los códigos binarios convolucionales, las asignaciones múltiples de RU para una estación están prohibidas. Incluso aunque MU-MIMO y OFDMA se estén usando juntos, ambos UL y DL MU-MIMO se realizarán solo en ≥ 106 tono RU. El número máximo de RU para cada ancho de banda está indicado en la tabla 2.

Tabla 2 Número máximo de RU para un ancho de banda.

Tipo de RU	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 (80+80) MHz
26 tonos	9	18	37	74
52 tonos	4 ⁺¹	8 ⁺²	16 ⁺⁵	32 ⁺¹⁰
106 tonos	2 ⁺¹	4 ⁺²	8 ⁺⁵	16 ⁺¹⁰
242 tonos	1	2	4 ⁺¹	8 ⁺²
484 tonos	N/A	1	2 ⁺¹	4 ⁺²
996 tonos	N/A	N/A	1	2

⁺⁺ⁿ significa "más n 26 tonos RU"

3. Resultados

Manejo de BSS Traslapados y Reuso Espacial

Para determinar qué BSS es el originador de una trama sin decodificar toda la trama, 802.11ax usa la ID no única del BSS, llamado color BSS, ver figura 3, que se transmite en el preámbulo de la trama. Inicialmente, el campo de color BSS de 3 bits de longitud apareció en 802.11ah para reducir el consumo de energía, Porque el receptor puede dejar de decodificar un cuadro procedente de un BSS que interfiera.

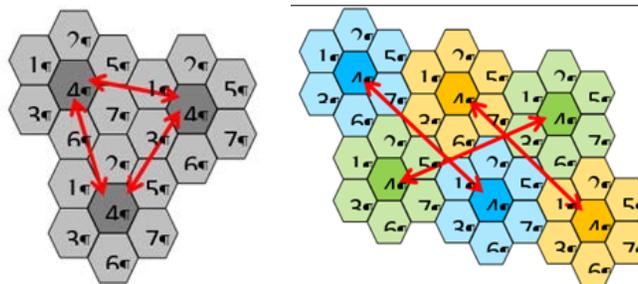


Figura 3 BSS coloreados.

Dado que el color BSS se selecciona al azar por el AP, los colores de dos BSS vecinos pueden coincidir o chocan en términos de 802.11ax. Para disminuir la probabilidad de colisión en el color BSS, se ha acordado aumentar la longitud del campo de color BSS a 6 bits. Si se produce la colisión, las estaciones asociadas a un AP pueden notificarle acerca de la colisión y la AP puede iniciar un procedimiento para cambiar su color de BSS. Para eso, anuncia el futuro color de BSS y el momento en que el color será cambiado, enviando un elemento de información especial. Así que todas las estaciones, incluso las que duermen pueden obtener Información sobre el cambio de color de BSS. El acceso al canal Wi-Fi sigue el principio de escucha antes de hablar, es decir, una estación realiza una detección de portadora antes de transmitir una trama. Se supone que el canal está ocupado en los siguientes casos:

- Si durante la detección de portadora, una estación detecta un preámbulo de trama, considera el canal como ocupado por la duración de la trama, eso se señala en el preámbulo de trama.

- Si durante la detección de portadora, una estación detecta una señal desconocida a más de 20 dBm por encima del nivel de sensibilidad mínima.
- Si se indica que el canal está virtualmente ocupado por NAV.

La detección del indicador virtual de ocupación en Wi-Fi, llamada NAV, se organiza como sigue. En el encabezado MAC, una estación indica el valor de NAV, es decir, por cuánto tiempo la siguiente trama ocupará el canal. Habiendo decodificado correctamente la trama, las otras estaciones configuran el NAV, es decir, consideran que el canal estará ocupado durante el tiempo indicado. Si una estación recibe una trama que indica un valor NAV mayor, aumenta su NAV, pero la estación no disminuye su NAV incluso si el valor NAV indicado es más pequeño. La estación cancela su NAV, si recibe un indicador de fin de trama, aunque cuando sea de un BSS trasladado. Para evitar esto 8.02.11ax usa dos NAV, uno para sus propios BSS y el otro para los otros BSS y los modifica separadamente.

Operación Ad Hoc y enlaces directos son soluciones prometedoras que reducen el tiempo de ocupación del canal. Sin embargo, tales operaciones en la proximidad de una red 802.11ax, pueden aumentar la interferencia y causar una degradación significativa en el rendimiento. Para abordar este problema, la 802.11ax define el mecanismo de período de tiempo de silencio (QTP). QTP permite a una estación solicitar al AP un QTP que es una serie de intervalos de tiempo periódicos de igual duración utilizados para la operación de enlaces Ad Hoc o directos. El QTP se describe por el desplazamiento del primer intervalo reservado, la duración y el período de los intervalos, y el número total de intervalos solicitados. Si el AP satisface la solicitud, difunde información sobre el QTP reservado y prohíbe a las otras estaciones acceder al canal durante QTP.

Una posible solución para mejorar la reutilización espacial en un entorno denso es mediante la sintonización de los mecanismos de detección de la portadora, por ejemplo, mediante el uso de control de sensibilidad dinámica (DSC). La idea de DSC se basa en ajuste dinámico del umbral de detección de la portadora denominado umbral DSC, que determina cuándo la estación considera al medio ocupado. Obviamente, para evitar que la transmisión de un BSS sea bloqueada por un OBSS,

el umbral DSC debe aumentarse. Sin embargo, para permitir la comunicación entre todos los dispositivos dentro de un BSS, el umbral DSC será lo suficientemente pequeño como para no perder una transmisión dentro de este BSS. Una de las características generalizadas en los AP modernos es el soporte para múltiples AP "virtuales" (VAP). Esto significa que un solo dispositivo físico puede crear múltiples BSS independientes, alcanzando hasta 32 VAP en algunos equipos. Esto puede ser útil, cuando, por ejemplo, uno quiere separar una red de invitados dentro de una red corporativa interna sin instalar un AP adicional. Una de las carencias de los VAP existentes es una gran cantidad de información de servicio para todos los VAP. Aunque la información es la misma, se transmite por separado a cada uno de ellos. Para disminuir los gastos generales, la 802.11ax introduce el soporte de BSSID múltiple, que permite el envío de información idéntica para todas las BSS simultáneamente, por ejemplo, a través de un faro común. Todos los BSS en el BSSID múltiple usan el mismo color de BSS y las tramas de un BSS múltiple se consideran como tramas intra-BSS.

Manejo de Potencia

En las redes 802.11, la administración de energía se basa en la alternancia entre dos estados: despierto y dormido. En estado de despierto, una estación puede transmitir y recibir tramas, mientras está en estado de dormido, su radio está apagada. Una estación activa siempre está despierta, mientras una estación con ahorro de energía PS alterna entre estos dos estados. Dado que el AP no conoce el estado actual de una estación PS, almacena todas las tramas (excepto algunos en tiempo real) destinados a esta estación. Para notificar a las estaciones PS sobre los paquetes almacenados en búfer, el AP incluye un mapa de indicación de tráfico (TIM) en los faros. Una estación PS puede dormir mucho tiempo, sin embargo, de vez en cuando se despierta para recibir un faro con un elemento TIM. También puede despertarse antes, si tiene una trama para transmitir. En este caso antes de iniciar el acceso al canal, la estación esperará una recepción de tramas (pero no más largo que el retardo implementado y comparable con el período de faro). El enfoque de micro-sueño se introdujo en 802.11ac.

En 802.11ac, el encabezado de PHY contiene la AID parcial que indica al transmisor y el (los) receptor(es) de una trama. Así, las otras estaciones pueden pasar al estado de reposo durante la duración de la trama. 802.11ax extiende esta idea al permitir que una estación se duerma durante transmisiones UL o la TXOP de otra estación en el mismo BSS. Para eso el campo SIG-A de la trama contiene la información, tales como; el color BSS, la duración restante de la TXOP, la dirección de transmisión (UL o DL), etc. Específicamente, si una trama tiene el mismo color y es una trama UL o una trama DL MU no destinado a la estación, la estación puede estar segura de que no le serán transmitidas tramas. Se le transmitirán hasta el final de TXOP y puede ir al estado de dormir.

Con el fin de minimizar la contención entre las estaciones y para reducir el consumo de energía, se adaptó el mecanismo TWT. Introducido en 802.11ah, un estándar que adapta Wi-Fi para los escenarios y requisitos de Internet de las cosas. TWT permite que una estación, llamada la estación que solicita TWT, negocie con otra estación o AP llamada estación respondiente TWT periódicamente despierta por algún tiempo (llamado período de servicio TWT o TWT SP) cuando la estación que solicita TWT e intercambia tramas con la estación respondiente de TWT. Gracias a este mecanismo, la estación que solicita TWT puede dormir siempre excepto durante los intervalos TWT SP. En particular, cuando se tienen TWT SP establecidos con el AP, no se requiere que la estación despierte incluso con faros, lo que puede reducir significativamente el consumo de energía.

El mecanismo de ahorro de energía oportunista (OPS) permite a una AP dividir un intervalo de faro en varios sub-intervalos de transmisión a estaciones en TWT y proporcionar, a principios de cada sub-intervalo, información sobre qué estación va a ser servida en este sub-intervalo. Sobre la base de esta información, Las estaciones pueden ir oportunamente a estado de dormir hasta la próxima transmisión TWT SP. Este mecanismo se basa en el uso conjunto de TWT y los elementos heredados de TIM. TIM se utiliza los mecanismos de manejo de potencia de estándares recientes, para indicar al conjunto de estaciones para las cuales el AP tiene datos almacenados en OPS, TIM es transmitido por la AP junto con el anuncio de transmisión TWT SP a principios del TWT SP. En este caso, TIM indica

a un conjunto de estaciones que debe estar despiertas durante el periodo TWT SP ya que el AP es va a transmitirles o activarlas para el tráfico UL. Si una estación no está indicada en TIM, puede dormir durante el periodo TWT SP. La idea de OPS se acerca a la idea de segmentación TIM utilizado en 802.11ah. Sin embargo, a diferencia de la segmentación TIM, OPS reduce la granularidad del tiempo.

4. Discusión

El estándar 802.11ax fue concebido para aumentar la funcionalidad en ambientes de redes con alta densificación, tratando de aumentar el flujo efectivo de datos más que aumentar la velocidad de datos en sí. Concentrándose en la salida de datos en un área determinada en lugar de un estación o punto de acceso en particular. En este trabajo, se ha tratado de mostrar las características más interesantes y de mayor impacto en operación de redes. Asimismo, tratar de describir las técnicas usadas en relación con los estándares actuales y su probable mejoramiento. 802.11ax adoptó como su innovación más sobresaliente la utilización de OFDMA para ambas direcciones UL y DL. Esta adopción provoca que cada vez más se parezcan la operación de redes y el sistema celular. Además, se introducen otras innovaciones importantes, incluyendo nuevas funcionalidades de PHY, la extensión de MU MIMO también en la dirección UL, nuevos mecanismos flexibles para mitigar la interferencia de las redes traslapadas y la introducción de manejo de potencia más agresiva, todos estos temas que se han abordado, con menor o mayor detalle en este trabajo.

5. Conclusiones

Los próximos años son muy prometedores para Wi-Fi, pero también de gran incertidumbre. 802.11ax es la respuesta de la industria de Wi-Fi a estas oportunidades y desafíos, para llevarnos a través los próximos cinco años de 2019 a 2024 y la próxima enmienda 802.11. Todos los teléfonos inteligentes y PC vienen con un chip Wi-Fi, cada conexión a Internet de banda ancha en el hogar termina en Wi-Fi, la tecnología se establece en enlaces exteriores punto a punto y tiene avances en la industria automotriz y las fábricas conectadas. Pero, como todas las

industrias exitosas, Wi-Fi está buscando un crecimiento aún más rápido. Se abren varias avenidas, pero algunos cambios serán necesarios para satisfacer las nuevas necesidades. A pesar de los desafíos, Wi-Fi puede enfrentar el futuro con optimismo. En un lapso de 20 años, ha surgido de la nada para convertirse en un nombre familiar y una tecnología utilizada en todas partes. Las características incluidas en 802.11ax tras un debate considerable entre las empresas que manejan Wi-Fi, no son solo para velocidades de datos de titulares más rápidas bajo las condiciones del "mejor caso", sino las respuestas en la práctica a los problemas del mundo real que a menudo se deben al gran éxito de Wi-Fi.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Aboul-Magd. O. (2014). 802.11 HEW SG Proposed PAR: <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-0165-01-0hew-802-11-hew-sg-proposed-par.docx>.
- [2] Bellalta B., IEEE 802.11ax: High-efficiency WLANS, IEEE Wireless Commun., vol. 23, no. 1, pp. 38–46, Feb. 2016.
- [3] Aboul-Magd O. et al. (2014). IEEE 802.11 HEW SG Proposed CSD: <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-0169-01-0hew-ieee-802-11-hew-sg-proposed-csd.docx>.
- [4] Deng. D. J. , K.-C. Chen, and R.-S. Cheng, IEEE 802.11ax: Next generation wireless local area networks, in Proc. 10th Int. Conf. Heterogeneous Netw. Qual. Rel. Security Robustness (QShine), 2014, pp. 77–82.
- [5] Gast. M. S., 802.11ac, A Survival Guide: Wi-Fi at Gigabit and Beyond. Beijing, China: O'Reilly Media, 2013.
- [6] IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications— Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands Below 6 GHz, IEEE Standard 802.11ac-2013, 2013.

- [7] Karmakar R., S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, Impact of IEEE 802.11n/ac PHY/MAC high throughput enhancements on transport and application protocols—A survey, *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 19, no. 4, pp. 2050–2091, 2017.
- [8] Kamel M., W. Hamouda, and A. Youssef, Ultra-dense networks: A survey, *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 4, pp. 2522–2545, 2016.
- [9] Khorov E., A. Kiryanov, and A. Lyakhov, A tutorial on IEEE 802.11ax high efficiency WLANs, in *IEEE Communications tutorial and surveys*, vol. 21, No. 1, pp. 197–216, 2019.
- [10] Khorov E., A. Kiryanov, and A. Lyakhov, IEEE 802.11ax: How to build high efficiency WLANs, in *Proc. IEEE En T, Moscow, Russia*, pp. 77–82, 2015.
- [11] Lukaszewski C. et al. (2015). BSS Color Field Size Measurements: <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/15/11-15-1336-01-00ax-bss-color-field-size-measurements.pptx>.
- [12] Liu J. et al. (2013). Discussions on 11ac PHY Efficiency. [Online]. Available:<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-0544-030hewdiscussions-on-11ac-phy-efficiency.ppt>
- [13] Perahia E. and R. Stacey, *Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2013.
- [14] Serrano P., P. Salvador, V. Mancuso, and Y. Grunenberger, Experimenting with commodity 802.11 hardware: Overview and future directions, *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 17, no. 2, pp. 671–699, 2015.
- [15] Sharon O. and Y. Alpert, Single user MAC level throughput comparison: IEEE 802.11ax vs. IEEE 802.11ac, *Wireless Sensor Net.*, vol. 9, no. 5, pp. 166–177, 2017.
- [16] Tianyu W., Z. Jiayin, Z. Lianbo, and M. Chixiang. (2013). Performance Evaluation for 11ac: <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-0576-030hew-performanceevaluation-for-11ac.pptx>.