

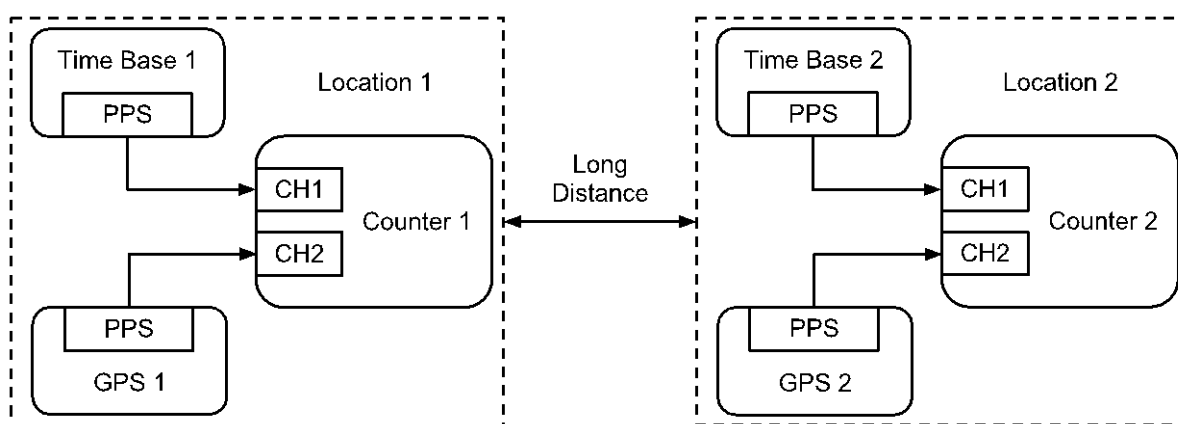
## Měření parametrů časové synchronizace v distribuovaných systémech

### 1. Abstrakt

Výsledek zahrnuje návrh a implementaci metodiky měření časových parametrů charakterizujících přesnost synchronizace dvou a více zařízení vybavených hodinami reálného času v distribuovaném systému zejména při použití PTP protokolu. Metodika byla prakticky ověřena v počítačové síti ČVUT.

### 2. Základní principy měření

Byly navrženy dvě principiálně rozdílné metody měření. První metoda (obr. 1) je založena na využití přesných GPS časových přijímačů jako zdrojů časové informace s nejistotou lepší než 100 ns vůči časové stupnici UTC.



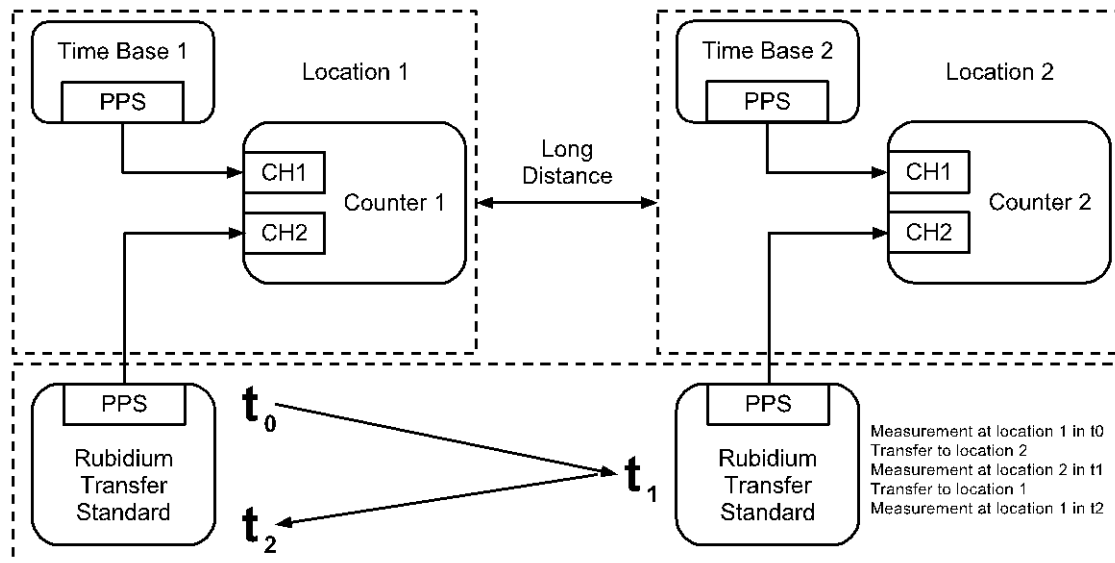
Obrázek 1. Měření časové diference dvou vzdálených časových základen pomocí přijímačů GPS

Druhá metoda (obr. 2) využívá přenosný frekvenčně vysoce stabilní rubidiový frekvenční etalon (obr. 3), pomocí kterého se postupně provede měření odchylky hodin prvního, druhého a opětovně prvního zařízení vůči PPS pulsu rubidiového normálu. Pomocí statistického zpracování měřených hodnot a interpolací získáme časový rozdíl (diferenci) mezi stupnicemi v okamžiku  $t_1$  (resp. v intervalu  $t_0$  až  $t_2$ ).

Vlastní měření časové diference lokálních časových stupnic příslušných zařízení se u obou metod provádí pomocí přesného čítače v režimu měření časového intervalu.

Dosažitelná přesnost měření je u první metody přibližně 30 až 70 ns, u druhé metody 5 až 15 ns (ve smyslu rozšířené nejistoty,  $k = 2$ ) v závislosti na konkrétních podmínkách měření.

Součástí řešení byl vlastní vývoj a implementace potřebného SW a také konstrukce časových GPS přijímačů na bázi modulů uBlox LEA-6T (viz další odstavec).



Obrázek 2. Měření časové diference časových základen pomocí přenosného Rb etalonu

### 3. Poznámky k navrženým metodám měření

Přesnost první metody založené na využití přesných GPS časových přijímačů závisí na kvalitě použitého přijímače, jeho správném umístění, nastavení a kalibraci.

Klíčové faktory pro správnou funkci časového GPS přijímače:

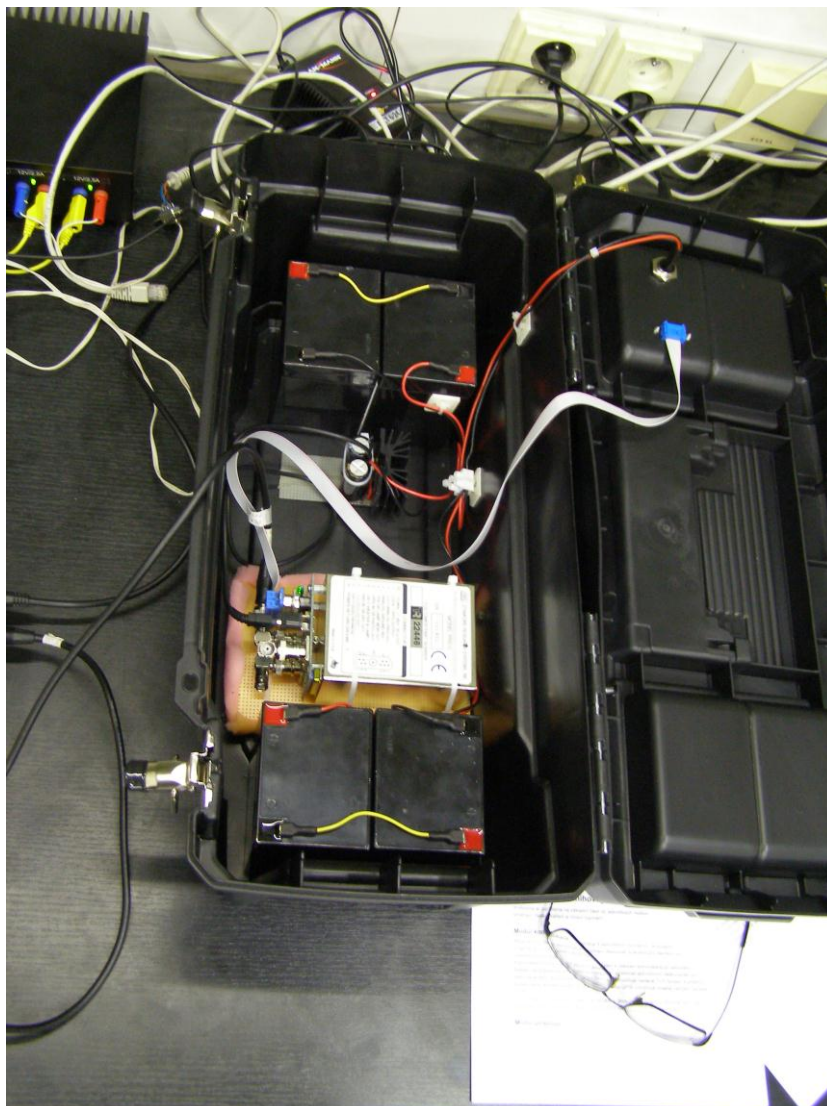
- počet „viditelných“ satelitů
  - vhodné umístění antény
  - použití aktivní antény
- fixní poloha
  - přesné určení polohy (např. pomocí Survey-In)
  - chyba v pozici převedena na chybu v určení přesného času
- zpoždění na přenosové cestě (lze kompenzovat v přijímači)
  - zpoždění na anténě
  - zpoždění na výstupech
- kvalita výstupního signálu
  - nekvalitní detekce hrany = chyba až v řádu desítek ns
  - výkonové budiče a správné impedanční přizpůsobení
- správná konfigurace přijímače

Tyto faktory mohou degradovat přesnost generovaných PPS pulsů, buď se zvětší jejich rozptyl, nebo se posune střední hodnota jejich odchylky vůči časové stupnici UTC(GPS). První problém je řešitelný delším průměrováním PPS pulsů, druhý problém se odhaluje obtížně.

Použití metody „přenosných hodin“ (tedy výše uvedené metody přenosného Rb etalonu) může problém neznámého posunu střední hodnoty signálu 1 PPS z GPS přijímače vyřešit nebo alespoň odhalit. Vysoká krátkodobá stabilita frekvence Rb etalonu v řádu 10<sup>-11</sup> umožňuje porovnání „vzdálených“ lokálních časových stupnic s přesností v řádu jednotek nanosekund.

Pokud bude porovnání provedeno v krátkém časovém intervalu (desítek minut až jednotek hodin) a bez působení výrazných parazitních vlivů (vibrace, změny teploty, změny magnetického pole), je možné předpokládat, že relativní odchylka frekvence Rb etalonu od jmenovité hodnoty je konstantní. Směrnice přímkou, kterou proložíme lineárně rostoucí časovou diferencí mezi přenosným Rb etalonem a měřenou časovou základnou Time Base 1 (obr. 2) je v tomto případě také konstantní. Proložená přímka umožní interpolovat časovou odchylku druhé časové základny (Time Base 2) v čase  $t_1$ . V čase  $t_2$  je nutné zkontrolovat, zda časová odchylka mezi Rb etalonem a Time Base 1 odpovídá výše uvedeným předpokladům. Pokud se směrnice přímkou proložené při měření Time Base 1 od času  $t_2$  výrazně změní, došlo ke změně frekvence přenosného etalonu, výsledky nejsou věrohodné a je nutné celé měření opakovat.

Nevýhodou tohoto postupu je jeho časová náročnost. Výhodou je, že výsledky měření jsou při dodržení popsaného postupu velmi spolehlivé a případné hrubé chyby jsou rychle odhaleny.



Obrázek 3. Fotografie přenosného Rb etalonu