

G01S 17/66 (2006.01)  
G01B 11/03 (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

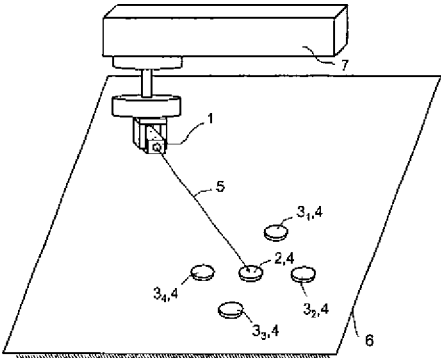
(21) Číslo přihlášky: 2013-150  
(22) Přihlášeno: 27.02.2013  
(40) Zveřejněno: 03.09.2014  
(Věstník č. 36/2014)  
(47) Uděleno: 29.05.2024  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 10.07.2024  
(Věstník č. 28/2024)

(56) Relevantní dokumenty:  
US 4884889 A; US 4939678 A; US 5671053 A; US 2004055170 A.

(73) Majitel patentu:  
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,  
Dejvice, CZ  
(72) Původce:  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc., Praha 4, CZ  
Ing. Martin Nečas, Ph.D., MSc., Praha 4, Braník,  
CZ  
(74) Zástupce:  
Ing. Karel Novotný, patentový zástupce, Žufanova  
1099/2, 163 00 Praha 6, Řepy

(54) Název vynálezu:  
**Způsob zvýšení přesnosti optického měření  
polohy bodu v prostoru redundantním  
měřením**

(57) Anotace:  
Způsob zvýšení přesnosti optického měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením sledovačem pro absolutní způsob měření polohy, skládající se alespoň z jednoho laserového sledovače a z alespoň jednoho měřeného bodu v prostoru, ve kterém je umístěn odražeč laserového paprsku a jeho podstata spočívá v tom, že měření se provádí ve více krocích. V prvním kroku se laserový sledovač ustanoví do polohy pro vyslání optického laserového paprsku do měřeného bodu a změří se jeho poloha absolutním způsobem měření. Následně se v dalším kroku laserový sledovač ustanoví do odlišné polohy a poté se laserový sledovač ustanoví do původní polohy pro vyslání optického paprsku do měřeného bodu pro druhé změření jeho polohy absolutním způsobem měření. Tento postup se alespoň třikrát opakuje, přičemž před každým dalším měřením polohy tohoto bodu v prostoru je laserový sledovač ustanoven do odlišné polohy. Z naměřených hodnot polohy měřeného bodu se stanoví statistickým zpracováním výsledná hodnota polohy měřeného bodu v prostoru. Laserový sledovač se střídavě ustanovuje po každém měření na rozdílnou stranu od polohy pro vyslání optického paprsku do měřeného bodu.



## Způsob zvýšení přesnosti optického měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením

### 5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu zvýšení přesnosti optického měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením alespoň jedním laserovým sledovačem pro absolutní způsob měření polohy, skládající se alespoň z jednoho laserového sledovače a z alespoň jednoho měřeného bodu v prostoru, ve kterém je umístěn odražeč laserového paprsku.

### Dosavadní stav techniky

15 Dnešní laserové sledovače (laser tracker) vycházející z US 4714339 nabízejí dva způsoby měření polohy bodu v prostoru. Jeden je nazýván inkrementální a je založen na inkrementálním způsobu měření laserovým sledovačem, kdy odražeč je sledován optickým laserovým paprskem postupně během jeho pohybu ze známé polohy do neznámé polohy, která má být změřena. Druhý je nazýván absolutní a je založen na přetržitém způsobu měření laserovým sledovačem, kdy odražeč je nalezen optickým laserovým paprskem skokem ze známé polohy do neznámé polohy, která má být změřena. Přesnost absolutního způsobu měření laserovým sledovačem je podstatně horší než u inkrementálního způsobu.

Cílem tohoto vynálezu je zvýšit přesnost absolutního způsobu měření.

### Podstata vynálezu

Podstata způsobu zvýšení přesnosti optického měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením alespoň jedním laserovým sledovačem pro absolutní způsob měření polohy, skládající se alespoň z jednoho laserového sledovače a z alespoň jednoho měřeného bodu v prostoru, ve kterém je umístěn odražeč laserového paprsku spočívá v tom, že měření se provádí ve více krocích, kdy v prvním kroku se laserový sledovač ustanoví do polohy pro vyslání optického laserového paprsku do měřeného bodu a změří se jeho poloha absolutním způsobem měření, následně se v dalším kroku laserový sledovač ustanoví do odlišné polohy a poté se laserový sledovač ustanoví do původní polohy pro vyslání optického paprsku do měřeného bodu pro druhé změření jeho polohy absolutním způsobem měření a tento postup se alespoň třikrát opakuje, přičemž před každým dalším měřením polohy tohoto bodu v prostoru je laserový sledovač ustanoven do odlišné polohy, a z naměřených hodnot polohy měřeného bodu se stanoví statistickým zpracováním výsledná hodnota polohy měřeného bodu v prostoru.

Je dále výhodné, pokud se laserový sledovač střídavě ustanovuje po každém měření na rozdílnou stranu od polohy pro vyslání optického paprsku do měřeného bodu.

45 Výhodou způsobu a zařízení podle vynálezu je možnost podstatného zvýšení přesnosti absolutního způsobu měření laserovým sledovačem.

### Objasnění výkresů

50 Na přiložených obrázcích je znázorněno zařízení pro optické měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením, kde znázorňuje:

obr. 1 zařízení s laserovým sledovačem uspořádaným na rámu; a

obr. 2 zařízení s laserovým sledovačem uspořádaným na stroji.

### Příklady uskutečnění vynálezu

5

Na obr. 1 je znázorněno schematicky základní uspořádání zařízení pro optické měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením. Jde o prostorový průmět základního uspořádání, kde pro optické měření polohy bodu 2 v prostoru umístěného na stroji 7, přičemž v bodě 2 je umístěn odražeč 4 laserového paprsku 5 upevněný na stroji 7, pomocí absolutního měření laserovým sledovačem 1 umístěným na rámu 6. Laserový sledovač 1 pomocí laserového paprsku 5 měří polohu měřeného bodu 2, který leží ve středu odražeče 4 laserového paprsku 5. Poloha měřeného bodu 2 je měřena absolutním měřením, tedy změřením dvou úhlů laserového sledovače 1, které jsou ekvivalentní úhlům azimutu a elevace laserového 5 paprsku mezi laserovým sledovačem 1 a měřeným bodem 2 a změřením vzdálenosti mezi laserovým sledovačem 1 a měřeným bodem 2. Klíčové je měření vzdálenosti absolutním způsobem (ADM – Absolute Distance Meter), kdy měřený objekt může být libovolný objekt a nemusí nejdříve projít sledovanou cestu ze známé polohy do měřené polohy jako u tradičního měření laserovým interferometrem. Měření probíhá ve více krocích a postup měření je ten, že v prvním kroku se laserový sledovač 1 ustanoví do polohy pro vyslání optického laserového paprsku 5 do měřeného bodu 2 a změří se jeho poloha absolutním způsobem měření, následně se v dalším kroku laserový sledovač 1 ustanoví do odlišné polohy, například takové, že optický laserový paprsek 5 padne do bodu 3a na rámu 6 nebo do bodu 3b na stroji 7 nebo do bodu 3c na rámu 6, ve kterém je umístěn odražeč 4 laserového paprsku 5, nebo do bodu 3d na stroji 7, ve kterém je umístěn odražeč 4 laserového paprsku 5. Poté se laserový sledovač 1 opět ustanoví do původní polohy pro vyslání optického laserového paprsku 5 do měřeného bodu 2 pro druhé změření jeho polohy absolutním způsobem měření a tento postup se vícenásobně, alespoň třikrát, opakuje, přičemž před každým dalším měřením polohy tohoto bodu 2 v prostoru je laserový sledovač 1 ustanoven do odlišné polohy, kdy optický laserový paprsek padne do bodu 3a nebo 3b nebo 3c nebo 3d nebo jiného bodu mimo bod 2. Z takto naměřených hodnot polohy měřeného bodu 2 se stanoví statistickým zpracováním výsledná hodnota polohy měřeného bodu v prostoru. Statistické zpracování těchto naměřených hodnot polohy měřeného bodu 2 v prostoru může být provedeno tak, že se vypočte aritmetický průměr naměřených hodnot polohy měřeného bodu 2 v prostoru a tento průměr je výsledná hodnota polohy měřeného bodu 2 v prostoru. Je možné použít i složitější způsoby statistického zpracování naměřených hodnot, například uvažovat jednotlivá měření s různou váhou podle předem známé nejistoty takového měření nebo v histogramech provedených měření provést nejdříve regresi na předem známé rozložení pravděpodobnosti chyb měření. Tento způsob vyhodnocení měření představuje statistické zpracování redundantních měření polohy měřeného bodu 2. Výpočet průměru nebo jiné statistické zpracování se provádí počítačem.

40 Základní způsob zpracování založený na výpočtu průměru naměřených hodnot polohy měřeného bodu 2 vychází z poznatku, že pravděpodobnost chyb měření se řídí normálním rozdělením. Výpočet průměru podstatným způsobem zmenšuje nejistotu výsledku měření.

45 Přestavování laserového sledovače 1 před každým novým měřením polohy bodu 2 a jeho opětné ustavení do polohy pro měření polohy bodu 2 zajistí, že nepředvídatelné jevy, například vliv vůlí, tření, kolísání proudu v pohonech a jiné, se projeví náhodně, vytvoří statisticky určitelné rozložení pravděpodobností vlivu těchto chyb, a tak umožní měření statistickými metodami zlepšit. Dále je výhodné, když najíždění na měřený bod 2 nastane střídavě zleva, zprava, ze shora, ze spoda, a tak vytvoří nevychýlené rozdělení pravděpodobností odchylek měření od přesné hodnoty, jak je popsáno u provedení podle obr. 2.

55 Na obr. 2 je schematicky znázorněn prostorový průmět uspořádání zařízení pro optické měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením obdobné uspořádání na obr. 1, kdy ale je laserový sledovač 1 umístěn na stroji 7 a měřený bod 2, ve kterém je umístěn odražeč 4 laserového paprsku 5, je uspořádán na rámu 6 a bodů 3, do nichž padne optický laserový paprsek, když je

laserový sledovač 1 ustanoven do odlišné polohy, je více. Na obr. 2 jsou tvořeny body 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, v nichž jsou umístěny odražeče laserového paprsku 4, a tyto body 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, jsou uspořádány na různých stranách od měřeného bodu 2. V podstatě jsou tyto body 3 umístěny vlevo, vpravo, nad a pod měřeným bodem 2 při pohledu od laserového sledovače 1. Měření probíhá tak, že v prvním kroku se laserový sledovač 1 ustanoví do polohy pro vyslání optického laserového paprsku 5 do měřeného bodu 2 a změří se jeho poloha absolutním způsobem měření, následně se laserový sledovač 1 ustanoví do odlišné polohy, například takové, že optický laserový paprsek 5 padne do některého bodu 3 na rámu 6, pak se laserový sledovač 1 opět ustanoví do původní polohy pro vyslání optického laserového paprsku 5 do měřeného bodu 2 pro druhé změření jeho polohy absolutním způsobem měření, poté laserový sledovač 1 střídavě v druhých krocích zaměřuje optický laserový paprsek 5 na body 3 střídavě, například 3<sub>1</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>1</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>2</sub>, a tak dále, a dále probíhá opakované měření polohy bodu 2. Tím je dosaženo, že na měřený bod 2 při měření najíždí laserový sledovač střídavě zleva, zprava, ze shora a ze zdola, a tak mechanické problémy měření dané vůlemi a třením se v měřených hodnotách vyskytují symetricky, rovnoměrně. To umožní, aby vypočtený aritmetický průměr byl méně vychýlen oproti přesné hodnotě polohy měřeného bodu 2. Způsoby přepínání mezi přepínacími body 3 mohou být různé, jak deterministické posloupnosti, tak záměrně zcela náhodné posloupnosti.

V rámci vynálezu je možné využít pro stanovení polohy tělesa, např. stroje více měřených bodů na více laserových odražecích, případně využít více laserových sledovačů apod.

Měření polohy měřeného bodu a jeho vyhodnocení je prováděno počítačem, přičemž zvyšování míry redundance je výhodné. laserové sledovače lze nahrazovat optickými kamerami s referenčním prvkem a/nebo zdrojem laserového paprsku pro fotocitlivý prvek.

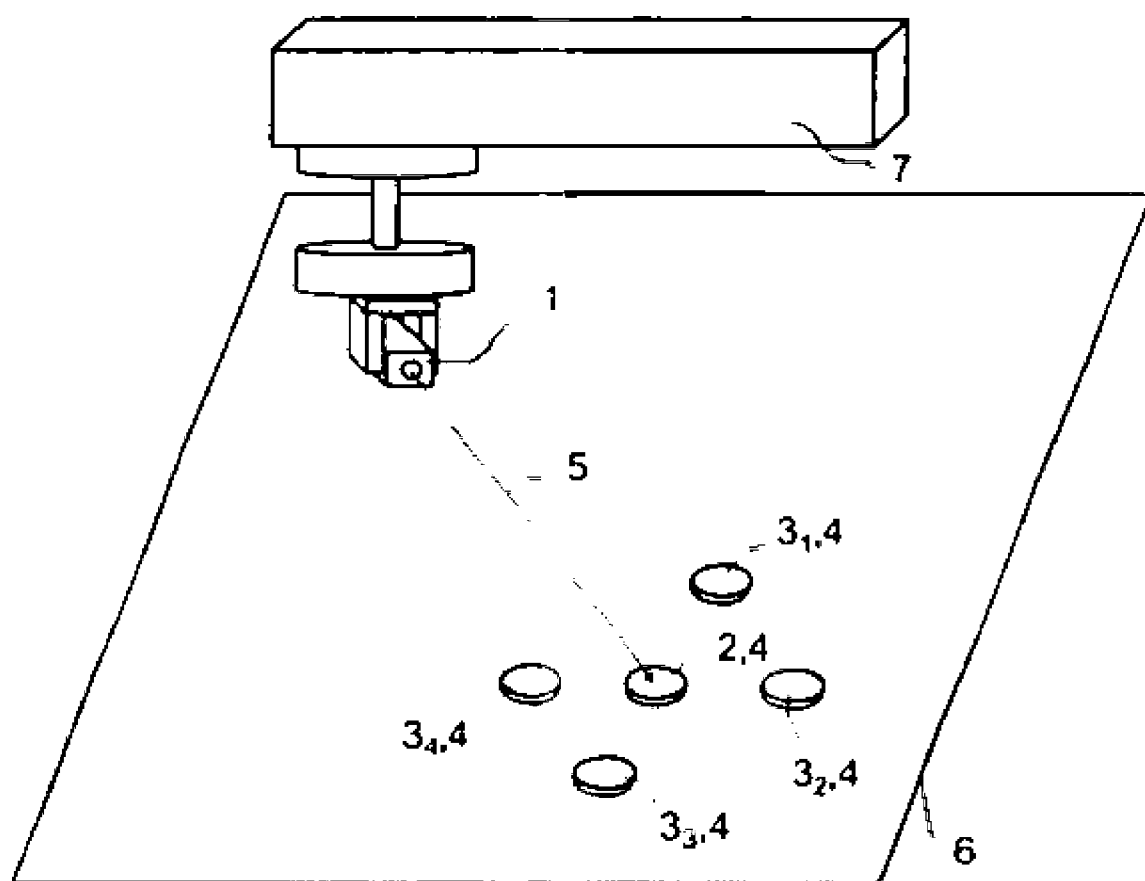
Optická kamera je ustanovena do polohy měření pomocí dvou úhlů ekvivalentních úhlům azimutu a elevace provedených dvěma pohony, které zajistí, že kamera vždy sleduje referenční prvek, a vyhodnocením obrazu referenčního prvku je určena jednak vzdálenost referenčního prvku z jeho známých rozměrů a jednak korekce nastavených úhlů ekvivalentních úhlům azimutu a elevace. Následně je vypočtena poloha referenčního prvku vůči kameře. Popsaným způsobem redundantního měření lze zpřesnit měření polohy bodu v prostoru, ve kterém je umístěn referenční prvek.

Podobně zdroj laserového paprsku je ustanoven do polohy měření pomocí dvou úhlů ekvivalentních úhlům azimutu a elevace provedených dvěma pohony, které zajistí, že vyslané laserové paprsky ze zdroje laserového paprsku v počtu nejméně 3 vždy dopadají na fotocitlivý prvek, a vyhodnocením polohy dopadů laserových paprsků na fotocitlivý prvek je určena jednak vzdálenost fotocitlivého prvku ze známých vzájemných úhlů laserových paprsků a jednak korekce nastavených úhlů ekvivalentních úhlům azimutu a elevace. Následně je vypočtena poloha fotocitlivého prvku vůči zdroji laserového paprsku. Popsaným způsobem redundantního měření lze zpřesnit měření polohy bodu v prostoru, ve kterém je umístěn fotocitlivý prvek.

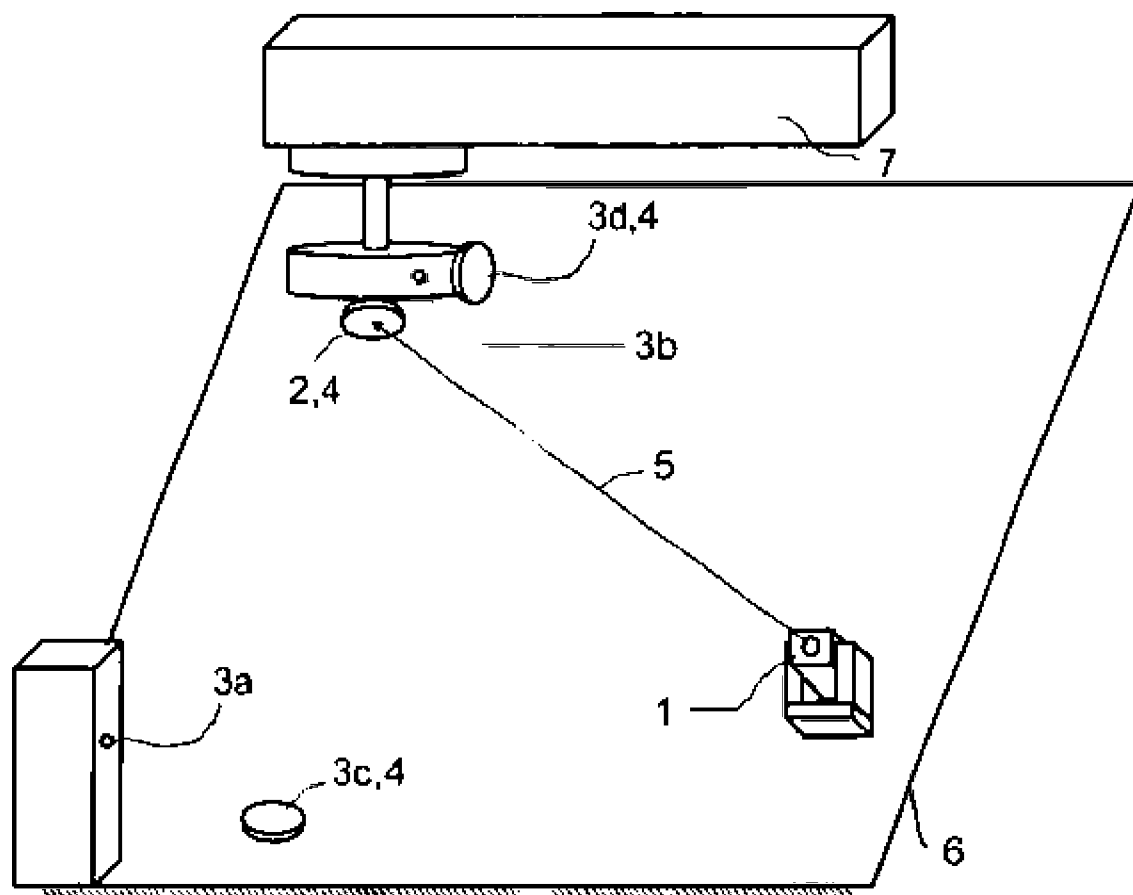
## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob zvýšení přesnosti optického měření polohy bodu v prostoru redundantním měřením alespoň jedním laserovým sledovačem pro absolutní způsob měření polohy, skládající se alespoň z jednoho laserového sledovače a z alespoň jednoho měřeného bodu v prostoru, ve kterém je umístěn odražeč laserového paprsku, **vyznačující se tím**, že vedle měřeného bodu (2) s odražečem (4) jsou umístěny aspoň další čtyři body (3) s odražeči (4) vlevo, vpravo, nahoře, dole od měřeného bodu, měření se provádí ve více krocích, kdy v prvním kroku se laserový sledovač (1) ustanoví do polohy pro vyslání optického laserového paprsku (5) do měřeného bodu (2) a změří se jeho poloha absolutním způsobem měření založeném na měření vzdálenosti absolutním způsobem, následně se v dalším kroku laserový sledovač (1) ustanoví do odlišné polohy, kde se zastaví, a poté se laserový sledovač (1) ustanoví do původní polohy pro vyslání optického paprsku (5) do měřeného bodu (2) pro druhé změření jeho polohy absolutním způsobem měření a tento postup se alespoň třikrát opakuje, přičemž před každým dalším měřením polohy tohoto měřeného bodu (2) v prostoru je laserový sledovač (1) ustanoven do odlišné polohy, a z naměřených hodnot polohy měřeného bodu (2) se stanoví statistickým zpracováním výsledná hodnota polohy měřeného bodu v prostoru, přičemž se laserový sledovač (1) střídavě ustanovuje po každém měření na rozdílnou stranu od polohy pro vyslání optického paprsku (5) do měřeného bodu (2) alespoň jeho postupným vysláním na měřený bod (2), vlevo na měřený bod (3<sub>1</sub>), na měřený bod (2), vpravo na měřený bod (3<sub>3</sub>), na měřený bod (2), nahoru na měřený bod (3<sub>2</sub>), na měřený bod (2), dolu na měřený bod (3<sub>4</sub>), na měřený bod (2).

2 výkresy



Obr. 1



Obr. 2