

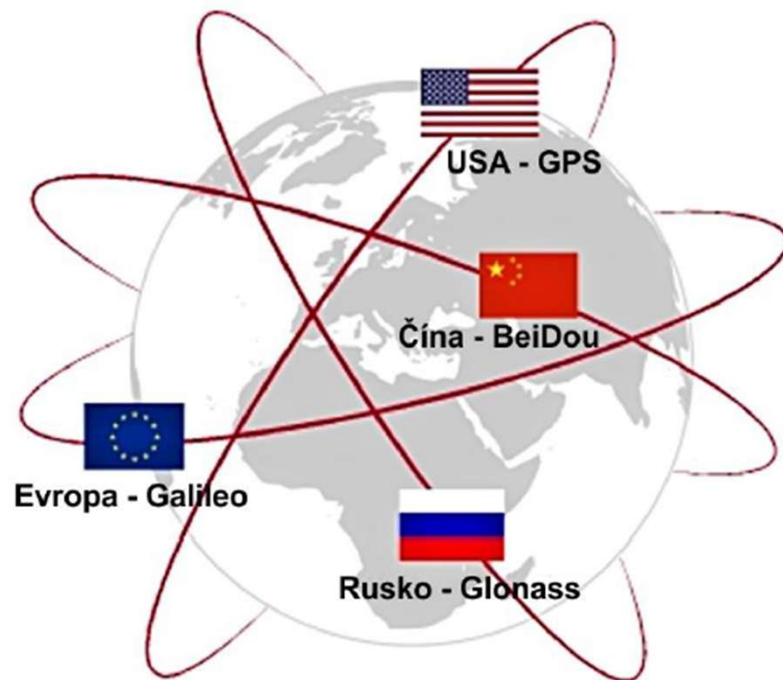
OTA - Synchronizace a čas v síti 5G Brno 2025

PROFIBER Networking

David Pehr

rev. – 12.03.2025

ČAS

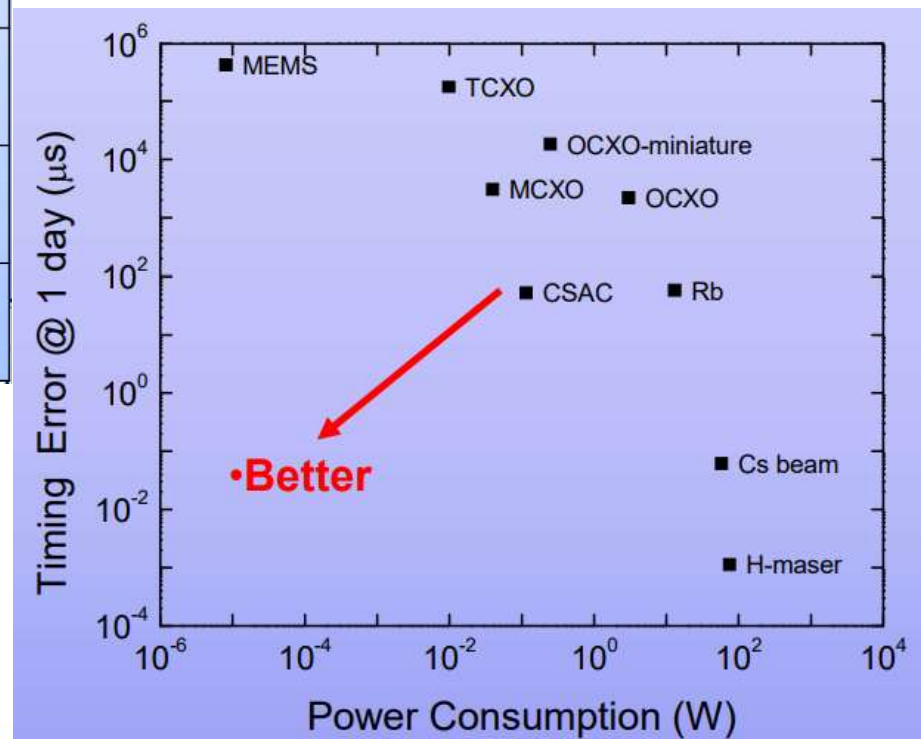


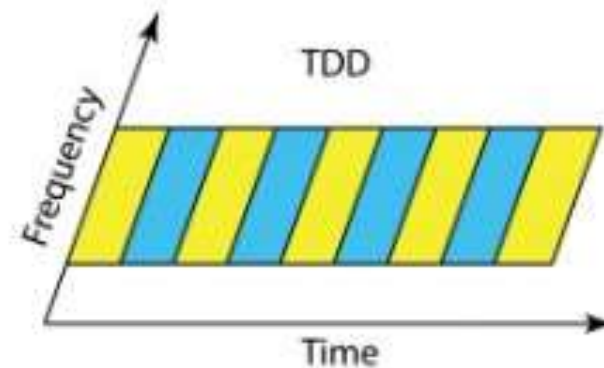
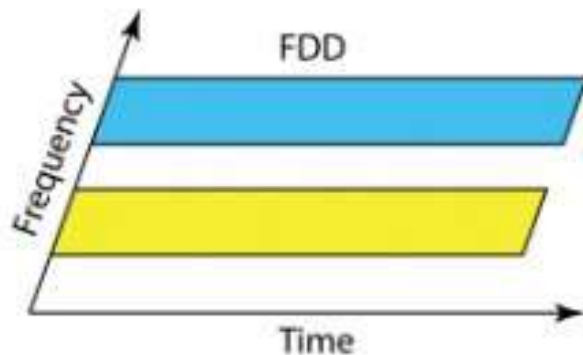
- **Čas** je ve fyzice základní veličina, která slouží k popisu posloupnosti událostí a jejich trvání.
- **Čas** označuje dobu, která uplyne mezi dvěma okamžiky. V jiném chápání je čas pojímán jako čtvrtý rozměr 3D prostoru, v teorii relativity součást časoprostoru.





Technology	Intrinsic Accuracy	Stability (1s)	Stability (floor)	Aging (/day) initial to ultimate	Applications
Cheap Quartz, TCXO	10^{-6}	$\sim 10^{-11}$	$\sim 10^{-11}$	10^{-7} to 10^{-8}	Wristwatch, computer, cell phone, household clock/appliance,...
Hi-quality Quartz, OCXO	10^{-8}	$\sim 10^{-12}$	$\sim 10^{-12}$	10^{-9} to 10^{-11}	Network sync, test equipment, radar, comms, nav,...
Rb Oscillator	$\sim 10^{-9}$	$\sim 10^{-11}$	$\sim 10^{-13}$	10^{-11} to 10^{-13}	Wireless comms infrastructure, lab equipment, GPS, ...
Cesium Beam	$\sim 10^{-13}$	$\sim 10^{-11}$	$\sim 10^{-14}$	nil	Timekeeping, Navigation, GPS, Science, Wireline comms infrastructure,...
Hydrogen Maser	$\sim 10^{-11}$	$\sim 10^{-13}$	$\sim 10^{-15}$	10^{-15} to 10^{-16}	Timekeeping, Radio astronomy, Science,...





Synchronizace v síti 5G je klíčový proces, který zajišťuje, že všechny komponenty sítě pracují ve stejném časovém rámci. To je nezbytné pro správné fungování různých funkcí, jako je přenos dat, řízení přístupu k rádiovému spektru a koordinace mezi základnovými stanicemi.

Synchronizace je důležitá pro minimalizaci latence a zajištění vysoké kvality služeb, zejména v aplikacích, které vyžadují velmi nízkou latenci, jako jsou autonomní vozidla nebo průmyslové roboty.

LATENCE

Latence v síti 5G MNO (Mobile Network Operator) je doba, kterou trvá přenos dat. V kontextu 5G sítí je latence klíčovým parametrem, protože ovlivňuje rychlost a plynulost komunikace mezi zařízeními.

Vlastnosti latence v 5G sítích:

1. Nízká latence: 5G sítě jsou navrženy tak, aby dosahovaly velmi nízké latence, často pod 10 milisekund (ms), s cílem dosáhnout až 1 ms. To je výrazně nižší než u předchozích generací mobilních sítí, jako je 4G, kde latence může být kolem 50 ms nebo více

2. Technologie pro snížení latence:

K dosažení nízké latence v 5G sítích se používají pokročilé technologie, **Edge Computing**, kde se data zpracovávají blíže k místu jejich vzniku, což snižuje dobu přenosu

Latence je tedy jedním z hlavních faktorů, které umožňují 5G sítím poskytovat rychlejší a spolehlivější služby, což otevírá dveře k novým inovacím a aplikacím.

Sensitivity to latency in online gaming

>300 ms – game unplayable

>150 ms – player performance degraded

>100 ms – player performance affected

50 ms – target performance

13 ms – lower limit of detectability

POŽADAVKY NA T-GM A T-BC

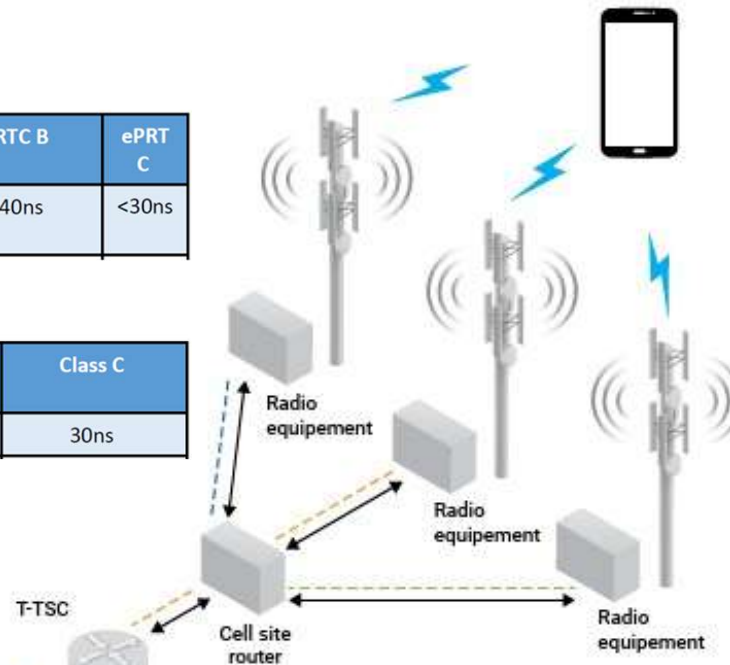
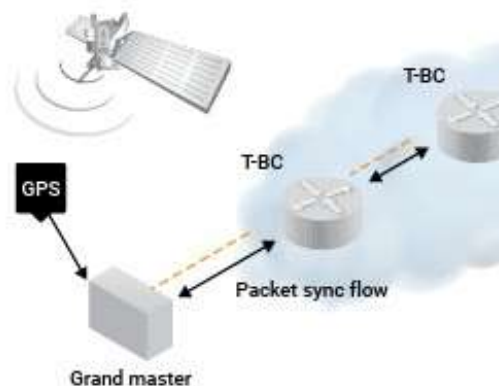
Per O-RAN specifications for a T-GM:

Parameter	Conditions	PRTC A	PRTC B	ePRTC
Max TE	PTP: 100-sample moving average	<100ns	<40ns	<30ns

Per O-RAN specifications for a T-BC/T-TSC

Parameters	Conditions	Class A	Class B	Class C
Max TE	Unfiltered 1000ns	100ns	70ns	30ns

GPS and atomic clock (PRC)



Synchronization requirements by 3GPP feature

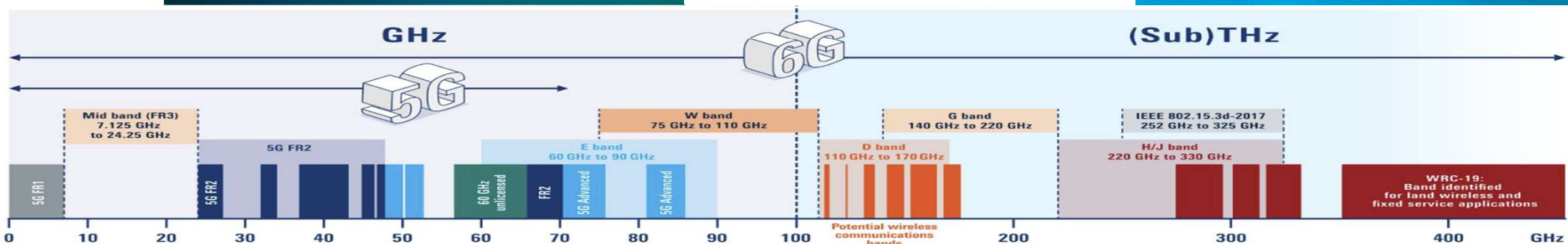
Category Name	TE at UNI	3GPP TAE at Antenna	3GPP Feature
A+	20 ns (relative)	65 ns (relative)	- MIMO - TX-diversity
A	70 ns (relative)	130 ns (relative)	Intra-band contiguous CA (FR2)
B	200 ns (relative)	260 ns (relative)	- Intra-band contiguous CA (FR1) - Intra-band non-contiguous CA (FR2) - CoMP
C	1.1 us (absolute)	3 us (relative)	- Intra-band non-contiguous CA (FR1) - Inter-band CA - Time Division Duplex - Dual Connectivity

SA, RTSA, FR1, FR2...

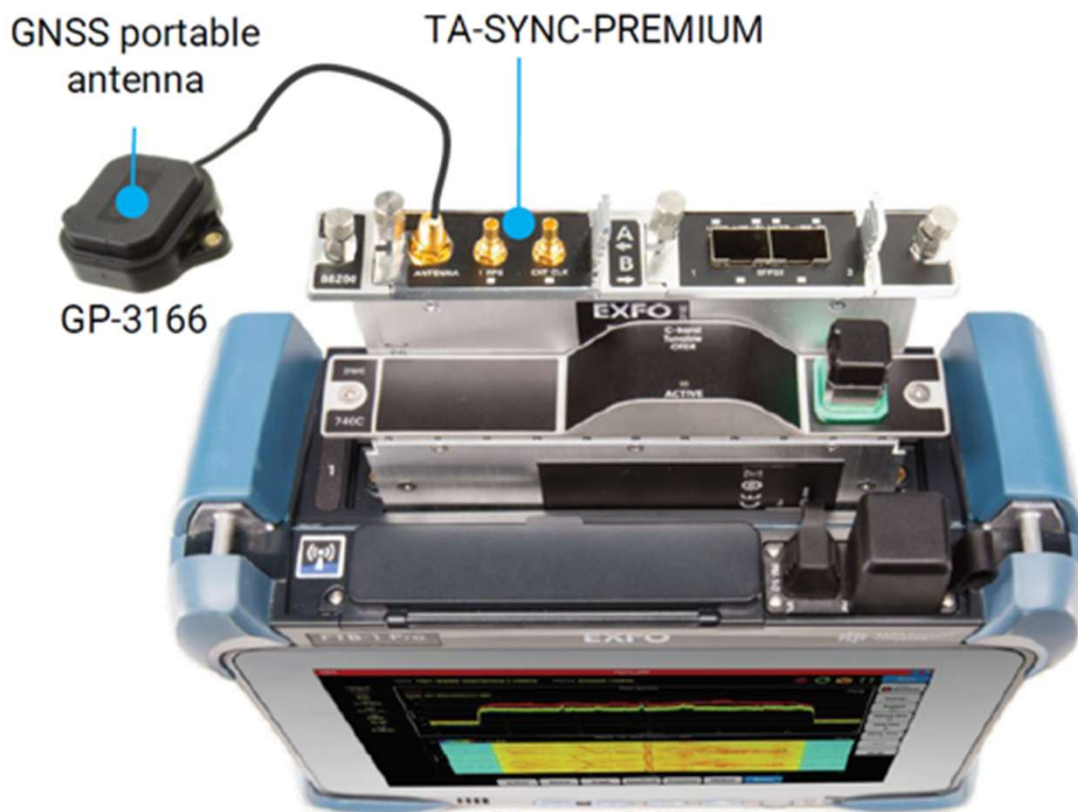


FTB 5G Spektrální analyzátor

- Až 4,5 hod provozu na aku v HPDC
- Hmotnost méně než 3,8 kg
- Pásmo FR1 a FR2
- RTSA - BW 100MHz
- 5G a LTE analýza
- Synchronization Signal Block scanner
- OTA

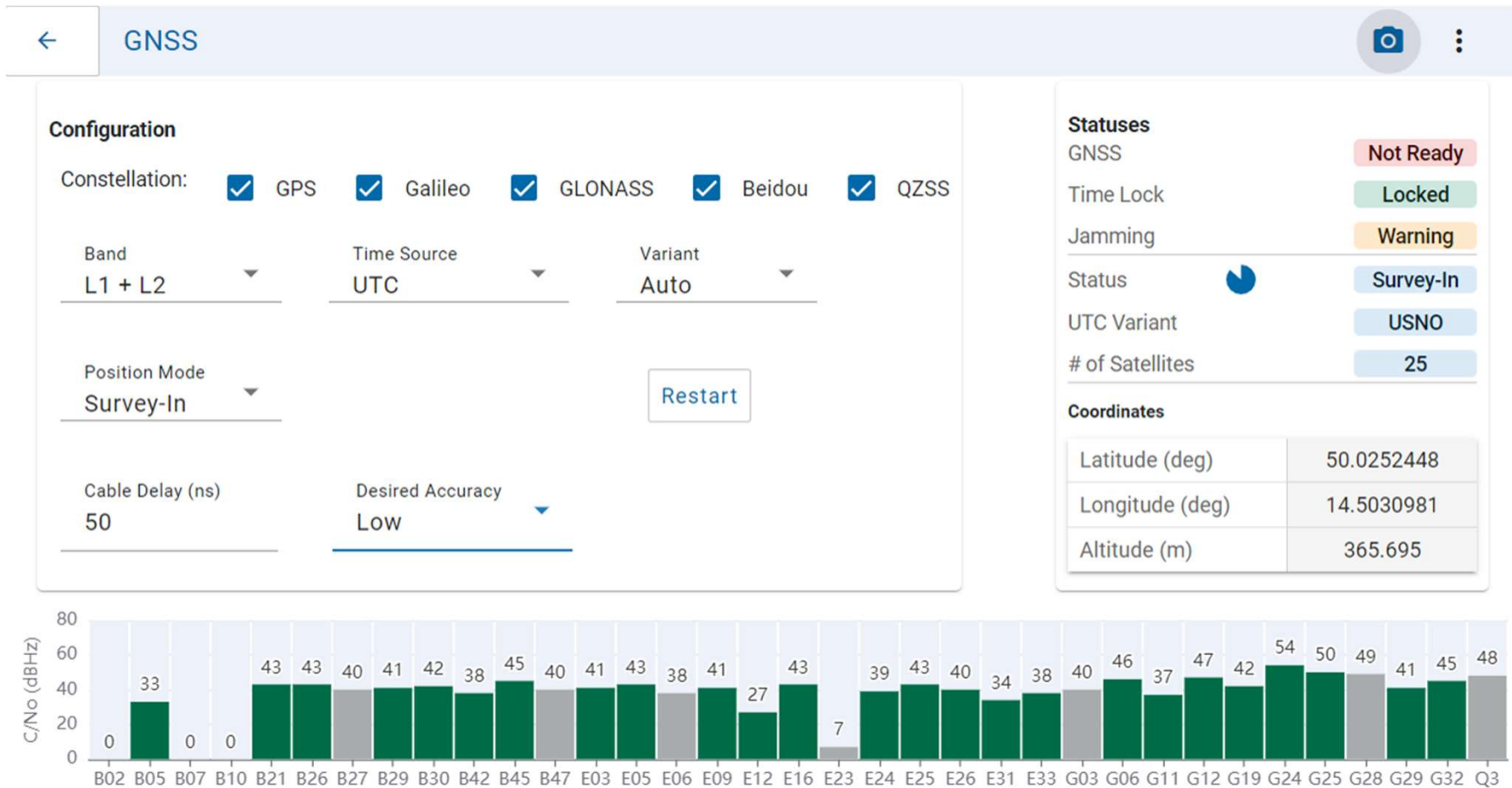


TIMING TA-SYNC PREMIUM



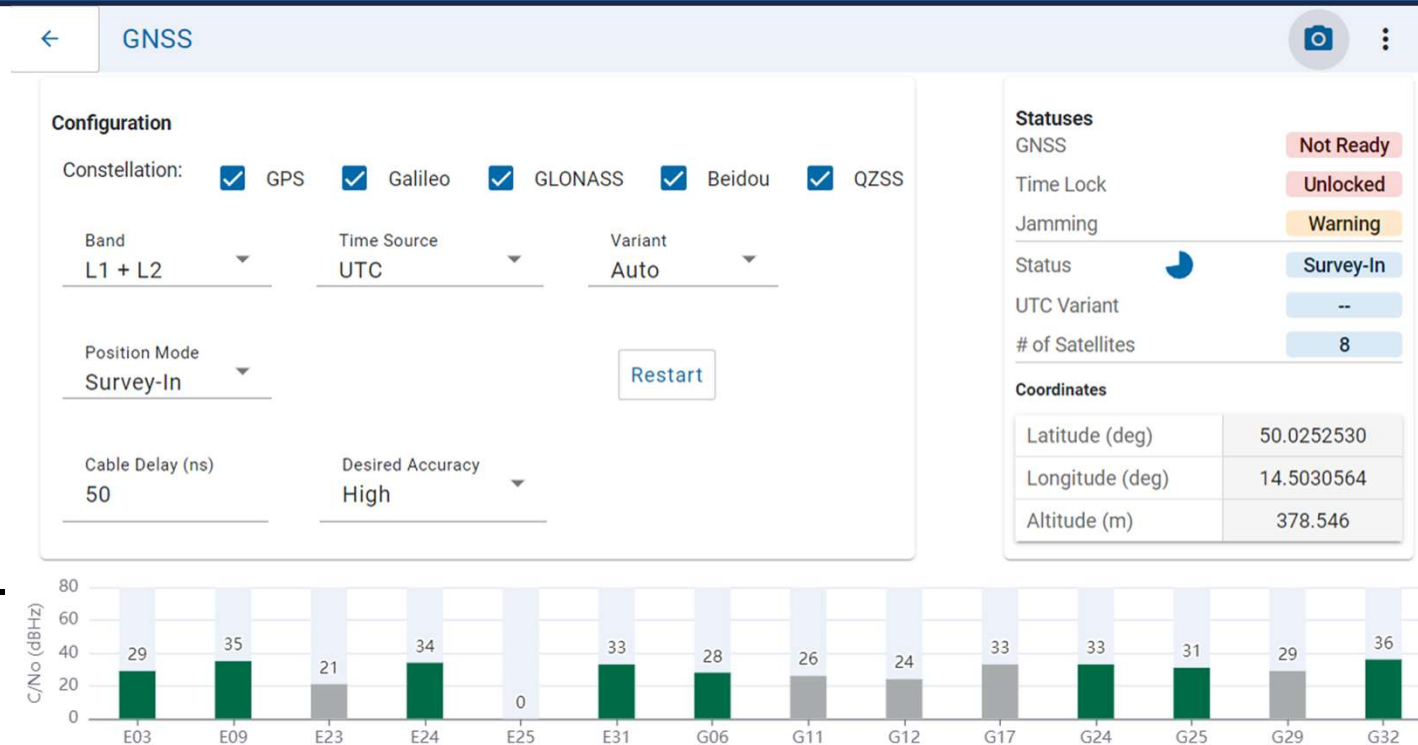
- Integrovaný GNSS přijímač – nejlepší ve své třídě (U-blox)
- Přesnost +/-5ns za méně než 20 minut
- Stratum 3E OCXO
- O 90% rychlejší než porovnatelná řešení na trhu

TIMING TA-SYNC PREMIUM

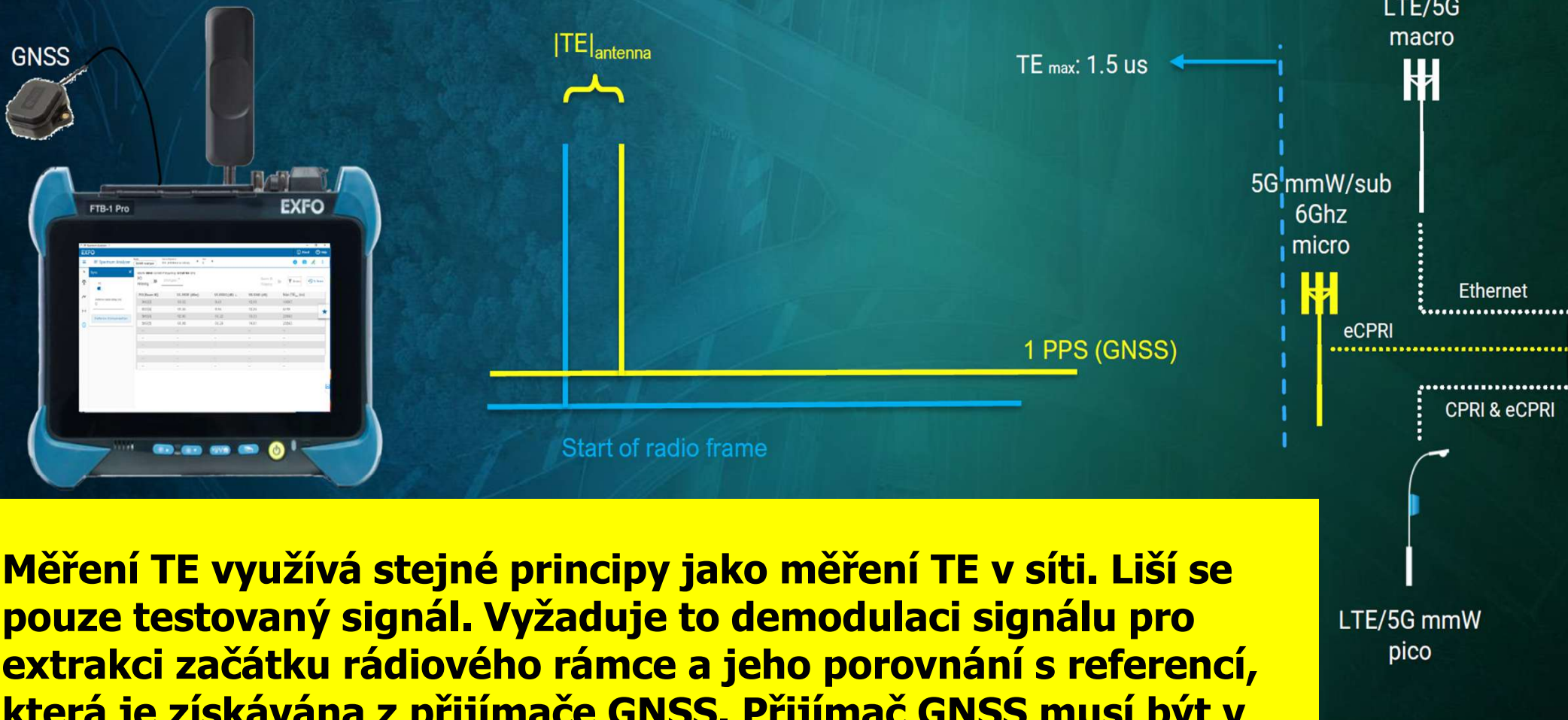


Nejrychlejší GPSDO na trhu / GPSDO s nejkratší dobou zavěšení

- GNSS
- Podpora L1+L2
- Kompenzace zpoždění na kabelu
- Kompenzace vzdálenosti BTS/ antény



Doba zavěšení GNSS / GPSDO pod 20 minut !



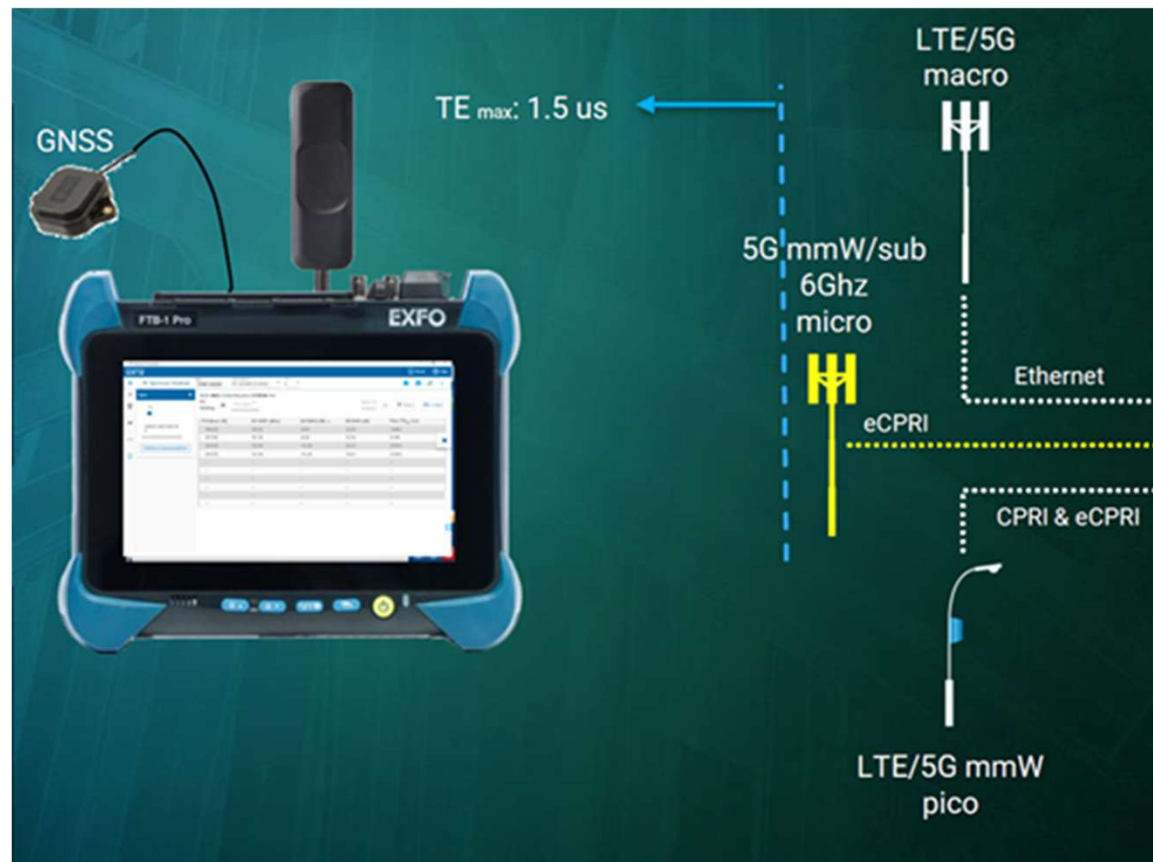
Měření TE využívá stejné principy jako měření TE v síti. Liší se pouze testovaný signál. Vyžaduje to demodulaci signálu pro extrakci začátku rádiového rámce a jeho porovnání s referencí, která je získávána z přijímače GNSS. Přijímač GNSS musí být v klidu, aby byl kmitočet 1 PPS platný.

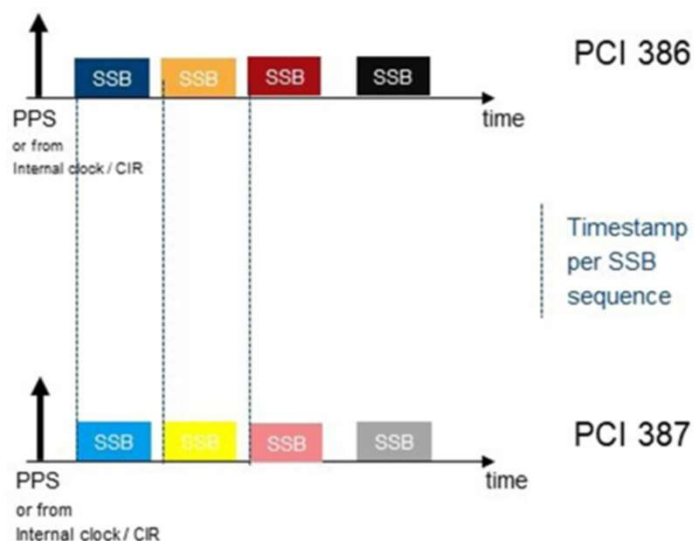
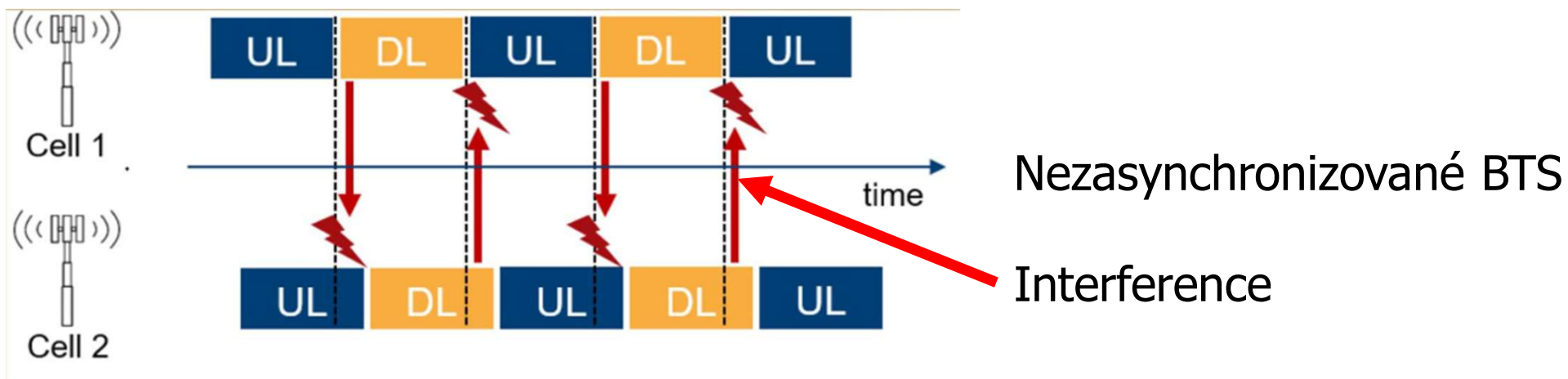
Co má vliv na výkon 5G sítě ?

- Synchronizace UE a BTS v TDD
- Interference mezi sítě
- Handover

Řešení ?

- Měření TE - OTA pomůže zjistit v jakém stavu se nachází synchronizace v Air Interface





Synchronizované BTS

UL - Uplink - UE to BTS

DL – Downlink BTS to UE

SSB - Synchronization and Signal Block

DOPADY NA RF SÍŤ

Časování je kritické pro RF síť 5G



Voice/Video

- Audible clicks
- Latency (echos)
- Dropped calls
- Corrupted video
- Loss of frame
- Voice & video misalignment



Wireless

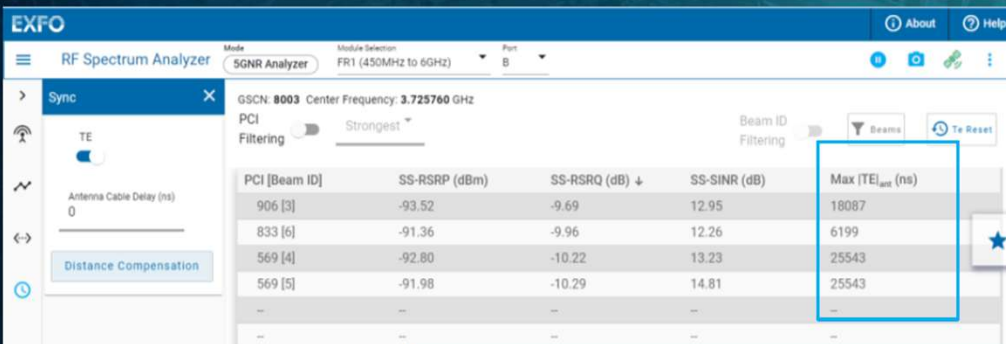
- Seamless handover
- Interferences (eICIC)
- CoMP
- Carrier Aggregation
- Dual Connectivity
- Beamforming
- Location Accuracy



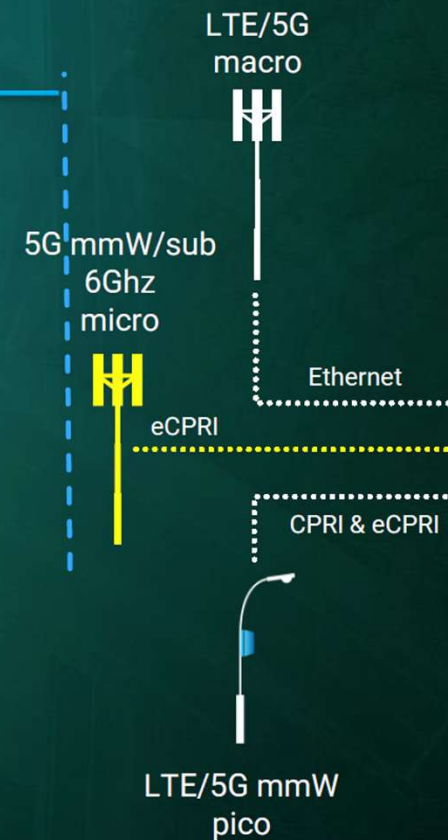
Services

- Location Services
- Industrial Automation
- Smart Grid
- IoT
- Network Monitoring

Začínají se projevovat problémy s časováním a bude to ještě horší!

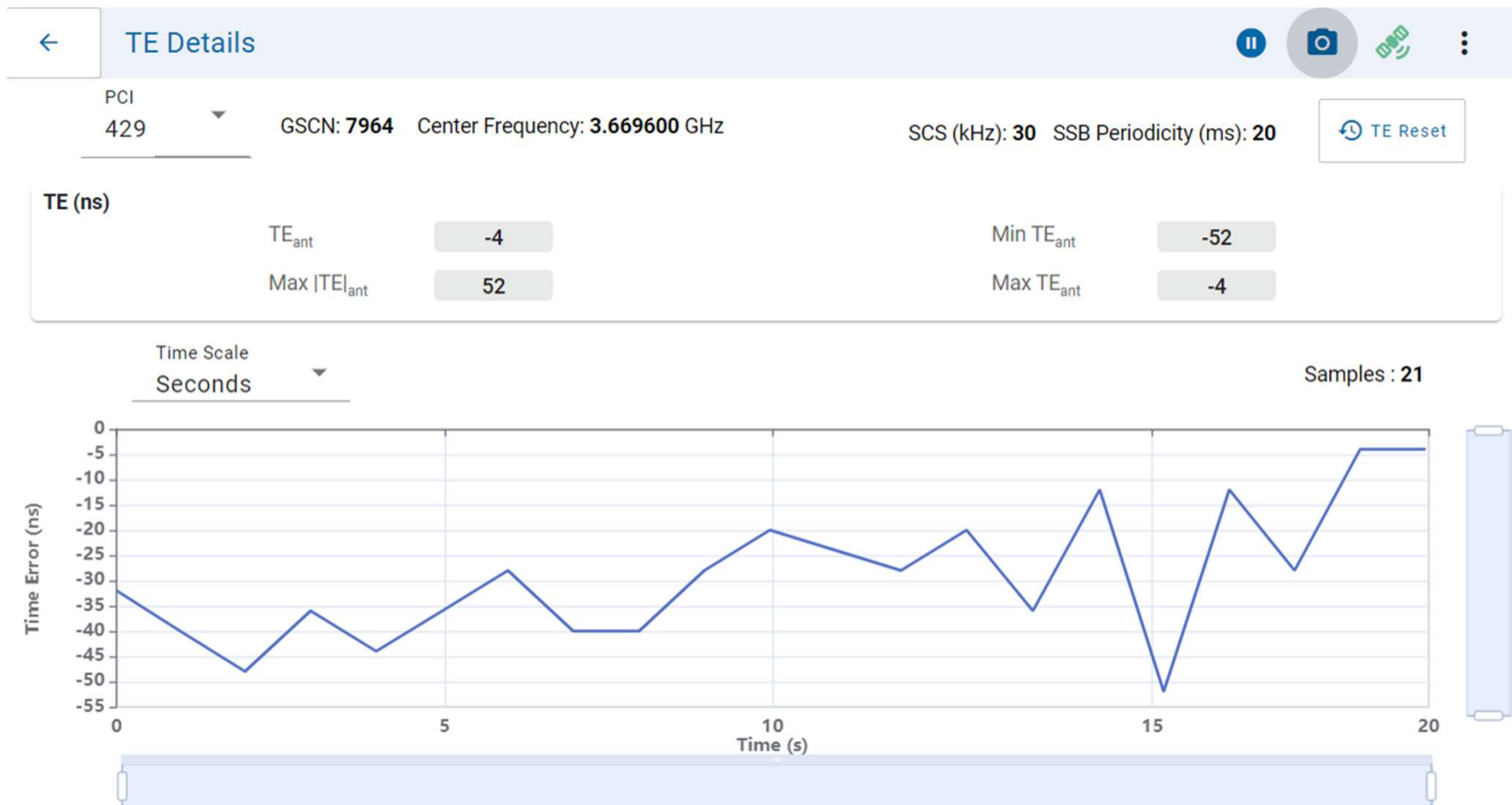


TE max: 1.5 us



TEST SYNCHRONIZACE Over-The-Air

TE



GSCN - Global Synchronization Raster Channel

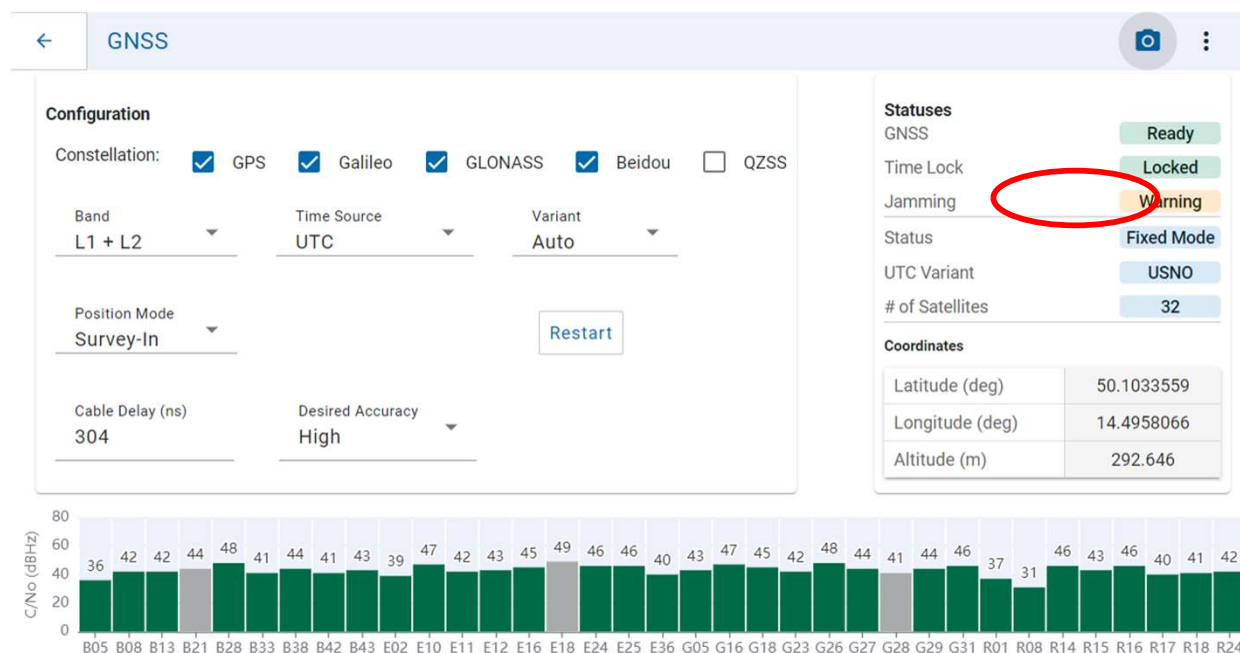
Technologické výzvy

- Vysoce přesné časové zdroje – 5G využívá pokročilé technologie, jako jsou GNSS (Global Navigation Satellite System) a PTP (Precision Time Protocol), které poskytují synchronizaci s přesností na nanosekundy.

- Odolnost proti poruchám a kybernetickým útokům – Přesná časová synchronizace musí

být chráněna proti GPS rušení nebo hackerským útokům.

- **Jamming**
- **Spoofing**



DŮVODY A OBLASTI UPLATNĚNÍ

1. Význam pro aplikace: Nízká latence je zásadní pro aplikace, které vyžadují okamžitou odezvu, jako jsou online hry, autonomní vozidla, telemedicína a průmyslová automatizace

2. Over-The-Air (OTA) testování: Měření synchronizačního signálu od Grand Mastro až po základnovou stanici

Budoucnost: 5G a časová synchronizace umožní

- **Autonomní vozidla a inteligentní dopravu** – Auta budou v reálném čase komunikovat s infrastrukturou a mezi sebou. Přesná synchronizace umožní okamžité reakce na změny v provozu.
- **Průmysl 4.0 a robotiku** – Továrny budou řízeny inteligentními sítěmi, kde roboti a stroje spolupracují s přesností na milisekundy.
- **Chytrá města a IoT** – Synchronizované senzory a kamery zajistí efektivní správu dopravy, bezpečnost a optimalizaci zdrojů.
- **Telesurgery a zdravotnictví** – Lékaři budou moci provádět operace na dálku pomocí robotických nástrojů řízených přes 5G síť.
- **Finanční transakce a blockchain** – Mikrosekundová synchronizace zajistí bezpečné a přesné zpracování digitálních transakcí.

Úloha umělé inteligence v 5G synchronizaci

Umělá inteligence (AI) hraje v mobilních sítích 5G **klíčovou roli**, zejména v optimalizaci synchronizace a řízení sítě.

- **Predikce a adaptace** – AI analyzuje provoz sítě v reálném čase a předvídá potřebu úprav synchronizace, čímž zlepšuje stabilitu a efektivitu přenosu.
Automatizace řízení sítě – Díky AI mohou operátoři minimalizovat latenci, předcházet rušení a efektivněji řídit přidělování frekvencí.
Bezpečnost a detekce útoků – AI monitoruje sítě a identifikuje anomálie v synchronizaci, které mohou naznačovat kybernetické útoky nebo poruchy
- **Optimalizace pro IoT a autonomní systémy**
AI umožňuje inteligentní koordinaci mezi miliardami zařízení v síti, včetně autonomních vozidel a chytrých senzorů.
- **AI se tak stává nepostradatelným prvkem 5G ekosystému**, který nejen zvyšuje efektivitu sítí, ale také umožňuje nové inovace a aplikace, které by bez přesné synchronizace nebyly možné.



EXFO

Děkuji

David.Pehr@profiber.eu

www.profiber.eu

AKADEMIE VLÁKNOVÉ OPTIKY A OPTICKÝCH KOMUNIKACÍ ®

PROFiber Networking CZ s.r.o.
Mezi Vodami 205/29
143 00 Praha 4

PROFiber Networking s.r.o.
Bernolákova 2
917 01 Trnava

the art of
optical
communication

