

BlitzFunk ist eine neuartige drahtlose Technologie für hochzuverlässige Ethernet-Kommunikation mit konstant niedriger Latenz im Millisekundenbereich. Sie dient als Ersatz für bestehende Kabelinstallationen und ermöglicht Anwendungen mit hoher Mobilität durch nahtloses Handover. Ethernet-basierte Protokolle, einschließlich PROFINET, PROFI-safe und OPC-UA, werden direkt unterstützt. Die Technologie basiert auf Wi-Fi und arbeitet in unlizenziierten Frequenzbändern. Selbst bei geringer Interferenz durch Drittanbieter-Wi-Fi-Netzwerke bleibt die Latenz durch die Nutzung von Diversität niedrig. Ein sorgfältig entwickeltes proprietäres Protokoll stellt sicher, dass gleichzeitige Datenströme innerhalb des Netzwerks einander nicht stören und dass alle Kommunikation durch authentifizierte Verschlüsselung mit schlüsselspezifischem Management gesichert ist.

Topologie

Ein BlitzFunk-Netzwerk besteht aus Access Points und Clients. Das Netzwerk bildet eine Stern-Topologie, in der alle Access Points als eine gemeinsame koordinierende Einheit agieren. Anwendergeräte (Steuerungen, Maschinen, Sensoren usw.) werden über Ethernet verbunden. Aus Sicht der Anwendung stellt das BlitzFunk-Netzwerk einen verteilten Layer-2-Switch dar.

Skalierbarkeit

BlitzFunk verfügt über ein modulares Systemdesign, das deterministische Performance bietet und bei Bedarf skaliert. Es basiert auf Channel Sets, die zwei nicht-angrenzende 20 MHz Wi-Fi-Kanäle umfassen. Jeder BlitzFunk Access Point operiert auf einem solchen Channel Set. Wenn BlitzFunk-Clients zu einem Channel Set hinzugefügt werden, werden sie zeitlich gemultiplext. Die systematische Latenz erhöht sich mit der Anzahl der Clients. Um die Latenz zu reduzieren und den Datendurchsatz pro Client zu erhöhen,



Access Point AW22R

Client CW22R

können mehrere Access Points am selben Ort platziert werden, um zusätzliche Channel Sets anzubieten.

Für eine höhere Abdeckung können zusätzliche Access Points so konfiguriert werden, dass sie dasselbe Channel Set nutzen und so platziert werden, dass ihre individuellen Abdeckungsbereiche sich überlappen. Durch ein Gigabit Ethernet-Backbone zwischen den Access Points wird das konfigurierte Ressourcengitter über alle Access Points synchronisiert, und Clients können ohne Unterbrechung mit nur minimal erhöhtem Jitter zwischen ihnen wechseln. Zwei Konfigurationsbeispiele werden am Ende dieses Whitepapers diskutiert.

Zeitliches Verhalten

BlitzFunk implementiert ein deterministisches Zeit-Frequenz-Gitter über Access Points mit garantierten Ressourcen pro Client. Logische Frequenzressourcen (Channel Sets) werden zeitlich eingeteilt, um Clients zu multiplexen und Duplex zu realisieren. Die Dauer eines Zeitfensters beträgt standardmäßig 2 ms und bestimmt die systematische Einweg-Latenz im System. Wenn mehr Clients demselben Channel Set zugeordnet werden, vervielfacht sich die Latenz mit der Anzahl der Clients. Zusätzlich zur systematischen Latenz ist mit etwas Jitter (bis zu 2 ms zusätzliche Latenz mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9999 %) zu rechnen, wie in Abbildung 1 gezeigt. Die Summe aus systematischer Latenz und Jitter

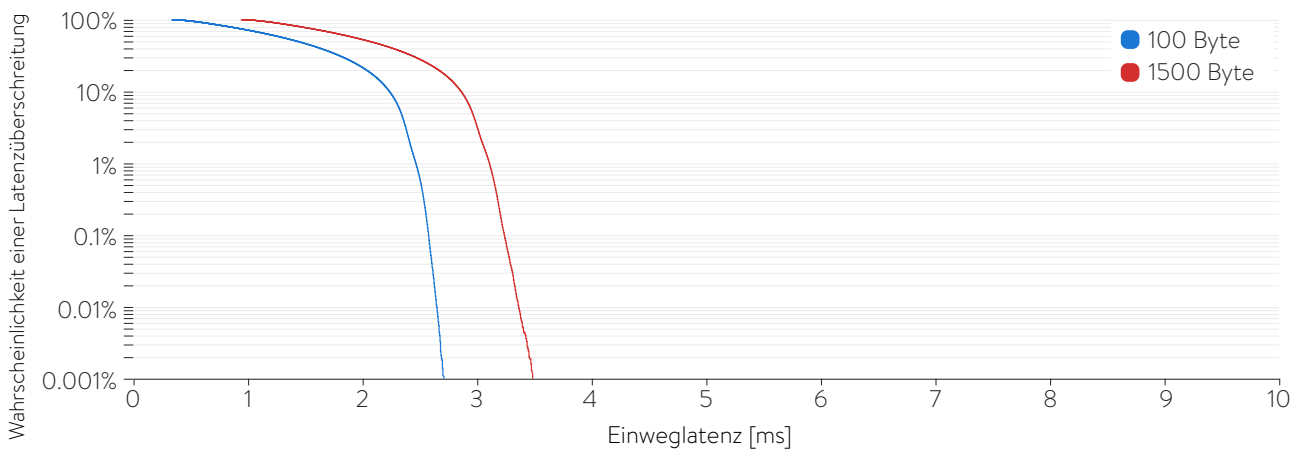


Abb. 1: Gemessene kumulative Latenzverteilung für einen einzelnen Client im Labor (Anfang 2024)

verdoppelt sich für einen Hin- und Rückweg zwischen Access Point und Client sowie für die Kommunikation zwischen Clients.

Spektrum

BlitzFunk baut auf Wi-Fi-Technologie auf und operiert damit in unlicenzierten Wi-Fi-Kanälen in den 2,4- und 5-GHz-Bändern, einschließlich der weniger frequentierten SRD-Kanäle um 5,8 GHz. Die Unterstützung für 6 GHz ist bereits in Entwicklung. BlitzFunk benötigt für den Betrieb mindestens ein Paar nicht-angrenzender 20 MHz Kanäle. Um die Latenz zu minimieren, können zusätzliche Access Points auf unterschiedlichen Kanälen betrieben werden und Clients verschiedenen Channel Sets zugeordnet werden.

Koexistenz

BlitzFunk koexistiert mit anderen Wi-Fi-Netzwerken durch die Einhaltung von CSMA/CA (Listen Before Talk). Allerdings kann Interferenz zu erhöhtem Jitter und somit zu einer höheren funktionalen Paketfehlerrate führen. Im Falle eines kleinen Drittanbieter-Netzwerks mit geringer Last (z.B. Zustandsüberwachung) wird der Einfluss auf BlitzFunk nicht bemerkbar sein, aber eine hohe Last (z.B. Videostreaming) wird die Performance verschlechtern. Auf der anderen Seite kann ein BlitzFunk-Netzwerk einen erheblichen Einfluss auf die Leistung von Drittanbieter-Netzwerken haben.

Plug & Play

BlitzFunk wurde mit Blick auf Leistungsfähigkeit und Benutzerfreundlichkeit entwickelt. Es soll für die meisten Anwendungen mit Ethernet-basiertem Verkehr Plug & Play sein. BlitzFunk ist auf der

Ethernet-Ebene vollständig transparent und unterstützt die volle Standard-MTU von 1500 Bytes pro Frame, was maximale Kompatibilität mit bestehenden Anwendungen bedeutet. Für die Systemkonfiguration und Statusüberwachung bieten BlitzFunk Access Points eine benutzerfreundliche Web-Oberfläche, die ohne die Notwendigkeit zusätzlicher Softwareinstallation zugänglich ist. Konfigurationsänderungen und Firmware-Updates werden drahtlos an die Clients gesendet. Wenn mehrere Access Points über einen Switch verbunden sind, wird die Konfiguration automatisch zwischen den Access Points synchronisiert. Fortgeschrittene Benutzer können die HTTP-API nutzen, um BlitzFunk in bestehende unternehmensinterne Konfigurations- und Überwachungslösungen zu integrieren.

Security

Da BlitzFunk für kritische Anwendungen konzipiert ist, hat Sicherheit höchste Priorität. Jede Kommunikation im BlitzFunk-Netzwerk ist authentifiziert und verschlüsselt, mit Schutz vor Fälschung, Man-in-the-Middle- und Replay-Angriffen. Jedem Client wird ein individueller Schlüssel zugewiesen, der jederzeit widerrufen werden kann, falls das Gerät verloren geht oder aus dem Netzwerk entfernt werden soll. Für maximale Sicherheit verfügen BlitzFunk-Geräte über einen sicheren Bootvorgang, um böswillige Manipulationen zu verhindern.

Physische Schnittstellen

Die physischen Schnittstellen bestehen aus einem DC-Stromanschluss, einem Ethernet-Port und mehreren koaxialen RF-Ports für externe Antennen. BlitzFunk-Geräte sind mit

IP20- und IP65-Anschlüssen erhältlich. Alle BlitzFunk-Geräte kommen in robusten Gehäusen und sind mit industriellen IP65-klassifizierten M12-Anschlüssen für Strom und Daten verfügbar. Qualifikationstests für die CE-Kennzeichnung sind derzeit im Gange, weitere Zertifizierungen sind für 2025 geplant.

Reife

Zum zweiten Quartal 2024 wird eine begrenzte Anzahl der neuesten Prototyp-Version für Evaluierungszwecke verkauft. CE-gekennzeichnete Produkte kommen im dritten Quartal 2024 auf den Markt. Der breitflächige Vertrieb ist für 2025 geplant.

Beispielkonfigurationen

Eine Beispielkonfiguration eines Access Points und sechs Clients wird in Abbildung 2 gezeigt. Da die Clients abwechselnd mit einer standardmäßigen Slotdauer von 2 ms senden, erhält jeder Client alle $6 \times 2 \text{ ms} = 12 \text{ ms}$ eine Übertragungsmöglichkeit. Einschließlich 2 ms Jitter ergibt dies eine worst-

case Einweg-Latenz von 14 ms. Mit bis zu 1500 Bytes pro Übertragungsmöglichkeit wird jedem Client eine Netto-Bitrate von $1500 \text{ Bytes} \times 8 \text{ Bit/Byte} \div 12 \text{ ms} = 1 \text{ Mbit/s}$ gewährt.

Latenz und Durchsatz können verbessert werden, indem ein zweiter Access Point hinzugefügt wird, der auf einem separaten Channel Set operiert. Dies ermöglicht es, Clients bei Bedarf über Channel Sets zu verteilen. Wenn beispielsweise einige Clients an Maschinen mit strengeren Latenzanforderungen angeschlossen sind, können diese Clients einem separaten Channel Set zugeordnet werden. Eine Beispielkonfiguration von vier Clients auf einem Channel Set und zwei Clients auf einem anderen wird in Abbildung 3 gezeigt. Auf dem ersten Channel Set beträgt die Einweg-Latenz inklusive Jitter $4 \times 2 \text{ ms} + 2 \text{ ms} = 10 \text{ ms}$ und die erreichbare Netto-Bitrate pro Client liegt bei 1,5 Mbit/s. Auf dem zweiten Channel Set beträgt die Latenz $2 \times 2 \text{ ms} + 2 \text{ ms} = 6 \text{ ms}$ und die Bitrate pro Client erhöht sich auf 3 Mbit/s.

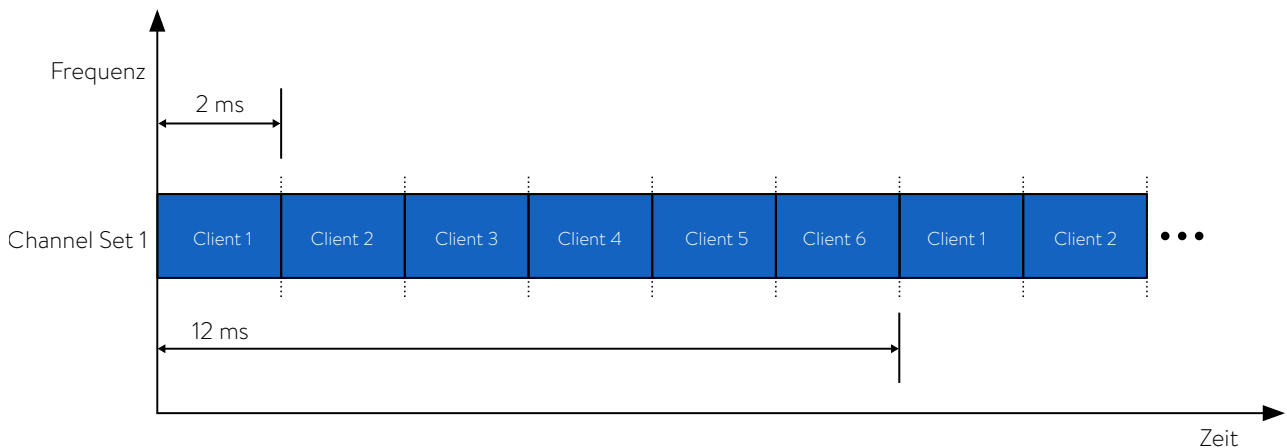


Abb. 2: Ressourcengitter mit sechs Clients in einem Channel Set

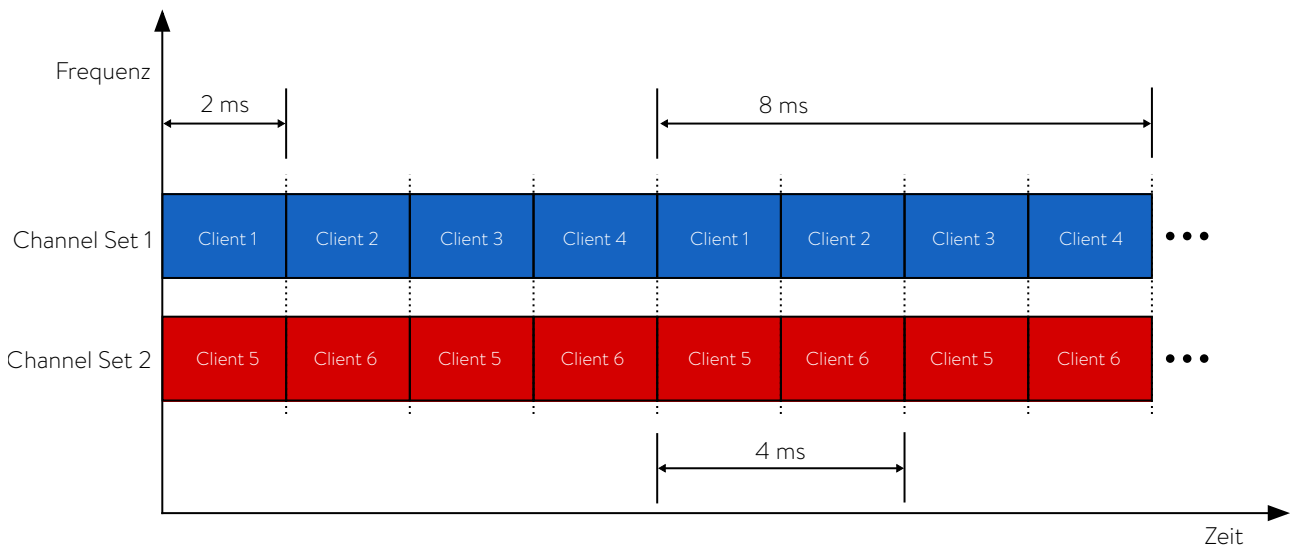


Abb. 3: Beispielhaftes Ressourcengitter mit asymmetrischer Verteilung von sechs Clients auf zwei Channel Sets

Autoren



Dr.-Ing. Nick Schwarzenberg

Technologieentwicklung
nick.schwarzenberg@fuenfeinhalb.de
+49 173 9900454



Andreas Traßl

Produktmanagement
andreas.trassl@fuenfeinhalb.de
+49 1523 4825585