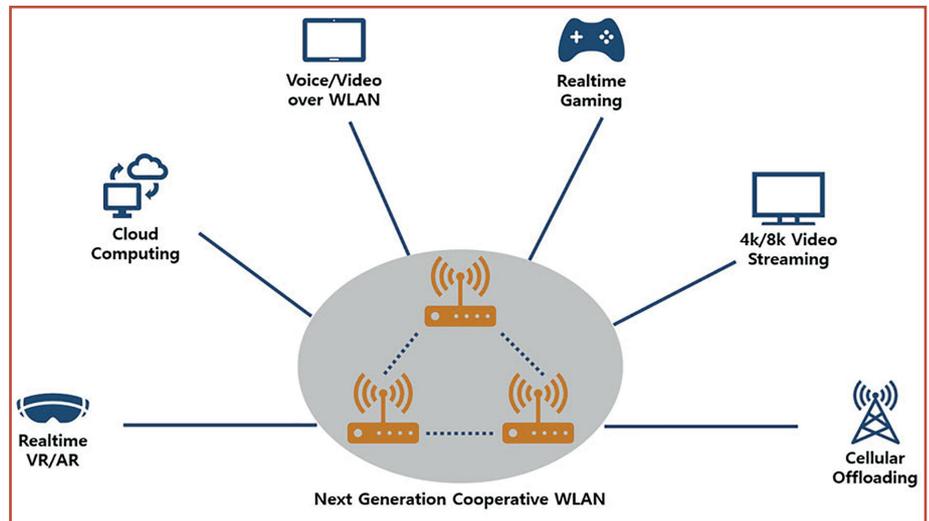


WiFi-Trends: Immer höher, immer weiter

Ergeben neue Standards, Reichweite und Bandbreiten auch neue Anwendungsfelder?

Kai-Oliver Detken

Die WiFi-Technik entwickelt sich immer weiter und erschließt sich neue Reichweiten und Bandbreiten. War sie früher nur als internes Netz gedacht, als Alternative für das drahtgebundene Netz, hat sie sich auf breiter Form durchgesetzt. Immer bessere Übertragungsraten ermöglichen auch den Einsatz im Outdoor-Bereich, wodurch sich teilweise neue Anwendungsfelder ergeben. Die WiFi-Standardisierung war schon immer bestrebt, eine möglichst hohe Datenrate anbieten zu können. Schließlich möchte der Endnutzer seinen gewohnten Komfort am Schreibtisch nicht gegen langsame mobile Verbindungen eintauschen. Daher stand die Weiterentwicklung der Datenrate stets im Vordergrund. Es gab vor WiFi 4 bereits andere WLAN-Techniken (z. B. 802.11b und 802.11g), die keiner Generation zugeordnet wurden und heute keine Aktualität mehr besitzen.



Einen Entwicklungs-sprung brachte das Modulationsverfahren Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM), das die Aufteilung der Übertragung auf verschiedene Trägersignale ermöglichte, wodurch es störungsrobuster ist und zusätzlich eine höhere Gesamtdatenrate ermöglicht. Kommt es zu Störungen, fallen nur einzelne Trägersignale aus, und es steht temporär eine geringere Bandbreite zur Verfügung. Aber die WiFi-Verbindung an sich bleibt bestehen. Das heißt, Nutzdaten können ohne Verluste weiter übertragen werden. Modifikationen von OFDM kommen daher auch bei neuen WiFi-Techniken wie 802.11ax zum Einsatz, und Mobilfunk-techniken greifen ebenfalls darauf zurück. Dabei können die maximalen Datenraten nur durch die parallele Nutzung von bis zu acht Streams bei den Nachfolgerechniken von 802.11n erreicht werden. Hinzu kommt die flexiblere Nutzung des Frequenzbandes und die Erhöhung der Kanalbandbreite.

Allerdings geht die höhere Datenrate auch immer mit einer Reichweitenverringering einher. War 802.11n noch

Bild 1: Die nächste WLAN-Generation WiFi 7: Sie baut auf 802.11ax und dessen Techniken auf, verwendet die gleichen Frequenzbänder und besitzt die gleichen Entfernungsbegrenzungen (Grafik: www.wilugroup.com/wlan)

in der Lage, bis zu 70 m in Innenräumen und 250 m in der freien Natur zu überbrücken, verringerten sich diese Angaben bei 802.11ax und 802.11be auf 30 m in Innenräumen und 120 m außerhalb eines Gebäudes. Immer vorausgesetzt, dass keine störenden Hindernisse zwischen Quelle und Empfänger vorhanden sind. Das heißt, in der Realität kommt man auf wesentlich geringere Werte bei entsprechend reduzierter Datenrate.

Als neueste und interessanteste WiFi-Standards lassen sich 802.11ax und 802.11be nennen. 802.11ax wird dabei offiziell von der WLAN-Allianz als WiFi 6 (2,4 GHz) und WiFi 6E (6GHz) bezeichnet und wurde als Nachfolger von 802.11ac entwickelt. Der Standard, der im Mai 2021 verabschiedet wurde, ist für den Betrieb in lizenzfreien Frequenzbändern zwischen 1 und 7,125 GHz konzipiert, einschließlich der bereits genutzten 2,4- und 5-GHz-

Bänder sowie des 6-GHz-Bandes. Damit wollte man eine Verbesserung des Durchsatzes (Performance) pro Fläche erreichen, wodurch Nutzerszenarien mit hoher Dichte (z. B. Unternehmensbüros, Produktionsstraßen, Logistikzentren) möglich sind. Während die nominelle Verbesserung der Datenrate gegenüber 802.11ac nur 37 % beträgt, lassen sich bis zu 300 % über das gesamte Netz erreichen, bei einer um 75 % geringeren Latenz des Nutzsignals.

Weitere Verbesserungen sind:

- Nutzung von OFDMA-Trägersignalwellen (sog. Subträger), um kleine Informationsbits in einer optimierten Weise zu bewegen. Das führt zu einer verbesserten Datenrateneffizienz sowie verringerten Latenzzeiten in dichten WiFi-Umgebungen.
- Nutzung von Multiple User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO), das dafür sorgt, dass sich die Netzlatenz weiter verringert und die Bandbreite des drahtlosen Netzes erheblich erhöht. MU-MIMO nutzt mehrere räumliche Datenströme, sogenannte Spatial Streams, für die gleichzeitige Kommunikation mit mehreren Geräten (oder Gruppen von Geräten).
- Einsatz von QAM1024 höherer Ordnung, wodurch der Datendurchsatz um bis zu 25 % gegenüber dem Vorgänger WiFi 5 gesteigert werden kann.
- Router oder Access Points können durch „BSS Colouring“ andere WiFi-AX-Netze automatisch erkennen und Signale aus solchen überlappenden Netzen ignorieren, so dass es zu keinen Störungen oder Verzögerungen kommt.
- Das Protokoll Target Wake Time (TWT) erlaubt dem Access Point die Planung von Kommunikationszeitfenstern für jedes Gerät im Netz. Das heißt, alle Geräte bis auf das eine Gerät, das während des geplanten Zeitraums bedient wird, werden in den Schlaf-

Standard	Thema	Status
802.11bk	320-MHz-Positioning	in Bearbeitung
802.11bi	Enhanced Data Privacy	in Bearbeitung
802.11me	802.11 Accumulated Maintenance Changes	in Bearbeitung
802.11bh	Randomized and Changing MAC Addresses	in Bearbeitung
802.11bf	WLAN Sensing	in Bearbeitung
802.11be	Extremely High Throughput	in Bearbeitung
802.11bc	Enhanced Broadcast Service	in Bearbeitung
802.11bb	Light Communications	in Bearbeitung
802.11bd	Enhancements for Next Generation V2X	Veröffentlichung 2022
802.11az	Next Generation Positioning	Veröffentlichung 2022
802.11ba	Wake Up Radio	Veröffentlichung 2021
802.11ay	Next Generation 60 GHz	Veröffentlichung 2021
802.11ax	High Efficiency WLAN	Veröffentlichung 2021

Aktuelle WiFi-IEEE-Spezifikationen: Ein Ende der WiFi-Entwicklung ist nicht absehbar. So wird bereits an der WiFi-8-Generation gearbeitet, obwohl WiFi-7 noch nicht abschließend spezifiziert ist

modus versetzt. So wird Netzüberlastungen entgegengewirkt und der Stromverbrauch reduziert, was auch Vorteile im Bereich der industriellen Fabrikautomation bringt.

- Sicherheitsprotokoll WPA3 zur sicheren Verschlüsselung der Kommunikation: Der ausgehandelte Sitzungsschlüssel kann von einem Angreifer nicht mehr errechnet und der aufgezeichnete Datenverkehr kann mit finanzierbarem Aufwand nicht mehr entschlüsselt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, Opportunistic Wireless Encryption (OWE) zu nutzen. OWE ermöglicht verschlüsselte Verbindungen ohne Passworteingabe, was bei öffentlichen Hotspots Vorteile bringt.

Der Standard 802.11be läutet hingegen die nächste Generation WiFi 7 ein und soll im Mai 2024 endgültig fertiggestellt sein. Er baut auf 802.11ax und dessen Techniken auf, verwendet die gleichen Frequenzbänder und besitzt die gleichen Entfernungsbeschränkungen. Das theo-

retische Maximum der Datenrate von 46 Gbit/s wird man allerdings in den wenigsten Fällen erreichen.

Folgende Kernfunktionen sollen implementiert werden:

- Mit QAM4096 kann jedes Symbol 12 statt 10 Bit übertragen, was theoretisch zu 20 % höheren Übertragungsraten als QAM1024 von WiFi 6 führt;
- angrenzende und nicht zusammenhängende Bandbreite von 320/160+160 MHz und 240/160+80 MHz;
- Multi-Link-Betrieb (MLO), um den Durchsatz durch gleichzeitiges Senden und Empfangen von Daten über verschiedene Frequenzbänder und Kanäle zu erhöhen (2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz);
- bis zu 1/100 der Latenz durch den MLO-Einsatz: MLO steigert entweder den Durchsatz, verbessert die Zuverlässigkeit durch das Senden eines Datenpakets in mehreren Bändern oder erleichtert den Funkzellenwechsel;
- Ein WLAN-AP kann das Senderecht auch explizit an einen einzelnen Client vergeben. Vorher konnten nur indirekt

mindestens zwei Clients aufgefördert werden, zu senden (Uplink Multi-User MIMO);

- flexible Kanalnutzung, d. h., mit der Präambelpunktierung kann ein Teil des Kanals, der von Interferenzen betroffen ist, blockiert werden, während der Rest des Kanals weiterhin genutzt wird (im Gegensatz zu anderen WiFi-Techniken).

Der Standard 802.11be tritt damit in Konkurrenz zum neuen 5G-Mobilfunkstandard, der es auch ermöglicht, eigene Campusnetze aufzusetzen. Bei erforderlicher Echtzeitfähigkeit kann man nun zwischen diesen beiden Varianten wählen.

Neue Anwendungsfelder

Durch die höhere Datenrate werden zuallererst die traditionellen Anwendungen besser unterstützt. WiFi 6 wurde zusätzlich für Orte mit hoher Client-Dichte entwickelt. Dazu zählen beispielsweise Büros von Unternehmen, in denen eine Vielzahl an Mitarbeitern zeitgleich auf bandbreitenintensive Dienste wie Videostreaming in HD-Qualität oder cloudbasierte Anwendungen zugreift. Durch die immer höhere Verlässlichkeit wird WiFi 6 aber auch für IoT-Netze interessant, d. h. für industrielle Anwendungen. Denn Fertigungsstraßen haben ebenfalls eine Vielzahl von vernetzten Geräten im Einsatz, wie etwa von Sensoren bis hin zu Sicherheitssystemen. Eine Datenübertragung in Echtzeit ist dafür vorgeschrieben und kann durch WiFi 6 ermöglicht werden. Bild 1 gibt Auskunft darüber, was für Anwendungsfelder noch denkbar wären. So lassen sich Virtual/Argument-Reality-Anwendungen oder Realtime-Gaming in Echtzeit nutzen. Voice-/Video-over-WLAN benötigt ebenfalls diese Echtzeitfähigkeit. Und durch die höheren Bandbreiten sind natürlich auch Cloud-Computing- und 4K/8K-Video-stream-Anwendungen besser verwendbar. Dementsprechend lässt sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten ausmachen.

Die Arbeitsgruppe 802.11 bleibt weiterhin sehr aktiv, was man auch an der Tabelle erkennen kann, die neue und zukünftige Standards auflistet. Die Einführung der 320-MHz-Kanalisierung als Teil von IEEE 802.11be bietet zusätzliche Möglichkeiten zur Verbesserung der genauen Positionierung der IEEE-802.11-basierten Lösungen. Damit wird die Genauigkeit weiter erheblich erhöht, was sich auch auf die Anwendungsmöglichkeiten auswirkt. Die Spezifikationen 802.11bi und 802.11bh widmen sich in diesem Zusammenhang der Anonymisierung und damit dem Datenschutz. Durch zufällig wechselnde MAC-Adressen können mobile Endgeräte nicht mehr so einfach nachverfolgt werden; die Privatsphäre sollte daher gewahrt bleiben.

Noch interessanter wird es mit dem zukünftigen Standard 802.11bf, der voraussichtlich 2024 abgeschlossen sein wird. So sollen sich Endgeräte mittels „WLAN Sensing“ in Sensoren verwandeln können, die Daten über Personen und Objekte sammeln können. WiFi-Geräte werden dadurch eine Art von Abstands- und Bewegungssensoren. Dabei sollen Reichweite, Geschwindigkeit, Richtung, Bewegung, Anwesenheit und Nähe von Personen und Objekten gemessen werden. Beispielanwendungen wären automatisierte Stadt- oder Museumsführungen. Denkbar ist aber auch die Nutzung in industriellen und kommerziellen Umgebungen von Fertigungssystemen, Unternehmensnetzen sowie Test- und Messgeräten. Der Standard kann unter anderem die Sicherheit zu Hause, die Verwaltung des Energieverbrauchs, die häusliche Pflege älterer Menschen und das Spielen von Videospiele für Endbenutzer verbessern.

Der Vorschlag 802.11bb knüpft hingegen wieder an die Erhöhung der Datenrate an. Dahinter verbirgt sich die Li-Fi-Technik, die Lichtsignale im sichtbaren oder infraroten Spektrum überträgt. Die verwendeten Frequenzen sind dabei deutlich höher als im WiFi-Bereich und

liegen bei Wellenlängen zwischen 800 und 400 nm bei circa 375.000 bis 750.000 GHz. Theoretisch sind in diesem Frequenzbereich deutlich höhere Datenraten erzielbar als mit den üblichen WiFi-Frequenzen. Unter Laborbedingungen wurden schon Datenraten im dreistelligen Gigabitbereich erreicht. Man benötigt allerdings Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger. Die Datenübertragung kann zudem von elektrischen Geräten nicht gestört werden und ist abhörsicher. Die Technik soll interoperabel mit WiFi sein und sich einfach in bestehende WiFi-Umgebungen integrieren lassen. Prinzipiell macht Li-Fi dort Sinn, wo die WLAN-Kommunikation nur eingeschränkt möglich ist oder hohe Anforderungen an die Abhörsicherheit der Kommunikationsverbindungen bestehen, wie beispielsweise beim Militär, in der Luftfahrt, in Krankenhäusern oder in Unterwasseranwendungen.

Fazit

Ein Ende der WiFi-Entwicklung ist nicht absehbar, da nach wie vor die IEEE802.11-Arbeitsgruppe sehr agil ist. So wird bereits an der WiFi-8-Generation gearbeitet, obwohl die WiFi-7-Generation noch nicht abschließend spezifiziert wurde. Zusätzlich machen nicht immer alle Standards Sinn und schaffen es daher auch nicht immer in eine Herstellerimplementierung. Die zukünftigen Eigenschaften von 802.bf, Bewegungsdaten messen und auswerten zu können, kann man ebenfalls hinsichtlich des Datenschutzes als kritisch betrachten. Hinzu kommt, dass die angegebenen Datenraten in der Praxis meistens nicht erreicht werden können. So wird die behauptete Geschwindigkeit von 46,1 Gbit/s bei 802.11be wohl noch nicht einmal unter optimalsten Bedingungen nutzbar sein. Zukünftige WiFi-Anwendungen werden allerdings unseren Alltag weiter revolutionieren und ganz neue Möglichkeiten schaffen. Die Entwicklung ist daher weiter mit Spannung zu verfolgen.