PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2015-367

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01C 3/00 (2006.01)
G01S 5/00 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **29.05.2015**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **14.12.2016**

(Věstník č. 50/2016)

(71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodezie, Praha 6, CZ

(72) Původce:
Ing. Rudolf Urban, Ph.D., Praha 10, CZ
doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D., Roudnice nad Labem, CZ
Ing. Jaroslav Braun, Bedihošť, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, 158 00 Praha 13

(54) Název přihlášky vynálezu:

Způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti

(57) Anotace:
Při způsobu pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti se určí absolutní chyby dálkoměru na laboratorní pilířové základně s nucenými centracemi, dále se určí relativní chyby dálkoměru na základně s interferometrem, poté se převedou relativní chyby na absolutní chyby a určí se opravná funkce z hodnot absolutních chyb pro potlačení systematických chyb dálkoměru.

CZ 2015 - 367 A3

Způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti.

Oblast techniky

Technické řešení se týká způsobu pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti, zejména se týká přesného určování vzdáleností elektronickým dálkoměrem běžných geodetických přístrojů zejména v oblasti strojírenství a průmyslové geodézii.

Dosavadní stav techniky

V oblastech moderní průmyslové geodézie a strojírenství jsou na výslednou přesnost měření kladeny velmi vysoké nároky, spadající až pod hranici 1 mm. Těmto požadavkům se musí podřizovat metodika měření a používané geodetické přístroje. U současných totálních stanic je sledována zejména směrodatná odchylka měření vodorovného směru a zenitového úhlu, která běžně dosahuje hodnot 0,3 mgon, u speciálních přístrojů až 0,15 mgon, a směrodatná odchylka měření délky, která je běžně uváděna v rozmezí 1 až 2 mm. Právě vlastnosti dálkoměrů a jejich skutečná přesnost je často diskutována při stanovování reálné přesnosti výsledků u měření na velmi krátké vzdálenosti, tj. 5 až 50 m, neboť je obecně známo, že přesnost měření délek nelze zvýšit prostým opakováním, protože značná část chyby je systematická.

Mezi hlavní chyby dálkoměrů, na které se obecně soustřeďují pokusy, patří chyba z určení součtové konstanty odrazného hranolu - Khalil, R.: New Compact Method for Laboratory Testing EDM Instruments, změna měřítka v závislosti na délce - EDM Calibration Handbook, Act Government, Australie, chyba časového článku u pulzních dálkoměrů - Kilpela, A.; Pennala, R.; Kostmovaara, J. Precise pulsed time-of-flight laser range finder for industrial distance measurements a cyklická chyba u fázových dálkoměrů - Krauter, A. a K. Száládi. Laboratory investigation on the distance meter unit in electronic tacheometers.

Pro testování elektronických dálkoměrů (EDM) existuje norma ISO 17123-4, která definuje polní zkoušky dálkoměrů pro ověření přesnosti a určení součtové konstanty odrazného hranolu. Na úrovni národních standardů a v návaznosti na mezinárodní délkové etalony jsou budovány kalibrační délkové základny. Bohužel hlavní oblasti, na které se kalibrace zaměřují, jsou katastr nemovitostí a mapování, tedy oblasti dlouhých délek. Pro kalibrace jsou zřizovány venkovní pilířové základny o délkách 800 až 1500 m. Standardním výstupem kalibrací EDM jsou velikosti odchylek od referenčních délek, kdy těmito odchylkami je prokládána vyrovnávací přímka. Parametry této vyrovnávací přímky reprezentují zbytkovou chybu součtové konstanty a měřítkovou chybu, která je závislá na vzdálenosti.

V oblasti průmyslové inženýrské geodézie se měřené délky pohybují pouze v rozmezí 5 až 100 m a je tedy zřejmé, že uvedené postupy kalibrace nemusí plně vyhovovat nárokům na přesnost a opravy určené z dlouhých základen nemusí reprezentovat reálné opravy na velmi krátkých délkách. Pro totální stanice používané v inženýrské geodézii jsou někdy využívány laboratorní základny s interferometrem, kde je ale dosažení absolutních velikostí chyb nemožné a jsou určovány relativní velikosti chyb - rozdíl relativních délek naměřených interferometrem a totální stanicí. Laboratorní základna je obvykle dlouhá 20 až 50 m a je zpravidla tvořena kolejnicí pro pohyb odrazného hranolu a interferometrem, kde směrodatná odchylka měřené délky interferometrem bývá až 1,5 ppm·D - DE Wulf, A., D. Constales, Meskens, Nuttens a Stal. Procedure for Analyzing Geometri cal Characteristics of an EDM Calibration Bench. Na těchto základnách bývá také zpravidla měřeno pouze omezené množství délek a zjištěnými odchylkami jsou prokládány přímky nebo předem navržené funkce, které reprezentují chybu součtové konstanty a průběh cyklické chyby. Tyto hodnoty ale bývají zřídka použity pro zvýšení přesnosti měření - Rüeger, J.M. Electronic Distance Measurement.

Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny způsobem pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti, podle tohoto vynálezu. Jeho podstatou je to, že se určí absolutní chyby dálkoměru na laboratorní

pilířové základně s nucenými centracemi, dále se určí relativní chyby dálkoměru na základně s interferometrem, poté se převedou relativní chyby na absolutní chyby a určí se opravná funkce z hodnot absolutních chyb pro potlačení systematických chyb dálkoměru.

Převedení relativních chyb dálkoměru na absolutní chyby se s výhodou provádí pomocí váženého průměru za použití vzorce

$$w_i = \frac{1}{\left|\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right|}$$

$$posun = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right)\cdot w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}$$

kde $\varepsilon_{i,délka}$ je absolutní chyba z pilířové základny pro zvolenou délku, $\Delta_{i,délka}$ je relativní chyba ze základny s interferometrem pro zvolenou délku, m je počet chyb, z kterých je posun počítán a w_i jsou váhy pro jednotlivé rozdíly chyb.

Určení opravné funkce se ve výhodném řešení provádí z hodnot přepočtených relativních chyb na absolutní chyby a oprava měřené délky se provádí pomocí interpolace.

Určení opravné funkce se s výhodou provádí pomocí Fourierovy transformace, kde do výpočtu transformace vstupují měřené vzdálenosti a jim příslušné absolutní chyby dálkoměru a stanovení určení opravy libovolně měřené délky se provede dle vzorce

$$opr_k = Y_0 + \sum_{j=1}^{m}\left(A_j \cdot \sin\left(\frac{2\cdot\pi}{T_j}\cdot\left(d_k - d_{origin}^{interferometer}\right) + \varphi_j\right)\right),$$

kde $d_{origin}^{interferometer}$ je redukce o počáteční délku z testování na základně s interferometrem, Y_0 je vertikální posun opravné funkce, m je počet vybraných amplitud větších než zvolená mez, A_j je amplituda, T_j je perioda, φ_j je počáteční fáze, d_k je měřená délka.

Podstata technického řešení metodiky spočívá v kombinaci zavedení absolutních chyb délek z pilířové základny a detailního průběhu relativních chyb délek ze základny s interferometrem pro určení opravné funkce dálkoměru.

Způsob je rozdělen do několika kroků. Nejdříve se určí velikosti absolutních chyb dálkoměru a jejich stálost v čase, kde jsou porovnávány měřené a dané vzdálenosti na laboratorní pilířové základně s nucenými centracemi. Poté se určí podrobný průběh relativních chyb dálkoměru na základně s interferometrem, kde jsou rozdíly měřených vzdáleností porovnávány s rozdílem vzdáleností z interferometru. Následuje určení opravné funkce dálkoměru z kombinace absolutních a relativních chyb, kde jsou nejprve relativní chyby převedeny na chyby absolutní výpočtem vzájemného posunu a následně je určena opravná funkce pro měřené délky z vývoje absolutních chyb.

Vzhledem k výše uvedeným hypotézám a důvodům, byl navržen tento způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů, který lze využít zejména pro měření v průmyslu, kde jsou měřeny krátké délky, tj. do 40 m v prostoru uzavřené průmyslové haly, kde se předpokládají stabilní atmosférické podmínky. Při experimentech byla zjištěna časová stálost chyb dálkoměrů a značná proměnlivost velikostí chyb na krátkých délkách. Z provedených experimentů, kdy bylo testováno 20 přístrojů a celkově bylo naměřeno přes 60 000 délek, je patrné, že zavedením opravné funkce pro konkrétní přístroj lze dosáhnout zlepšení přesnosti měření délky nejméně o 50 %.

Vyvinutý způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů umožňuje výrazně navýšit přesnost měření krátkých délek - do 40 m, pro přesné aplikace nejen ve strojírenství. Oproti možnému pořízení přístroje s přesnějším elektronickým dálkoměrem či běžné kalibraci dálkoměru na délkovém etalonu dlouhých délek je

kalibrace na krátké pilířové základně a základně s interferometrem dle uvedené metodiky výrazně kvalitnější a levnější řešení. Navržený postup je univerzální pro jakýkoliv typ dálkoměru totální stanice.

Příklady uskutečnění technického řešení

Navržený způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů a zavádění oprav přímo měřených krátkých délek lze složit z několika navazujících kroků. Příklady technického řešení lze rozlišit zejména při tvorbě opravné funkce.

Určení velikostí absolutních chyb dálkoměru a jejich stálost v čase. Testování absolutních chyb je založeno na porovnání měřených a nominálních délek na krátké pilířové základně s nucenými centracemi, kde je měřeno z prvního pilíře na všechny ostatní pilíře délkové základny. Stálost v čase je pak určována obdobným testováním po delších časových intervalech - den, týden, měsíc, rok, pro ověření, zda systematické chyby mají stejnou velikost a lze je tedy početně potlačit. Měřené délky jsou určovány za speciálních podmínek potlačení excentricit pomůcek, kdy jsou dotaženy trojnožky na pilířích základny dle rysek na centračních talířích, je zajištěno umístění orientovaného trnu do trojnožky, horizontace trnu je prováděna ve čtyřech směrech, natáčení trnu je prováděno konstantně, např. jeho okulárem směrem k přístroji na prvním pilíři. Totální stanice je urovnána pomocí elektronické libely a je vždy při vkládání do trojnožky stejně natočená. Při měření je určována teplota alespoň uprostřed měřené vzdálenosti. Před měřením je nutné přístroj zahřát na provozní teplotu alespoň 50ti násobným měřením délky. Délky jsou následně měřeny v obou polohách dalekohledu, nejprve prvá poloha 51 x a následně druhá 51 x pro dostatečný statistický vzorek, bez přecilování. Z měřených hodnot jsou vypočteny vodorovné délky, které jsou zprůměrovány, opraveny o součtovou konstantu hranolu a porovnány s referenční - nominální délkou.

Určení podrobného průběhu relativních chyb dálkoměru na základně s interferometrem. Na začátku dráhy u interferometru je nastavena zarážka, ke které se vztahuje počátek měření. Tento počátek musí být během měření pravidelně kontrolován. Od tohoto počátečního bodu jsou určovány relativní chyby délek mezi testovaným dálkoměrem a

interferometrem ve zvolených krocích. Každá délka je testovaným dálkoměrem měřena s 16ti opakováními kvůli potlačení náhodných chyb. Pro každý přístroj musí být provedeno základní testování, kdy s krokem 1 mm, 1 cm a 10 cm je proměřen úsek o délce 1 cm, 10 cm a 2 m. Z tohoto základního testu je nutné určit výsledný krok pro proměření celého intervalu dráhy tak, aby byla zjištěna velikost rozptylu chyb a případný trend, který je nutné zachytit při proměření celé dráhy. Standartní krok pro detailní určení průběhu chyb je 2 cm, 20 cm a 50 cm. Výsledné chyby jsou následně vyhlazeny klouzavým průměrem třetího stupně.

Určení opravné funkce dálkoměru z kombinace absolutních a relativních chyb. Na datech získaných na základně s interferometrem - délka a odpovídající relativní chyba, je provedena interpolace chyb odpovídajících délkám z laboratorní pilířové základny. Z rozdílů odpovídajících si chyb z obou experimentálních postupů uvedených v předchozím je určen průměrný posun dat ze základny s interferometrem, tedy převod relativních chyb na chyby absolutní. Protože všechny určené chyby jsou zatíženy nejistotou, je pro určení posunu použit vážený průměr. Určení váženého průměru je iterativní a jednotlivým rozdílům jsou přiřazovány váhy za použití L1 normy.

$$w_i = \frac{1}{\left|\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right|}$$

$$posun = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right)\cdot w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}$$

kde $\varepsilon_{i,délka}$ je absolutní chyba z pilířové základny pro zvolenou délku, $\Delta_{i,délka}$ je relativní chyba ze základny s interferometrem pro zvolenou délku, m je počet chyb, z kterých je posun (průměr) počítán a w_i jsou váhy pro jednotlivé rozdíly chyb.

Chyby zjištěné na základně s interferometrem jsou následně posunuty a převedeny tak na absolutní chyby.

Na podrobném průběhu posunutých chyb lze provádět interpolaci pro délky odpovídající měřeným délkám a těmto délkám zavést opravy.

Na posunutých chybách lze také provést Fourierovu transformaci (FFT). Do výpočtu transformace vstupují měřené vzdálenosti a jim příslušné absolutní chyby - převedené relativní chyby, které byly změřeny na základně s interferometrem. Výstupem je soubor period, tj. vlnových délek, amplitud a fázových posunů. Z tohoto souboru jsou vybrány hodnoty, jejichž amplituda je větší než zvolená mez - nejmenší hodnota čtení dálkoměru nebo 10% směrodatné odchylky udávané výrobcem. Tyto hodnoty jsou poté dosazeny do výsledné opravné funkce. Protože FFT neudává vertikální posun dat, je nutné tento vertikální posun Y_0 určit z ručního provedení opravné funkce a automatizovaného provedení inverzní funkce FFT. Zpětná funkce FFT s odfiltrovanými daty – data s amplitudou větší než zvolená mezní hodnota.

Základní rovnice harmonického pohybu je:

$$y_i = \sum_{j=1}^{m} A_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_j} \cdot d_i + \varphi_j\right),$$

kde: m ... počet vybraných amplitud větších než zvolená mez,
A_j ... amplituda,
T_j ... perioda,
φ_j ... počáteční fáze,
d_i ... měřená délka (délky ze základny s interferometrem),
y_i ... příslušná chyba.

29.05.15

Vertikální posun opravné funkce:

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(y_i^{invFFT} - y_i \right)}{n} ,$$

kde: n ... počet délek měřených na základně s interferometrem.

Pro určení opravy libovolně měřené délky, spadající do testovacího intervalu na základně s interferometrem, pak platí:

$$opr_k = Y_0 + \sum_{j=1}^{m} \left(A_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_j} \cdot \left(d_k - d_{origin}^{interferometer} \right) + \varphi_j \right) \right),$$

kde: $d_{origin}^{interferometer}$ je redukce o počáteční délku z testování na základně s interferometrem (plynoucí z použití FFT, která se začíná počítat od 0).

Průmyslová využitelnost

Způsob je navržen pro zvýšení přesnosti elektronických dálkoměrů na krátké délky pomocí opravné funkce s využitelností zejména v oblasti strojírenství a přesných průmyslových aplikacích. Vyvinutý způsob výrazně zefektivňuje geodetické práce s vysokými požadavky na přesnost určení vzdáleností, a tím i na přesnost zaměření bodu v prostoru.

29.05.15

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob pro potlačení systematických chyb elektronických dálkoměrů na krátké vzdálenosti, ***vyznačující se tím, že*** se určí absolutní chyby dálkoměru na laboratorní pilířové základně s nucenými centracemi, dále se určí relativní chyby dálkoměru na základně s interferometrem, poté se převedou relativní chyby na absolutní chyby a určí se opravná funkce z hodnot absolutních chyb pro potlačení systematických chyb dálkoměru.

2. Způsob podle nároku 1, ***vyznačující se tím, že*** převedení relativních chyb dálkoměru na absolutní chyby se provádí pomocí váženého průměru za použití vzorce

$$w_i = \frac{1}{\left|\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right|}$$

$$posun = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\varepsilon_{i,délka} - \Delta_{i,délka}\right)\cdot w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}$$

kde $\varepsilon_{i,délka}$ je absolutní chyba z pilířové základny pro zvolenou délku, $\Delta_{i,délka}$ je relativní chyba ze základny s interferometrem pro zvolenou délku, m je počet chyb, z kterých je posun počítán a w_i jsou váhy pro jednotlivé rozdíly chyb.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, ***vyznačující se tím, že*** určení opravné funkce se provádí z hodnot přepočtených relativních chyb na absolutní chyby a oprava měřené délky se provádí pomocí interpolace.

4. Způsob podle nároku 1, ***vyznačující se tím, že*** určení opravné funkce se provádí pomocí Fourierovy transformace, kde do výpočtu transformace vstupují měřené vzdálenosti a jim příslušné absolutní chyby dálkoměru a stanovení určení opravy libovolně měřené délky se provede dle vzorce

29.05.15

$$opr_k = Y_0 + \sum_{j=1}^{m}\left(A_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_j} \cdot \left(d_k - d_{origin}^{interferometer} \right) + \varphi_j \right) \right),$$

kde $d_{origin}^{interferometer}$ je redukce o počáteční délku z testování na základně s interferometrem, Y_0 je vertikální posun opravné funkce, m je počet vybraných amplitud větších než zvolená mez, A_j je amplituda, T_j je perioda, φ_j je počáteční fáze, d_k je měřená délka.