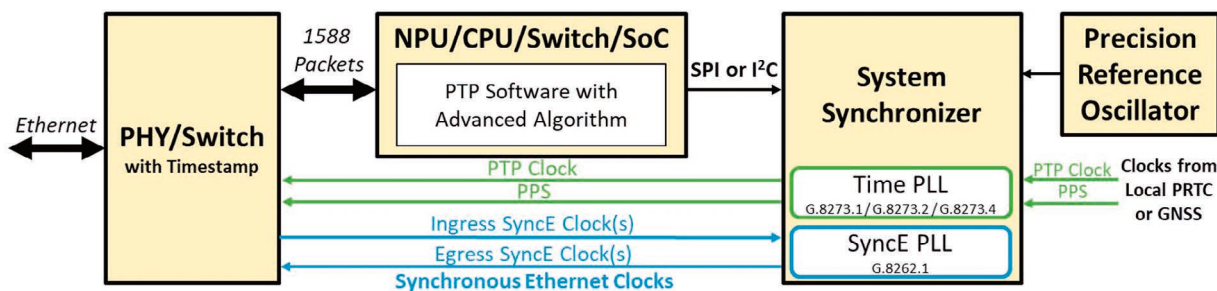


Synchronisierung im Open RAN

Synchronisierung ist wichtig im Kommunikationsnetzwerk: Jedes Element muss bestimmte Frequenz-, Phasen- und Zeitanforderungen erfüllen, um einen ordnungsgemäßen, durchgehenden (End-to-End) Betrieb sicherzustellen.



Dieser Beitrag befasst sich darum mit den von der O-RAN Alliance definierten Synchronisierungsarchitekturen und zeigt, wie O-RU- und O-DU-Einheiten so konzipiert werden können, dass sie diese Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus werden Techniken untersucht, um eine angemessene Überbrückungszeit bereitzustellen und die Latenz zu minimieren.

Flexibilität, Wettbewerb und Offenheit

Open RAN stößt auf großes Interesse bei Dienstleistern, die Kosten senken, den Wettbewerb verbessern und technische Neuerungen vorantreiben wollen. Der Wunsch nach einer disaggregierten und virtuellen RAN-Architektur hat zu mehr Flexibilität, Wettbewerb und Offenheit in den 5G-Netzen geführt.

Die O-RAN Alliance wurde 2018 mit dem Ziel gegründet, Hardware zu standardisieren und offene Schnittstellen zu definieren, um die Interoperabilität zwischen den Geräten der Anbieter sicherzustellen. Protokolle, Architekturen und Anforderungen für die Kontroll-, Benutzer- und Synchronisierungsebenen sind in O-RAN.WG4.CUS.0-v10.00 definiert.

S-Ebene und Genauigkeit

Die Synchronisierungsebene (S-Plane) befasst sich mit Netzwerktopologien und Zeitgenauigkeitsgrenzwerten für die Fronthaul-Netzwerkverbindung zwischen O-DU und O-RU. Die Anforderungen an die Frequenz-, Phasen- und Zeitsynchronisierung folgen den 3GPP-Empfehlungen und richten sich nach den Netzwerk- und Gerätegrenzwerten der ITU-T. Für TDD-Mobilfunknetze beträgt die Grundanforderung 3 µs zwischen Basisstationen oder max. 1,5 µs (G.8271) zwischen der Endanwendung und einem gemeinsamen Punkt. Für Geräte, die mit fortschrittlichen Funktechniken wie Coordinated Multipoint oder MIMO verwendet werden, gelten noch strengere Genauigkeitsanforderungen. Um diese strengeren Netzwerkgrenzwerte zu erfüllen, müssen die Geräte den in G.8372.2 definierten maximalen absoluten Zeitfehler der Klasse C (30 ns) einhalten.

Timing-Konfigurationen

Die S-Plane wurde mit vier Topologien für die Verteilung des Timings durch das Fronthaul-Netzwerk definiert. Diese Konfigurationen basieren auf einer Kombination aus zeit- und frequenzbasierter Synchronisierung. Eine primäre Referenzzeituhr (PRTC oder ePRTC) im Netzwerk liefert die Basiszeit für jedes Netzwerkelement.

Durch den Einsatz von GNSS, PTP und einer Frequenzquelle für die Bitübertragungsschicht (PHY), in der Regel Synchronous Ethernet (SyncE), wird sichergestellt, dass die O-RU zuverlässig die für den ordnungsgemäßen Betrieb des Netzwerks erforderliche Frequenz- und vor allem Phasen- und Zeitsynchronisierung erhält.

Die Bilder 1 und 2 zeigen die vier definierten Konfigurationen zur Unterstützung der Netzwerksynchronisierung im Open RAN-Fronthaul-Netz.

Konfiguration LLS-C1

Die Synchronisierung für die erste Konfiguration erfolgt über eine direkte Verbindung zwischen O-DU und O-RU. O-DU empfängt die Netzwerkzeit von einem PRTC/T-GM, der sich entweder am gleichen Standort wie die O-DU befindet oder von einem entfernten PRTC/T-GM, der sich weiter hinten im Netzwerk befindet.

Konfiguration LLS-C2

Bei der Konfiguration LLS-C2 erhält die O-DU weiterhin die Netzwerkzeit von einem PRTC, das sich am gleichen Standort oder weiter oben im Netz befindet. Die Netzwerkzeit kann von der O-DU über zusätzliche Switches im Fronthaul-Netzwerk weitergeleitet werden. Um die beste Leistungsfähigkeit zu erzielen, wird empfohlen, dass diese Switches ein vollständiges

bewusstes (Fully-Aware, G.8275.1) Netzwerk bilden, in dem jeder Knoten als Telecom Boundary Clock (T-BC) fungiert. Teilweise bewusstes (Partially-Aware) Netze, bei denen ein oder mehrere Switches nicht an der PTP-Filterung teilnehmen, sind ebenfalls zulässig. Je nach Art des Fronthaul-Netzwerks wird die Gesamtleistungsfähigkeit des Netzes durch die Art und Anzahl der Sprünge im Fronthaul-Netz begrenzt. So kann beispielsweise ein Fully-Aware-Netzwerk, das aus T-BCs der Klasse C (30 ns) besteht, mehr Sprünge ermöglichen als ein Fully-Aware-Netz, das aus T-BCs der Klasse B (70 ns) besteht.

Konfiguration LLS-C3

Bei der dritten Konfiguration erhalten O-DU als auch O-RU die Netzwerkzeit von einem PRTC, der sich im Fronthaul-Netz befindet. Wie bei LLS-C2 kann sich die Netzwerkzeit über Fully- oder Partial-Aware-Switches durch das Fronthaul-Netzwerk ausbreiten. In einigen Fällen kann O-DU als T-BC an der Weitergabe der Zeit an die O-RU teilnehmen.

Konfiguration LLS-C4

Die letzte Konfiguration ist die bevorzugte und am einfachsten zu implementieren, aber möglicherweise auch die teuerste der vier Topologien. O-RU in dieser Konfiguration erhält die Zeit vom GNSS als PPS-Takt (Pulse Per Second) oder von einem am

Autor:
Darrin Gile
Microchip Technology
www.microchip.com

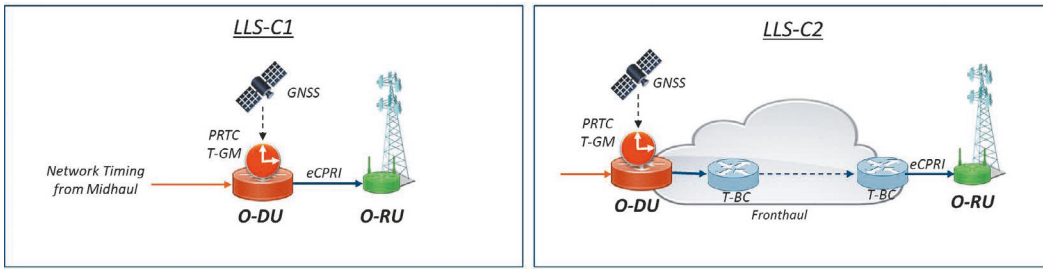


Bild 1: LLS-C1- und LLS-C2-Konfigurationen für die Fronthaul-Synchronisierung

gleichen Standort befindlichen (co-located) PRTC/T-GM. Die schiere Anzahl der einzurichtenden 5G-NR-Standorte und die Anforderungen an den Standort der GNSS-Antenne können dazu führen, dass die Einrichtung dieser Konfiguration kostspielig oder unpraktisch ist. Außerdem kann GNSS an den Funkstandorten anfälliger für Spoofing oder Jamming sein, was den ordnungsgemäßen Betrieb stören kann.

Geräte-Design

Wie der Aufbau von Netzwerken erfordert auch die Synchronisierung von Netzwerkgeräten eine angemessene Planung und Gestaltung. Um die Grenzen der Netzsynchrosierung einzuhalten, verwenden die Geräte eine Kombination aus Zeitstempeln, fortschrittlichen Phasenregelkreisen (PLL), robuster Software für PTP-Unterstützung und Präzisionsoszillatoren.

Das erste wichtige Element des Designs ist der Systemsynchronisierer, der aus einer Reihe fortschrittlicher PLLs besteht. Er bietet Jitter- und Wander-Filterung für SyncE-Takte, Eingangsreferenztakt-Überwachung und Hitless-Referenzumschaltung sowie einen numerisch gesteuerten Oszillator für eine feine PPS/PTP-Taktsteuerung. Die PLLs bieten außerdem Bandbreiten, die sich direkt mit PPS-Taktquellen verbinden lassen.

Die Aufmachergrafik bringt ein vereinfachtes Blockdiagramm, um Synchronisierung umzusetzen.

Präzise Zeitstempel, PTP-Software und ein fortschrittlicher Algorithmus verwalten den PTP-Verkehr und liefern die

Optimierungsberechnungen, die für die genaue Verfolgung von Phase und Zeit des T-GM erforderlich sind. Schließlich ist der Präzisionsoszillator von entscheidender Bedeutung, um die Einhaltung der Holdover- und Gesamtleistungsparameter zu gewährleisten.

Diese Bausteine sind für O-DU, O-RU und alle an der Zeitverteilung beteiligten Switches gleich. Die tatsächliche Implementierung der Funktionsblöcke kann sich je nach Anwendung unterscheiden. So kann der Präzisionsoszillator in Abhängigkeit von den Holdover-Anforderungen für jedes einzelne Netzwerkelement variieren. Eine O-DU muss stabiler sein und längere Holdover-Zeiten unterstützen als eine O-RU. Aus diesem Grund können O-RU-Designs höherwertige TCXOs oder Mini-OCXOs verwenden, während eine O-DU möglicherweise einen teureren OCXO einsetzt.

Timing-Latenz verbessern

Zur Verbesserung der Zeitgenauigkeit innerhalb eines Geräts kommen verschiedene Techniken zum Einsatz. Diese reichen von grundlegenden Designmerkmalen, wie der Platzierung des Zeitstempels so nahe wie möglich am Rand des Geräts, bis hin zu einer komplexeren

Systemkalibrierung für das Phasen-Management innerhalb des Systems. Die Verwendung von SyncE und insbesondere von eEE, wie in G.8262.1 definiert, bietet eine stabile Frequenzreferenz, die die Gesamtphasenleistung für Hybridkonfigurationen erheblich verbessert.

Bei der Verwendung von Sicherheitsprotokollen wie MACsec sollte darauf geachtet werden, dass die Ver-/Entschlüsselung nur eine minimale oder gar keine Verzögerung für die Zeitstempelfunktion verursacht. Die Leistungsfähigkeit des fortschrittlichen Algorithmus und die Stabilität des Präzisionsoszillators sollten ebenfalls entsprechend ausgelegt und gewählt werden, um die erforderliche Leistungsfähigkeit zu erzielen. Bei komplexeren Designs muss sichergestellt werden, dass alle an der Verteilung des PPS-Takts beteiligten Timing-Komponenten die Eingangs-zu-Ausgangs-Verzögerungsschwankungen und den Ausgangs-zu-Ausgangs-Versatz minimieren, um sicherzustellen, dass selbst die engsten Gerätegrenzwerte eingehalten werden. Einige Synchronisierer verfügen über Kalibrierungsfunktionen, die eine genaue Messung und Anpassung der Phasensteuerung ermöglichen. Eine zusätzliche Kompensation von Phasenfeh-

lern, die durch die Temperatur und Alterung des Präzisionsoszillators verursacht werden, kann ebenfalls durchgeführt werden. Einige oder alle diese Methoden stellen sicher, dass die Zeitgenauigkeitsgrenzen der Geräte eingehalten werden.

Anfangs waren ländliche und private Netze auf der grünen Wiese gute Ausgangspunkte für die Einführung von Open RAN. Mit der Zunahme von Makronetzen wird die Bereitstellung einer hochgenauen Netzsynchrosierung entscheidend für die hohe Leistungsfähigkeit sein, wie sie Anwendungen mit sehr geringer Latenz und neueste Funktechniken erfordern.

Wer schreibt:

Darrin Gile ist Senior Technical Staff Engineer in der Timing and Communications Business Unit bei Microchip Technology. Er verfügt über mehr als 26 Jahre Erfahrung in der Halbleiterindustrie. In den letzten 20 Jahren war er in den Bereichen Field Applications und Business Development tätig und unterstützte Kunden bei der Netzwerksynchronisierung und bei fortschrittlichen Timing-Anwendungen. Gile hat sich auf Kundenaufträge im Zusammenhang mit synchronem Ethernet und IEEE-1588 spezialisiert. Er hält einen Master of Science in Elektrotechnik vom Georgia Institute of Technology.

Referenz

O-RAN Control, User and Synchronization Plane Specification 10.0, O-RAN.WG4.CUS.0-v10.00, Oktober 2022, <https://orandownloadswb.azurewebsites.net/specifications> ◀

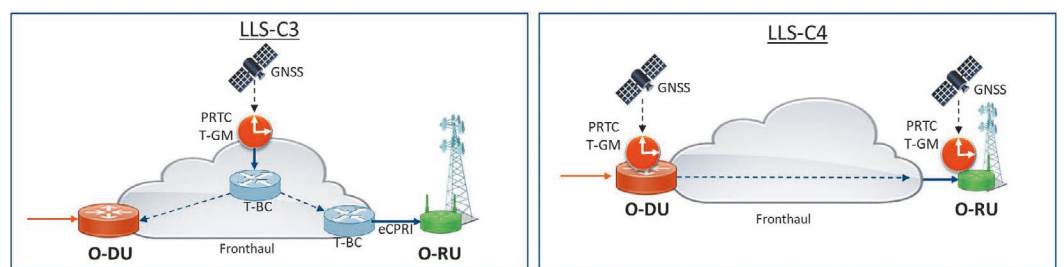


Bild 2: LLS-C3- und LLS-C4-Konfigurationen für Fronthaul-Synchronisierung