

**SIEMENS**White
Paper

Wi-Fi 6 in der Industrie

Industrielle Anforderungen an IEEE 802.11ax

Drahtlose Netzwerke entwickeln sich, getrieben von den Anforderungen der verschiedensten Nutzer, rapide weiter. Der aktuelle IEEE 802.11ax-Standard ist der erste WLAN-Standard, der primär das Ziel hat, die Gleichbehandlung und damit den Durchsatz pro Nutzer – und damit pro Gerät – zu erhöhen.

Zeitgleich werden Verbesserungen vorangetrieben, die zu einem effizienten Betrieb auch in batteriebetriebenen Anwendungen wie Automated Guided Vehicles (AGVs) oder mobilen Endgeräten führen werden. Stichwort ist hier das Thema Internet of Things (IoT).

Autor

Kilian LöserProduktmanager
Industrial Wireless LAN

Technisch werden diese Verbesserungen realisiert durch:

- Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA): Aufteilung des Spektrums in kleinere Unterkanäle, um Overhead zu reduzieren
- Target Wake Time (TWT): Verbesserung und Erweiterung der Low-Power-Funktionalität, um auch im Batteriebetrieb längere Lebenszeiten zu erhalten
- Spatial Reuse: effizientere Nutzung des Frequenzspektrums

Für die im industriellen Umfeld vorhandenen Echtzeitanforderungen fehlen dem Standard Vorgaben zur Verwendung von OFDMA und Verbesserungen für das Roaming-Verhalten der Clients (dem Wechsel von einem Access Point zum nächsten Access Point). Außerdem werden gerade zu Beginn des Rollouts

von IEEE 802.11ax die bereits bestehenden alten Clients die möglichen Performance-Gewinne zu einem guten Teil zunichtemachen.

Der Trend in der Automatisierung geht dahin, dass Automatisierungsprotokolle mit harten Echtzeitanforderungen parallel zu datenhungrigen Applikationen wie Augmented oder Virtual Reality betrieben werden. Um alle Applikationen über eine drahtlose Verbindung zu betreiben, bedarf es Anpassungen der bereits im Standard vorhandenen Mechanismen. Hier wird es nötig sein, nicht nur die Möglichkeiten des neuen Standards zu nutzen, sondern darüber hinauszugehen und bezüglich Echtzeit und Zuverlässigkeit weitere Mehrwerte in der Automatisierung zu schaffen.

Warum noch ein IEEE 802.11ax-White Paper?

Der Einsatz von Wi-Fi 6 in der digitalen Fabrik oder in der Prozessindustrie wird in den bereits am Markt vorhandenen White Papers nicht beschrieben. Vor dem Hintergrund langjähriger Erfahrung bei der Realisierung von drahtlosen Automatisierungslösungen beleuchtet das White Paper die technischen Verbesserungen des Standards im Hinblick auf die Einsatzgebiete im Umfeld von Industrie und Automatisierung.

Inhaltlich werden im White Paper die folgenden Themen vorgestellt:

- Die Historie des WLAN-Standards mit einem Footprint von mittlerweile etwa 35 Milliarden verkauften Geräten seit 2010
- Die Herausforderungen, die jeder Interessierte und Profi im Zusammenhang mit WLAN bereits kennt
- Die technischen Details und Errungenschaften des neuen Standards
- Die Einsatzmöglichkeiten und Implikationen für Industrieanwendungen
- Die noch offenen Punkte der Drahtlos-Technologie

Marktentwicklung

Der erste WLAN-Standard wurde 1997 mit einer Datenrate von maximal 2 Mbit/s freigegeben. Unter anderem die Wi-Fi Alliance hat mit ihren Kompatibilitätsbemühungen einen großen Anteil an der Möglichkeit, komfortabel WLAN einzusetzen, allerdings mit einem sehr starken Fokus auf den größten Anwendungsbereich, nämlich dem Consumer-Markt.

In den verschiedenen Industriezweigen prosperiert WLAN seit Jahren, wobei es mobiles Equipment, Maschinenkommunikation, Logistik und Intralogistikprozesse und einzelne rotierende oder mobile Prozess- und Fertigungsschritte unterstützt. Ein paar Fakten, um die letzten Absätze zu visualisieren:

- Die Geschäfte mit Wi-Fi sind aktuell weltweit mit etwa 2 Billionen Dollar zu bewerten
- Fast jeder Privathaushalt besitzt in den Industrieländern einen Access Point
- WLAN ist aus mobilen Applikationen nicht mehr wegzudenken

Warum industrielles Wireless LAN?

Der WLAN-Standard wurde über die Jahre primär mit den folgenden Szenarien im Hinterkopf weiterentwickelt:

- Statisches Arbeiten an einem Laptop
- Statische Links zwischen beispielsweise Gebäuden

Erst im Laufe der Zeit haben mobile Anwendungen, die auch aktiv eine kurze Übergangszeit zwischen verschiedenen Access Points benötigen, eine höhere Relevanz erhalten. Ein Beispiel sind hier Voice- und Videodaten. Diese Szenarien unterscheiden sich sowohl von der Umgebung und der Anforderung an die Hardware als auch von den Kommunikationsanforderungen von industriellen Anwendungsfällen.

Um Applikationen wie Intralogistik-Shuttle-Systeme, Schwerlast-Einschienehängbahnen, Kranautomation oder auch AGVs zu realisieren, werden je nach Applikation die folgenden Anforderungen an die WLAN-Kommunikation gestellt:

- Sichergestellte niedrige Antwortzeiten
- Hohe Verfügbarkeit der Kommunikation
- Sehr schnelles Roaming für mobile Applikationen

Zusätzlich kommen hier noch Faktoren wie einfache Inbetriebnahme und Wartung hinzu. Diese Anforderungen werden per se nicht an ein Standard-WLAN gestellt, weshalb eine Erweiterung des Standards auf die Anforderungen der Applikationen einen großen Mehrwert bietet.

Die Umgebungsbedingungen, verglichen zu einem (klimatisierten) Büro, unterscheiden sich im industriellen Umfeld. Die Tabelle (siehe unten) beschreibt mögliche Herausforderungen und wie die Geräte entsprechend dafür ausgelegt sind.

Herausforderung	Lösung
Einsatz im Tiefkühlbereich oder Stahlwerk	Erweiterter Temperaturbereich der Geräte
Anbringung an vibrierenden Oberflächen	Spezielle Stress-Tests der Hardware, spezielle Anschlusstechnik der Kabel (Ethernet FastConnect oder M12)
RF- und Spannungsspitzen	Erhöhte Isolierungswerte sowohl am Spannungseingang als auch am RF-Modul
Wasser- und staubbelastete Umgebung	Härtung der Komponenten durch erhöhte Schutzart wie IP65.

Tabelle: Hardware-Anforderungen

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) in Automation und Digitalisierung

Dieses Kapitel beschreibt die Zielsetzung des Standards und die wichtigsten technischen Neuheiten sowie deren Mehrwert und Limits in Bezug auf industrielle Applikationen. Mit Wi-Fi 6 tritt zum ersten Mal ein WLAN-Standard in den Markt, der seinen Hauptfokus nicht ausschließlich auf erhöhte Brutto-Datenraten gelegt hat. Die Autoren des Standards hatten als Motivation primär die steigende Anzahl an WLAN-Clients und damit die Effizienz in Umgebungen mit vielen Teilnehmern im Hinterkopf.

Hier die Zielsetzung:

- Stark erhöhte durchschnittliche Datenrate in einer Umgebung mit sehr vielen Teilnehmern
- Effizientere Nutzung des Frequenzspektrums
- Erhöhte Laufzeit von batteriebetriebenen Geräten

Für Automatisierungslösungen unabdingbare Ziele standen nicht im Fokus:

- Zulässige maximale Latenz bezogen auf einen Client
- Verbesserung der Geschwindigkeit eines Roaming-Vorgangs für mobile Applikationen
- Maximale Dauer für einen Roaming-Vorgang

Dafür werden auch in Zukunft spezialisierte Lösungen benötigt. Im Folgenden werden die wichtigsten Funktionen des neuen Standards und die möglichen Vorteile bei zielgerichteter Anwendung beschrieben.

Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)

Funktionsweise

Den größten Vorteil von IEEE 802.11ax bringt OFDMA, eine für WLAN komplett neue Art der Datenübertragung. WLAN benutzt aktuell Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) zur Datenübertragung. Mit OFDM kann jeweils nur ein Teilnehmer zu einem bestimmten Zeitpunkt kommunizieren. Der Kommunikationskanal wird in der Zeit der Datenübertragung vollständig genutzt (siehe Abbildung 1). Mit IEEE 802.11ax wird OFDMA für die Datenübertragung eingeführt. Dabei wird ein Kommunikationskanal in bis zu neun Unterkanäle, sogenannte Resource Units (RUs), aufgeteilt. Diese Unterkanäle lassen sich auf verschiedene Teilnehmer verteilen, so dass sie gleichzeitig kommunizieren können (siehe Abbildung 2). OFDMA wird in den Mobilfunktechnologien wie 4G und 5G verwendet und findet auf Grund seiner erhöhten Effizienz nun auch bei WLAN Einzug.

Implikationen

Sofern die Möglichkeit besteht, ältere Clients nicht in eine Applikation integrieren zu müssen oder separat behandeln zu können, ist es möglich, die folgenden Vorteile aus dem OFDMA-Zugriff zu ziehen:

- Bedienen von mehreren Nutzern in kürzerer Zeit
- Effizientere Übertragung von kleinen Datenpaketen
- Bessere Möglichkeit QoS (Quality of Service)-Mechanismen zu implementieren

Was heißt das konkret für industrielle Anwendungen?

OFDMA allein ist nicht der Heilsbringer, um kritische Automatisierungsaufgaben durchzuführen.

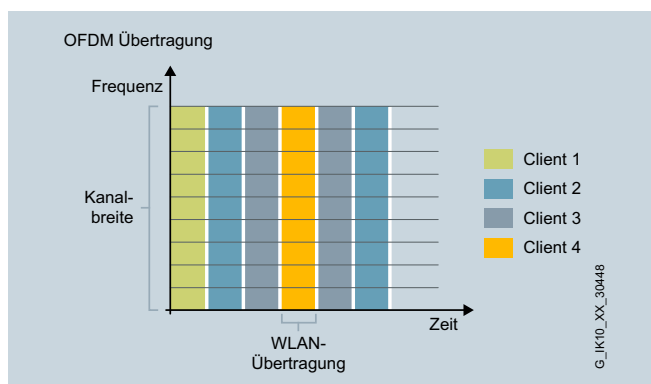


Abbildung 1: OFDM Kommunikation

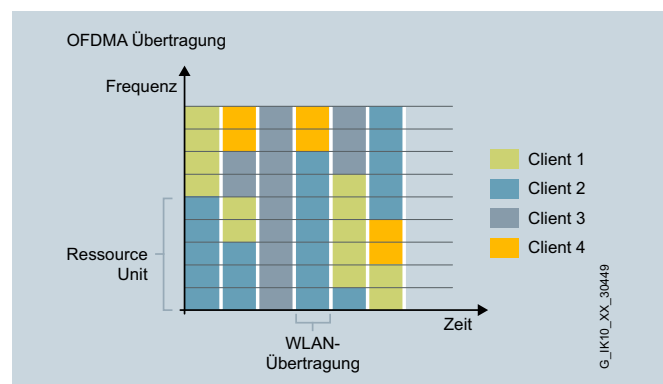


Abbildung 2: OFDMA Kommunikation

Durch die Entwicklung eines Polling-Mechanismus auf Basis von OFDMA wird es für industrielle Anwendungen möglich sein, permanent niedrige Latenzzeiten in reinen Wi-Fi 6-Umgebungen an einem Access Point zu erhalten. Was hier zusätzlich betrachtet werden muss, ist das Roaming-Verhalten, also der Wechsel eines Clients von einem Access Point zu einem anderen. Hier gibt es keine Verbesserung im Standard und die maximale Zeit für den Roaming-Vorgang hängt vom Client ab. Die maximale Zeit für einen Übergang zwischen den Access Points ist nicht berechenbar.

Um ein deterministisches und damit für Automatisierungsanwendungen geeignetes Verhalten herzustellen, bedarf es spezieller Lösungen außerhalb des Standards. Damit ergibt OFDMA als ein wesentlicher Bestandteil des Standards richtig angewandt die Möglichkeit, an einem Access Point erhöhte Fairness zwischen den Teilnehmern herzustellen. Eine Verbesserung der maximalen Latenz ist allein dadurch allerdings noch nicht zu erreichen.

Target Wake Time (TWT)

Funktionsweise

Der steigende Bedarf der Unterstützung von IoT-Geräten und die Konkurrenz durch andere Technologien waren Motivation für die Überarbeitung der Low-Power-Funktionalität. IEEE 802.11ax erweitert die Mechanismen zum Energiesparen und gestaltet sie effizienter. Durch TWT wird Triggerbasierte Datenübertragung ermöglicht. Den WLAN-Clients

bietet es die Gelegenheit, zwischen dem Senden und Empfangen von Paketen ‚schlafen‘ zu gehen und erst zu einer vereinbarten Zeit, bei Bedarf erst nach vielen Stunden, wieder aufzuwachen, um die Datenübertragung fortzusetzen. Um den Mechanismus möglichst energiesparend und flexibel einsetzen zu können gibt es verschiedene Optionen (siehe Abbildung 3).

- **Individual TWT:**
Der Zeitpunkt für die nächste Übertragung wird zwischen Access Point und Client exklusiv vereinbart.
- **Broadcast TWT:**
Der Zeitpunkt für die nächste (Multicast-) Übertragung wird vom Access Point vorgegeben – auch für Gruppen von WLAN-Clients.
- **Opportunistic Power Save (PS):**
Der Client reagiert auf die Datenpakete des Access Points, es wird kein fester Zeitabstand ausgehandelt.

Implikationen

Durch dieses Feature lassen sich für industrielle Anwendungen verschiedene Vorteile erzielen, unter anderem:

- Längere Lebensdauer von batteriebetriebenen Applikationen, beispielsweise Shuttles und AGVs, insofern der WLAN-Client die Versorgung des jeweiligen Gerätes steuern kann
- Störungsfreier, weil geplanter Zugriff der einzelnen Clients auf den Kommunikationskanal

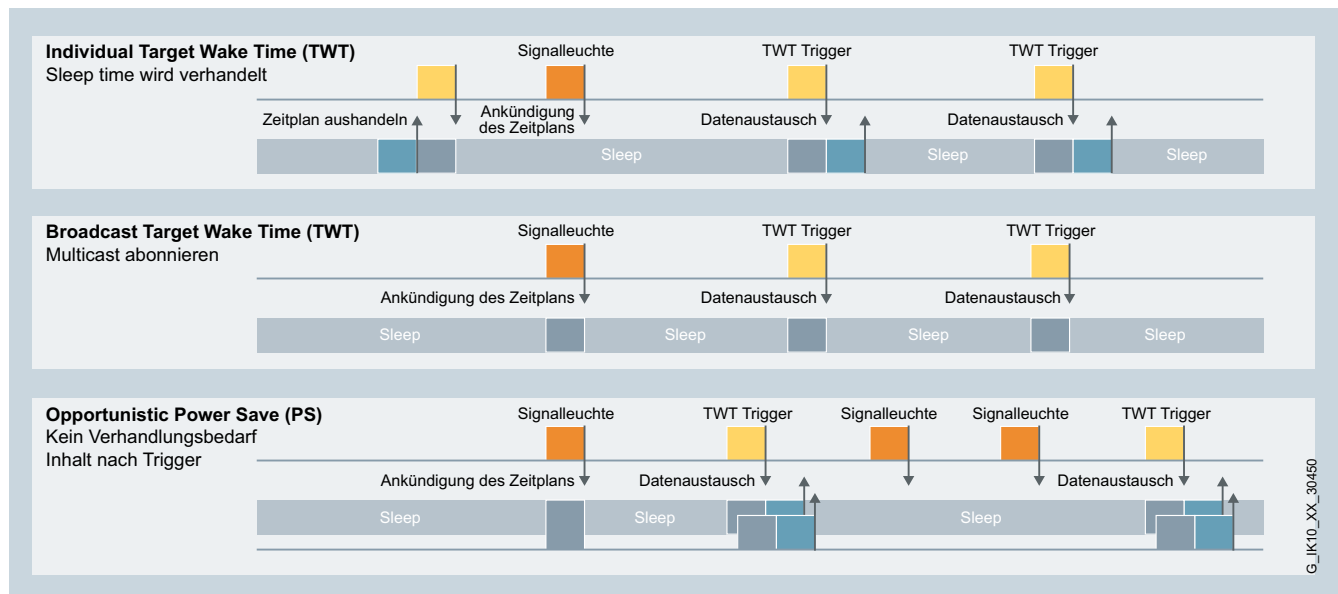


Abbildung 3: Target Wake Time (TWT)

Spatial Reuse

Funktionsweise

WLAN als „Shared Medium“ mit einer unterschiedlichen Anzahl an Kanälen im 2,4-GHz und im 5-GHz-Band benötigt immer eine gute Planung der Installation. Ziel dieser Frequenzplanung ist es unter anderem, Effekte durch ein Überlappen von Kanälen gleicher Frequenz zu verhindern oder zumindest zu minimieren. Die entstehenden Effekte werden als Co-Channel-Interference (CCI) bzw. Overlapping Basic Service Set (OBSS) bezeichnet (siehe Abbildung 4).

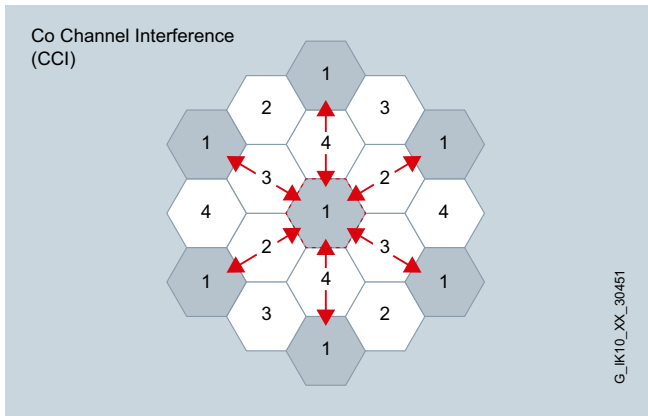


Abbildung 4: Co-Channel-Blocking

Mit dem sogenannten Spatial Reuse mit Hilfe von „BSS (basic service set) coloring“ will der Standard es ermöglichen, Kanäle wiederzuverwenden, auch wenn sie örtlich relativ nahe beieinander liegen, was normalerweise zu starken Beeinflussungen führen würde. Dazu wird dem BSS eines Access Points eine „Farbe“ (de facto eine Zahl) zugeordnet. Durch diese Farbzuordnung können die Teilnehmer selbst dann kommunizieren, wenn der Kanal eigentlich durch Teilnehmer einer anderen Farbe belegt ist, sofern diese nicht zu stark auf dem Kanal senden. Bildlich kann man sich dazu eine Disco vorstellen, in der es natürlich viele und laute Hintergrundgeräusche gibt. Das menschliche Gehör ist trotzdem in der Lage, die Sprechfarbe des Gesprächspartners herauszufiltern (siehe Abbildung 5).

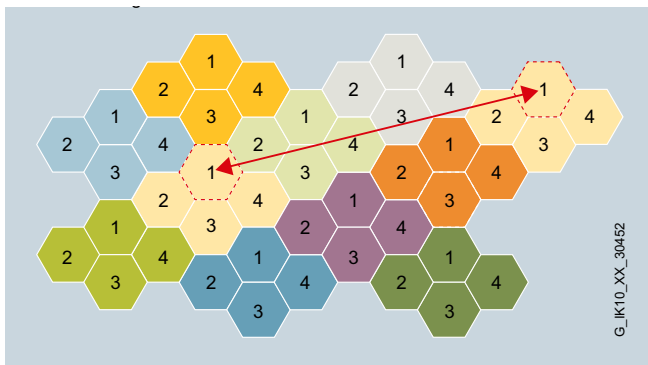


Abbildung 5: BSS coloring

Implikationen

Spatial Reuse als Technologie ist neu im Standard definiert. Theoretisch ermöglicht es eine deutlich effizientere Nutzung des Spektrums und neue Paradigmen bei der Planung von Anlagen. In industriellen Anwendungsfällen können hier folgende Vorteile erzielt werden:

- Leichtere Abstimmung zwischen verschiedenen Anlagenlieferanten in einer Fabrik
- In industriellen IoT-Umgebungen eine bessere Verteilung der Clients auf verschiedene, störungsfreie Access Points

Allerdings muss zunächst abgewartet werden, wann und wie in Chipsätzen dieses Feature implementiert wird und welche Versprechungen aus dem Standard eingehalten werden. Daraus lassen sich dann die Implikationen von Spatial Reuse für produktive Anlagen abschätzen.

Weitere Verbesserungen

Die in diesem Kapitel aufgeführten Verbesserungen erlauben es in speziellen Anwendungsfällen, mehr aus der WLAN-Technologie herauszuholen. Für die Mehrheit der industriellen Anwendungen sind sie allerdings als weniger gewinnbringend einzuordnen als die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Technologien.

Uplink MU-MIMO

(Multiuser-Multiple Input/Multiple Output)

MU-MIMO, das bereits mit IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5) eingeführt, jedoch kaum implementiert und genutzt wurde, wird nun auch für den Uplink spezifiziert. Es ermöglicht pro Antenne auf demselben Kanal mit einem beliebigen Client zu sprechen. Was in der Theorie herausragend klingt, hat folgende Herausforderungen zu bewältigen:

- Um die Streams unterscheiden zu können, benötigen die Teilnehmer jeweils das Eintrainieren des Übertragungswegs vor der Datenübertragung oder bei geringer Änderung der Position bzw. Umgebung eines der Teilnehmer. Dadurch wird Overhead und eine gewisse Latenz erzeugt (siehe Abbildung 6).
- Das Eintrainieren benötigt eine erhöhte Rechenleistung für die dabei nötigen mathematischen Operationen.

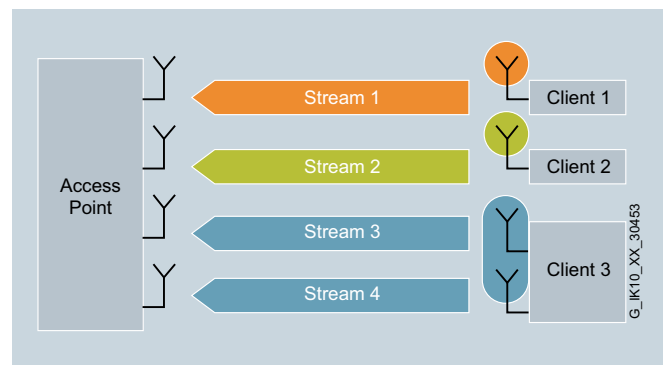


Abbildung 6: Uplink MU-MIMO

Security-Hinweise

Um Anlagen, Systeme, Maschinen und Netzwerke gegen Cyber-Bedrohungen zu sichern, ist es erforderlich, ein ganzheitliches Industrial Security-Konzept zu implementieren (und kontinuierlich aufrechtzuerhalten), das dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Die Produkte und Lösungen von Siemens formen einen Bestandteil eines solchen Konzepts. Weiterführende Informationen zu möglichen Schutzmaßnahmen im Bereich Industrial Security finden Sie unter <https://www.siemens.com/industrialsecurity>

Siemens AG
Digital Industries
Process Automation
Östliche Rheinbrückenstr. 50
76187 Karlsruhe, Deutschland

PDF
BR 0220 6 De
Produced in Germany
© Siemens 2020

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.
Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

Die Technologie bringt damit am meisten Nutzen in statischen Anordnungen mit großen zu übertragenden Datenmengen. Diese Kombination aus statischer Anordnung und großer zu übertragender Datenmenge ist in industriellen Umgebungen selten zu finden.

Erhöhte Störfestigkeit und größere Reichweite

Für den Einsatz im Außenbereich und für größere Reichweite werden z. B. ein längeres Prefix und die sogenannte „Dual Carrier modulation“ eingeführt, bei der dasselbe Signal innerhalb der verwendeten Kanäle in zwei verschiedenen Frequenzbereichen versandt werden kann. Diese Mechanismen reduzieren die maximalen Datenraten, aber erhöhen in schwierigen Umgebungsbedingungen die Robustheit.

Höhere Modulation 1024-QAM

Bisher werden pro Symbol bis zu 256 Bit übertragen (256-QAM). Unter guten Bedingungen wird IEEE 802.11ax dies durch eine höhere Modulation (1024-QAM) auf bis zu 1024 Bit erhöhen. Dieses Feature erhöht die erzielbare maximale Datenrate, was in vielen Anwendungen hilfreich ist. Eine hohe Datenrate allein ist jedoch häufig nicht entscheidend, da es auch um eine faire Verteilung dieser Datenrate geht, um beispielsweise keine Timeouts zu verursachen.

Offene Punkte

Folgende Punkte sind für die Anwendung in Automatisierungss Applikationen noch offen:

- Legacy Clients:
In Umgebungen mit Clients älteren Standards sind die Vorteile der neuen Technologie eingeschränkt bzw. hinfällig.
- OFDMA für Echtzeit:
Echtzeit und Deterministik ist beim Design von OFDMA nicht der Fokus. Hier bedarf es Anpassungen in der Software von Access Points und Clients, um OFDMA so zu verwenden, dass eine maximale Antwortzeit für die einzelnen Clients an einem Access Point gewährleistet werden kann.

- Roaming zwischen Access Points:
Der Standard IEEE 802.11ax bringt keine Verbesserung bezüglich des Roaming-Verhaltens von Clients. Das Roaming-Verhalten bleibt weiterhin davon abhängig:
 - auf welche Art und Weise der Client die einzelnen Kanäle scannt.
 - welche Einstellungen am Client bzgl. des Scanning- und Roaming-Verhaltens möglich sind.
 - wie viele Kanäle in einer Applikation genutzt werden.
 - ob ein zentraler Radius-Server oder ob andere Anmeldemechanismen verwendet werden.
 - ob und wie die Standards wie IEEE 802.11r/k/v von Access Points und Clients unterstützt werden.

Die Roaming-Zeit eines Clients kann damit im Endeffekt zwischen wenigen Millisekunden und mehreren Sekunden liegen. Um dieses für kritische Applikationen nicht akzeptable Verhalten zu umgehen, bedarf es einer besonderen Lösung, die es ermöglicht, die maximale Zeit für einen Roaming-Vorgang sehr gering zu halten und zu berechnen.

Fazit

Mit IEEE 802.11ax ist der IEEE ein großer Wurf für die weitere Zukunft von WLAN gelungen. Es ist der erste WLAN-Standard, der den Fokus auf das faire Handling von vielen Teilnehmern legt und nicht ausschließlich auf eine Steigerung der Brutto-Datenrate. Durch die daraus entstehenden technischen Verbesserungen und Optimierungen steht eine „Toolbox“ zur Verfügung, die – richtig angewandt – deutliche Performance-Gewinne auch für den industriellen Bereich ermöglicht.

Robuste Industrial Wireless LAN-Produkte von Siemens werden sowohl mit den Funktionen des Standards als auch mit industriellen Erweiterungen auch in Zukunft die Möglichkeit bieten, Applikationen drahtlos performant und zuverlässig zu betreiben.